

Expertise collégiale

**Ressources minérales profondes
en Polynésie française**

Contributions intégrales

Expertise collégiale réalisée par l'IRD,
à la demande de l'État et de la Polynésie française.

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT

Collection Expertise collégiale

Marseille, 2016

Coordination éditoriale

Laure Vaitiare ANDRÉ

Relecture technique des contributions intégrales et mise en forme

Danielle GRANIER

Carmen PELLET

Laure Vaitiare ANDRÉ

Coordination de fabrication

Catherine PLASSE

Duplication de la clé USB et interactivité :

Giga Services / Poisson-Soluble.com

Cette clé USB regroupe la version numérique de la synthèse en français et en anglais, ainsi que l'ensemble des contributions intégrales des experts du collège.

Pour citer cet ouvrage :

LE MEUR P.-Y., COCHONAT P., DAVID C., GERONIMI V., SAMADI S. (coord.), 2016 –
Les ressources minérales profondes en Polynésie française. Marseille, IRD Éditions,
coll. Expertise collégiale, bilingue français-anglais + tahitien, 288 p. + clé USB.

© IRD, 2016

ISSN : 1633-9924

ISBN : 978-2-7099-2191-6

Liste des experts

Membres du collège des experts

NOM	DISCIPLINE	INSTITUTION	PAYS
Nicholas ARNDT	Géochimie, exploitation économique de la ressource	Université de Grenoble	France, Canada, Afrique du Sud
Tamatoa BAMBRIDGE	Anthropologie juridique, pluralisme, tenure marine/terrestre	CNRS, USR Criobe, Moorea	Polynésie française
Patrice CHRISTMANN	Géologie, stratégie des ressources minérales	BRGM, direction de la stratégie, Orléans	Métropole
Pierre COCHONAT	Géosciences marines, explorations sous-marines, ressources minérales et énergétiques	ex-Ifremer, Paris	Métropole
Carine DAVID	Droit public, droit de l'environnement, pluralisme juridique	Université de la Nouvelle Calédonie, Nouméa	Nouvelle Calédonie
Christian JOST	Géographie de l'environnement, risques, impacts sur les milieux	Université de la Polynésie française, Papeete	Polynésie française
Vincent GERONIMI	Economie du développement, matières premières	Université de Versailles St-Quentin	Métropole
Pierre-Yves LE MEUR	Anthropologie politique, gouvernance des ressources et de l'environnement	IRD, UMR Gred, Nouméa	Nouvelle Calédonie
Sarah SAMADI	Biologie, évolution, faune des monts sous-marins	Muséum national d'histoire naturelle, Paris	Métropole
Antonino TROIANIELLO	Droit public, droit économique, réglementation des matières premières	Université de la Polynésie française, Papeete	Polynésie française

Sommaire interactif

- ▶ I-00. Glossaire
Le collège
- ▶ I-0. Introduction : spécificités et phases du projet minier
P. Christmann, N. Arndt, P. Cochonat, V. Geronimi, P.-Y. Le Meur
- ▶ **Axe I : Connaissance, représentations et économie de la ressource**
Coordinateur : V. Geronimi
- ▶ I-1. Représentations polynésiennes, pratiques culturelles et usages sociaux de la ressource et de son environnement
T. Bambridge, P.-Y. Le Meur, C. Jost
- ▶ I-2. Que sait-on du patrimoine géologique sous-marin de la Polynésie française ?
N. Arndt, P. Cochonat, P. Christmann, V. Geronimi
- ▶ I-3. Opportunités économiques
P. Christmann, N. Arndt, P. Cochonat, V. Geronimi
- ▶ I-4. Quels potentiels supplémentaires apporterait une extension du plateau continental juridique ?
P. Cochonat. Experts Consultés : B. Loubrieu, W. Roest
- ▶ I-5. Scenarii économiques relatifs aux encroûtements cobaltifères
V. Geronimi, P. Christmann, P.-Y. Le Meur
- ▶ I-6. Diffusion et répartition de la rente : enjeux de soutenabilité
V. Geronimi, P.-Y. Le Meur
- ▶ **Axe II : Capacités de gouvernance : règles, responsabilités, acteurs (étatiques et non étatiques)**
Coordinateur : C. David
- ▶ II-1. La répartition des compétences entre l'État et la Polynésie française s'agissant des ressources minérales marines profondes : un besoin de clarification
A. Troianiello, C. David
- ▶ II-2. Contraintes et référentiels juridiques
C. David, A. Troianiello
- ▶ II-3. Les évolutions du droit national et polynésien envisageables en matière d'autorisation et d'exploitation des ressources minérales marines profondes
A. Troianiello, C. David

- ▶ II-4. Organisation de la participation des groupes d'acteurs impliqués / à impliquer
P.-Y. Le Meur, T. Bambridge, C. David
- ▶ II-5. Acteurs et gouvernance : enjeux, positionnements, intérêts, attentes
T. Bambridge, P.-Y. Le Meur
- ▶ II-6. Dispositifs d'administration et de gouvernance existants ou nécessaires
T. Bambridge, C. David, P.-Y. Le Meur

- ▶ **Axe III : Enjeux technologiques de l'exploration et de l'exploitation**
Coordinateur : P. Cochonat
- ▶ III-1. Quelles sont aujourd'hui les technologies connues pour l'exploration et l'extraction des ressources minérales profondes ressources identifiées en Polynésie française
P. Cochonat, S. Samadi, N. Arndt.
Experts Consultés : J. Denegre, H. Bougault
- ▶ III-2. Quels sont les acteurs, leurs rôles respectifs et les moyens disponibles pour l'exploration des ressources minières sous-marines ?
P. Cochonat, P. Christmann, S. Samadi
- ▶ III-3. Quelles sont les tendances des évolutions technologiques dans l'exploration des ressources minières sous-marines ?
P. Cochonat, P. Christmann, S. Samadi, N. Arndt
Experts consultés : J. Denegre, H. Bougault
- ▶ III-4. Quelles sont les tendances des développements technologiques pour l'exploitation des ressources minières sous-marines, adaptés à la Polynésie française?
P. Cochonat, P. Christmann, S. Samadi, N. Arndt, V. Geronimi
Experts consultés : J. Denegre, H. Bougault
- ▶ III-5. Infrastructures et compétences humaines disponibles en Polynésie française ou dont celle-ci doit se doter pour accueillir une filière minière sous-marine
T. Bambridge, P Cochonat. Expert consulté : J. Denegre

- ▶ **Axe IV : Enjeux environnementaux de l'exploration et de l'exploitation**
Coordinateur : S. Samadi
- ▶ IV-1. Écosystèmes et milieux concernés : état des connaissances
S. Samadi, C. Jost
- ▶ IV-2. Impacts écologiques : vulnérabilité et résilience
S. Samadi, C. Jost

- ▶ IV-3. Interférences de l’exploration/exploitation minière sous-marine
avec les autres activités
T. Bambridge, C. Jost
- ▶ IV-4. Recommandations socio-environnementales
T. Bambridge, S. Samadi, P.-Y. Le Meur, C. Jost
- ▶ **Axe V : Question transversale**
Coordinateur : N. Arndt
- ▶ V-1. Quels enseignements tirer des projets d’exploration en cours ?
N. Arndt, S. Samadi, P. Christmann

Glossaire

LE COLLEGE DES EXPERTS

Note : l'équivalent anglais des termes expliqués dans ce glossaire est parfois indiqué, car la plupart des études et rapports techniques et économiques relatifs à l'industrie minière sont rédigés dans cette langue.

1. Acteur social

La notion d'acteur social se base sur le postulat que les individus ont des capacités d'action, de réflexion, d'expérimentation, d'innovation, même dans des contextes très contraints socialement et économiquement, et inégaux en termes de relations de pouvoir.

En même temps les stratégies et représentations des acteurs sociaux ne sortent pas de « nulle part », elles résultent à la fois des trajectoires, compétences et expériences individuelles et collectives et de « stocks » de discours, de normes, de savoirs et de représentations, pas nécessairement toujours complètement conscients, verbalisés ou systématiques, mais qui sont partagés par des groupes d'appartenance aux dimensions variables (constitués autour de liens de parenté, de résidence, de profession, de nationalité, etc.). C'est en ce sens que la notion d'acteur ne se réduit pas à la seule personne individuelle, mais constitue un construit social.

2. Coût en capital

(« *Capital expenditure* » – CAPEX)

Le coût en capital (investissement) du projet minier est nécessaire pour la mise en production du projet minier (capital initial) puis au financement d'investissements au cours de la vie de l'exploitation (investissements de maintien de la production).

Le capital initial inclut l'ensemble des coûts antérieurs à la mise en production :

- le coût de construction des infrastructures nécessaires à la mise en exploitation du gisement et, le cas échéant, à son traitement et à l'extraction du/des métal(aux) contenu(s) dans le minerai,
- les coûts d'acquisition des équipements nécessaires à la mise en exploitation,
- les coûts de recrutement et de formation des personnels (l'exploitation peut cependant être sous-traitée à une société spécialisée, les coûts d'exploitation étant alors inclus dans les coûts opératoires (« OPEX »),
- les coûts de préparation à la mise en exploitation (par exemple : galeries d'accès, découverte de terrains stériles pour accéder au minerai),

Il n'inclut pas les investissements antérieurs, dits coûts d'exploration, comprenant l'ensemble des dépenses réalisées pour la prospection, l'évaluation et les études techniques (par exemple : calcul des ressources et des réserves, étude conceptuelle, études spécifiques (caractérisation minérale, de traitement du minerai, de conception de l'exploitation, environnementales, sociales, de marché ...), les études de préfaisabilité ou de faisabilité, réalisées antérieurement à la décision de mise en exploitation.

Les investissements de maintien (capital de maintien) de la production incluent notamment :

- l'acquisition d'équipements ou de pièces de remplacement,
- les investissements pour l'extension d'installations (zones de stockage de déchets, renforcement de l'alimentation en eau et/ou en électricité),
- les provisions pour la phase d'après-mine (par exemple pour le traitement des eaux d'exhaure minières)

3. Coût en numéraire

(« *Cash-cost* »), **Coûts totaux en numéraire** (« *Total Cash-cost* »), **Coûts totaux** (« *Total cost* »), **Coûts tout compris** (« *All-in cash cost* »),

En principe la différence entre le prix à un instant T d'un métal et le coût en numéraire de sa production représente l'excédent brut d'exploitation (EBE), une mesure avant paiement des intérêts, taxes impôts et déduction de la dotation aux amortissements, de la marge bénéficiaire brute de l'entreprise exploitante. Il s'agit par conséquent d'un indicateur très largement utilisé par les investisseurs pour apprécier la performance économique des nouveaux projets et des exploitations existantes. Malheureusement l'absence de réglementation internationale relative au rapportage comptable des entreprises minières permet les pratiques les plus diverses, rendant les données économiques (lorsqu'elles sont publiques) de différents projets ou exploitations actives difficiles à comparer.

Une assez grande confusion règne dans l'emploi du terme de « *cash-cost* » par les compagnies minières, favorisant l'opacité de la réalité économique des projets et rendant difficile la comparaison entre eux (FULP, 2015).

Ces pratiques, nuisant à l'attractivité de l'industrie minérale pour les investisseurs, ont suscité diverses publications commentant la situation actuelle et proposant des pistes de progrès (COOK, non daté; PWC, 2014) et la publication, en 2013, par le Conseil Mondial de l'Or (« *World Gold Council* »), à l'initiative de quelques grands groupes minier actifs dans le domaine de l'or d'un standard de rapportage du « Coût complet de maintien » (All-in sustaining cost – Acronyme : AISC). L'utilisation de ce standard est parfaitement facultative.

Le coût en numéraire (« *Cash-cost* ») comprend l'ensemble des coûts directs payés en numéraire par une exploitation, ou planifiés en tant que tels dans une étude économique préalable à la mise en exploitation.

Il inclut tous les coûts directs de production tels que les salaires, les consommables (carburants, électricité, eau, explosifs, lubrifiants, réactifs, pneus...). Par contre, il n'inclut pas les coûts indirects : frais généraux (frais de siège, de communication, de commercialisation...), les intérêts des emprunts contractés, les coûts de développement de l'accès au gisement (découverte, galeries et puits d'accès...), les coûts survenant en-dehors du site d'exploitation (par exemple, le cas échéant, les charges pour séparation métallurgique et raffinage du/des métal(aux) produit(s). Il

n'inclut pas non plus les droits de timbre, les taxes et impôts ni la dotation aux amortissements.

Le coût total en numéraire (« *Total Cash-cost* ») inclut tous les éléments du coût en numéraire plus les coûts externes au site d'exploitation, les frais généraux et, parfois, les intérêts des emprunts contractés.

Le coût total (« *Total cost* ») comporte tous les éléments du coût total en numéraire plus la dotation aux amortissements, les intérêts, les taxes et impôts.

Le coût tout compris (« *All-in cash cost* ») comporte les éléments du coût en numéraire auquel sont ajoutées les dépenses d'exploration (c'est-à-dire l'ensemble des dépenses réalisées avant la décision de mise en exploitation du gisement), les frais généraux, les intérêts et le capital de maintien de la production ainsi que les dépenses de réduction des impacts.

Des bureaux d'études spécialisés tels que CRU, Wood Mackenzie, snl.com publient, sur abonnement, des courbes de coûts, projetant les coûts de production à la tonne de métal des projets et des exploitations publiant cette donnée. Il s'agit d'une information importante car elle permet d'identifier les projets ou les exploitations les plus compétitives et par conséquent les moins vulnérables à une éventuelle chute des cours de leur production. Elle permet d'identifier les projets/ exploitations dont les coûts de production sont proches, ou supérieurs, au prix de marché du métal contenu. Ils sont très exposés à la suspension de leurs activités.

Certaines entreprises vont très loin dans la transparence des informations en publiant le détail de leurs coûts de production (Coût de la main d'œuvre, de l'énergie utilisée, de l'eau, des produits chimiques utilisés ...). De telles pratiques devraient être systématiquement encouragées par les pouvoirs publics et les industriels de l'aval des filières de production industrielle.

4. Coût d'opération

(«*Operating expenditure*», acronyme : OPEX)

Il s'agit de l'ensemble des coûts directs liés à la production d'une unité de poids d'un produit. Les pratiques de rapportage de ce coût sont variables. Ils peuvent être rapportés à la tonne de minerai, de concentré ou de métal(aux) produits, ce qui complique les comparaisons entre projets et nécessite de vérifier soigneusement que la comparaison se fasse bien sur des bases identiques. La bonne pratique est de faire référence au coût de

production à la tonne de métal (de cuivre, d'or, de manganèse etc.), ce qui facilite la comparaison des projets entre eux. La comparaison des coûts de production nécessite aussi de vérifier ce que représentent les chiffres publiés pour un projet ou une exploitation déterminés : ne comprend-t-il que l'exploitation du gisement ou bien inclut-il également le coût du traitement du minerai, lorsque la production d'un concentré est nécessaire ainsi que, le cas échéant, celui de la séparation métallurgique du/des métaux contenus voire celui du raffinage éventuellement nécessaire pour atteindre un degré de pureté spécifique ?

Il est assez fréquent qu'un projet/ une exploitation produise plusieurs métaux. Il existe une pratique non normalisée (COOK, non daté) pour comptabiliser la contribution de chaque co- ou sous-produit à l'économie globale du projet ou de l'exploitation. Les sous-produits ne sont récupérés que parce que la production d'un métal principal, ou «porteur» rend l'exploitation économiquement viable. Une règle pourrait être que la production du métal porteur représente au moins 80% des revenus de l'exploitation, le/les autres métaux ne représentant pas plus de 20% des revenus générés. Si aucun métal n'atteint la barre de 80% tous les métaux produits seront appelés co-produits.

Les coûts de production spécifiques de ces co-produits ou sous-produits ne sont que rarement publiés. Seuls sont publiés les « crédits nets » qui sont le prix de vente de ces co- ou sous-produits diminué du coût de leur production.

5. Facteurs modificateurs

(« *Modifying factors* »)

Selon la définition de l'Institut Canadien des Mines, de la Métallurgie et du Pétrole (CIM, 2014) les facteurs modificateurs sont toutes les considérations utilisées pour convertir des ressources minérales en réserves minérales. Elles comprennent, mais ne sont pas limitées à ceux-ci, les facteurs suivants : la technique d'exploitation ; le traitement du minerai ; la métallurgie ; les infrastructures ; le contexte économique, juridique, environnemental et social et de gouvernance publique.

6. Flux de trésorerie

(« *Cash-flow* »)

Le flux de trésorerie est déterminé en calculant tous les revenus, résultant essentiellement de la vente des produits marchands : concentré(s) et/ou métal(aux) diminués de tous les coûts liés. Il est un élément essentiel des études technico-économiques préalables à la décision de mise en exploitation du projet minier (étude conceptuelle, étude préliminaire de faisabilité, étude de faisabilité). Dans ces études, il est déterminé de manière prévisionnelle, sur une base annuelle, pour toute la durée de vie, elle aussi prévisionnelle de l'exploitation, afin d'en déterminer la rentabilité.

7. Gouvernance

Dans un sens descriptif, la gouvernance est la résultante – ordre sociopolitique, régulation – plus ou moins stabilisée ou négociable des interactions et des arrangements entre acteurs et institutions dans la gestion d'affaires publiques et la production de services collectifs. On peut appliquer le terme à un secteur particulier et ainsi parler de gouvernance minière ou foncière. L'intérêt de cette notion est qu'elle opère un décentrement par rapport à une perspective focalisée sur les administrations publiques et les instances de l'État et qu'elle permet de reconnaître l'importance des acteurs non étatiques (aux différents échelons, du local au global) dans la production des politiques publiques et des régulations.

Le terme est également souvent utilisé dans un sens très normatif, correspondant alors à une série de techniques ou de recettes institutionnelles, incluant un meilleur fonctionnement de l'administration basé sur des principes de transparence et de responsabilité (*accountability*), la clarification du cadre légal, la mise en place de la décentralisation et un appui aux organisations de la société civile vues comme intrinsèquement porteuses de démocratie et de participation. On parle ainsi de « bonne gouvernance » ce qui renforce encore la dimension normative et prescriptive de cette notion.

8. Guyot

Un guyot est un type de mont sous-marin.

Un mont sous-marin (*seamount* en anglais) est une montagne sous-marine, de forme généralement conique. On considère généralement que ce sont des reliefs qui culminent à plus de 1000 m. au-dessus du fond et plus de 200 m. sous la surface de la mer.

Un guyot (*tablemount* en anglais) est un mont sous-marin d'origine volcanique à sommet plat. On considère en général que les guyots sont d'anciens volcans qui ont eu une phase émergée. Le sommet plat s'explique alors par l'érosion et éventuellement la formation d'un récif corallien.

Les guyots sont souvent organisés en chaîne, reflétant le trajet de la plaque tectonique à l'aplomb du point chaud.

9. Métaux stratégiques/critiques

Il n'existe aucune définition « normalisée » de ces termes. Ma définition est : « Une matière première minérale critique est une matière première minérale dont le prix, voire la disponibilité, sont affectés par un ou plusieurs aléas dont les origines peuvent être diverses (géopolitiques, réglementaires, sociétaux, technologiques ...). Une matière première minérale stratégique désigne une matière première minérale dont la disponibilité à un niveau de prix / de quantité / de qualité est essentielle pour un processus productif.

10. Permis social d'exploitation

(« *Social license to operate* »)

Le permis social d'opérer n'est pas un permis formel, accordé par une autorité. Il est un consensus entre une société minière et les communautés concernées par un projet de cette société. Il est largement informel, c'est un lien de confiance fondé sur la confiance entre les parties prenantes concernées. Certains éléments peuvent cependant être formalisés

tels que des contrats de services ou de réalisation de projets (construction d'infrastructures par ex.).

Le développement de ce consensus, qui peut nécessiter de la part des sociétés minières la mobilisation de compétences anthropologiques, culturelles, éthiques, sociologiques, dès les phases initiales du projet, peut paraître fort éloigné des objectifs d'efficacité économique d'une entreprise minière. Il n'en est rien, car l'obtention du permis social d'exploiter est un facteur important de réduction des risques de conflits et de création de confiance ;

Le permis social d'exploiter traduit la capacité d'une société minière à répondre aux attentes des communautés locales et de différents groupes, dont les ONG. Des concepts essentiels à son obtention, et à son maintien pendant la durée des activités, sont crédibilité, transparence, engagement.

11. Personne qualifiée

(« *Competent person* »)

Ce sont les personnes qualifiées pour rédiger les études minières selon l'un des codes de rapportage nationaux reconnus par le Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRISCO¹). Elles doivent :

- être certifiées en tant que « personnes qualifiées » par une organisation professionnelle disposant d'un code d'éthique, cette certification attestant notamment de la compétence pour conduire des études techniques et économiques relatives à des projets miniers,
- disposer d'au moins cinq ans d'expérience pertinente par rapport au type de minéralisation et de gisement et aux activités concernés,
- signer les rapports qu'elles produisent et assumer la responsabilité de leur contenu, éventuellement pour la seule partie dont elles ont eu la charge,
- accepter de confronter ses pairs en démontrant sa compétence dans le domaine de la matière première minérale, du type de gisement et du contexte de l'étude.

¹ Site Internet : www.crisco.com

Seule une personne qualifiée est autorisée à prendre la décision de transformer des ressources indiquées et/ou mesurées en réserves probables et/ou mesurées (voir l'entrée ressources et réserves du glossaire).

12. Plateau continental juridique

Du point de vue géomorphologique, le plateau continental est le prolongement du continent sous la surface de l'océan. Il correspond à la partie de la marge continentale comprise entre la côte et le sommet du talus continental situé à une profondeur moyenne de 120 à 200 m.

Au sens juridique, le plateau continental désigne les fonds marins et leur sous-sol au-delà de la mer territoriale, sur toute l'étendue du prolongement naturel du territoire terrestre ou jusqu'à 200 milles marins sur lequel l'État côtier exerce des droits souverains pour l'exploitation des ressources. Sa limite peut coïncider avec celle de l'extension maximale de la zone économique exclusive (ZEE), zone dans laquelle l'État côtier dispose du droit d'exploiter toutes les ressources économiques, dans les eaux, sur les fonds et dans le sous-sol. Comme la ZEE, sa limite peut toutefois se situer à moins de 200 milles dans le cas où les côtes de deux États sont adjacentes ou se font face. Lorsque la marge continentale s'étend au-delà de 200 milles, les États peuvent prétendre exercer leur juridiction, soit jusqu'à 350 milles marins des lignes de base, soit jusqu'à 100 milles de l'isobathe 2500 mètres, en fonction de certains critères géologiques. Pour prétendre à cette extension, l'État côtier doit constituer un dossier technique et juridique qui doit être déposé devant la Commission des Limites du Plateau Continental.

13. Polluant / particule

Substance dont la présence dans l'air et/ou l'eau et/ou les sols et/ou la biomasse peut porter atteinte à la santé humaine et/ou des écosystèmes, notamment lorsqu'elle dépasse le seuil fixé par des réglementations spécifiques. En l'absence de réglementation applicable à l'échelle nationale ou territoriale, il s'agit de toute substance identifiée par ailleurs comme étant à risques (par exemple dans le cadre de la Directive européenne REACH).

14. Réserve minérale

(« *Mineral reserve* »)

La définition du terme « réserve minérale » utilisée ici est la traduction en français de la dernière version du document de l'Institut Canadien des Mines, de la Métallurgie et du Pétrole (CIM, 2014). Les définitions de termes publiées par le CIM sont reprises dans le standard canadien de rapportage des réserves et ressources NI 43-101, auquel ce rapport fait référence.

Les réserves minérales désignent la partie économiquement exploitable des ressources minérales mesurées ou indiquées. Elles comprennent les matériaux de dilution et des provisions pour pertes² subies lors de l'exploitation. Les réserves sont définies par des études de pré faisabilité ou de faisabilité. Ces études doivent inclure le détail des facteurs modificatifs appliqués pour transformer les ressources indiquées ou mesurées en réserves probables ou mesurées. Cela nécessite la publication des données relatives à l'exploitation minière, au traitement du minerai, à la métallurgie des concentrés, aux aspects économiques et aux autres facteurs pertinents démontrant qu'il est possible, au moment de la rédaction du rapport, de justifier la rentabilité de l'exploitation.

Le point de référence auquel les réserves minérales sont définies doit être indiqué. Il s'agit généralement du point où le minerai est livré à l'usine de traitement. Dans toutes les situations où le point de référence diffère, par exemple pour un concentré marchand, Il est important d'inclure une déclaration clarifiant le point de référence, afin de s'assurer que le lecteur sera pleinement informé sur le contenu du rapport.

La publication d'une réserve minérale doit être démontrée par une étude de pré faisabilité ou de faisabilité.

15. Rente

La rente économique désigne cette part de la valeur d'un produit qui dépasse ce qui a été nécessaire de dépenser pour assurer la production. Ainsi, la rente économique recouvre ce qui reste de la valeur de la production une fois rémunéré l'ensemble des facteurs de production (travail

² Ce sont les pertes de matière qui sont désignées ici : minerai non récupéré et pertes lors du procédé de traitement du minerai et/ou de la métallurgie. Les taux de récupération d'une ressource ne sont jamais de 100 %.

et capital, y compris un taux de profit « normal »). Assimilée à un surplus ou à un surprofit, la rente économique peut provenir de différentes sources.

Pour l'exploitation d'une ressource non renouvelable la rente peut s'interpréter alternativement comme la valeur d'usage de la nature, ou l'expression d'un pouvoir de monopole et s'inscrire dans une stratégie de maximisation des revenus tirés de la mine sur l'horizon d'exploitation de celle-ci. On retrouve potentiellement ces différentes dimensions de la rente économique dans l'exploitation minière et dans les négociations qui président au partage des revenus miniers et à la définition des compensations.

La rente économique est définie de façon opérationnelle comme la Valeur actualisée nette (VAN), hors impôts et taxes, selon la définition du FMI (FMI, 2012). Une telle définition à l'avantage d'être en lien direct avec les analyses de rentabilité des projets.

16. Résilience

En écologie, la notion de résilience renvoie aux capacités d'un écosystème à résister aux perturbations mais aussi à ses capacités à retrouver, après une phase de perturbation, un équilibre fonctionnel. Cette notion vise donc à caractériser les propriétés dynamiques d'un écosystème en relation avec des perturbations. C'est une approche fonctionnelle de l'effet des changements environnementaux sur les écosystèmes. La notion de fonctionnement d'un écosystème renvoie principalement aux propriétés et processus qui déterminent les changements spatio-temporels des flux de matières et d'énergie issus de l'activité biologique. La notion de services écosystémiques renvoie aux bénéfices que les populations humaines peuvent retirer de ce fonctionnement. Les définitions récentes de la résilience intègrent deux aspects complémentaires du fonctionnement d'un écosystème soumis à perturbations : la résistance et le rétablissement. Ces deux aspects de la résilience doivent être évalués en lien avec des modes de perturbation et dans un cadre temporel défini.

17. Ressource minérale

(« *Mineral resource* »)

La définition du terme « ressource minérale » utilisée ici est la traduction en français de la dernière version du document de l'Institut Canadien des Mines, de la Métallurgie et du Pétrole (CIM, 2014). Les définitions de termes publiées par le CIM sont reprises dans le standard canadien de rapportage des réserves et ressources NI 43-101, auquel ce rapport fait référence.

Une ressource minérale est une concentration ou une occurrence d'une substance solide d'intérêt économique sur, ou dans, l'écorce terrestre, dans une forme, teneur ou qualité telle qu'elle présente des perspectives raisonnables d'extraction économique.

La localisation, la quantité, la teneur ou la qualité, la continuité et les autres caractéristiques géologiques d'une ressource minérale sont connues, estimées ou interprétées à partir d'évidences et de connaissances géologiques spécifiques, incluant l'échantillonnage.

Les ressources minérales sont subdivisées en des ressources minérales présumées, indiquées et mesurées, suivant l'ordre croissant de confiance géologique. Une ressource minérale présumée comporte un degré de confiance inférieur à celui des ressources minérales indiquées. Une ressource minérale indiquée possède un degré de confiance supérieur à celui d'une ressource minérale inférée mais inférieur à celui d'une ressource minérale mesurée.

Une « ressource minérale présumée » constitue la partie de la ressource minérale dont on peut estimer la quantité et la teneur ou qualité sur la base de preuves géologiques et d'un échantillonnage restreint et dont on peut raisonnablement présumer, sans toutefois la vérifier, de la continuité de la géologie et des teneurs. L'estimation est fondée sur des renseignements et un échantillonnage restreints, recueillis à l'aide de techniques appropriées à partir d'emplacements tels des affleurements, des tranchées, des puits, des chantiers et des sondages³.

Une ressource minérale présumée a un degré de confiance plus faible que celui qui s'applique à une ressource minérale indiquée, et ne peut pas être convertie en réserves. On peut raisonnablement espérer qu'en cas de

³ Source : Institut Canadien des Mines, Normes de définitions de l'ICM, 22 nov. 2005
http://web.cim.org/UserFiles/File/Normes_de_l_ICM_sur_les_definitions_pour_les_researches_minerales_et_reserves_minerals.pdf

poursuite des travaux d'exploration la majorité de ces ressources pourra être convertie en ressources minérales indiquées.

L'estimation de ces ressources est fondée sur des renseignements et un échantillonnage restreints, recueillis à l'aide de techniques appropriées à partir d'emplacements tels que des affleurements, des tranchées, des puits, des chantiers et des sondages.

Les incertitudes liées à la notion de ressources supposées sont trop grandes pour pouvoir utiliser les tonnages, la teneur ou la distribution de ressources supposées pour un calcul économique.

Une « **ressource minérale indiquée** » constitue la partie de la ressource minérale dont on peut estimer la quantité et la teneur ou qualité, la densité, la forme et les caractéristiques physiques avec un niveau de confiance suffisant pour rendre possible l'application de facteurs modificateurs (voir ce terme dans le glossaire) et permettre la planification minière et l'évaluation de la viabilité économique du gisement. L'évidence géologique est dérivée de données d'exploration, d'échantillonnage et d'essais de traitement du minerai suffisamment détaillés et fiables. Elle est suffisante pour présumer la continuité géologique, des teneurs et de la qualité entre les points d'observation.

Une ressource minérale indiquée a un degré de confiance plus faible que celui qui s'applique à une ressource minérale mesurée, et ne peut être convertie qu'en réserves probables.

Une « **ressource minérale mesurée** » constitue la partie de la ressource minérale dont on peut estimer la quantité, la teneur ou la qualité, la densité, la forme et les caractéristiques physiques avec un niveau de confiance suffisant pour rendre possible l'application de facteurs modificateurs (voir ce terme dans le glossaire) et permettre la planification minière détaillée et l'évaluation finale de la viabilité économique du gisement. L'évidence géologique est dérivée de données d'exploration, d'échantillonnage et d'essais de traitement du minerai détaillés et fiables. Elle est suffisante pour confirmer la continuité géologique, les teneurs et la qualité entre les points d'observation.

Une ressource minérale mesurée a un degré de confiance plus élevé que celui qui s'applique à une ressource minérale indiquée ou supposée, et peut être convertie en réserves mesurées ou probables.

La figure 1, copiée à partir de CIM (2005) représente les relations entre les différentes catégories de ressources et de réserves.

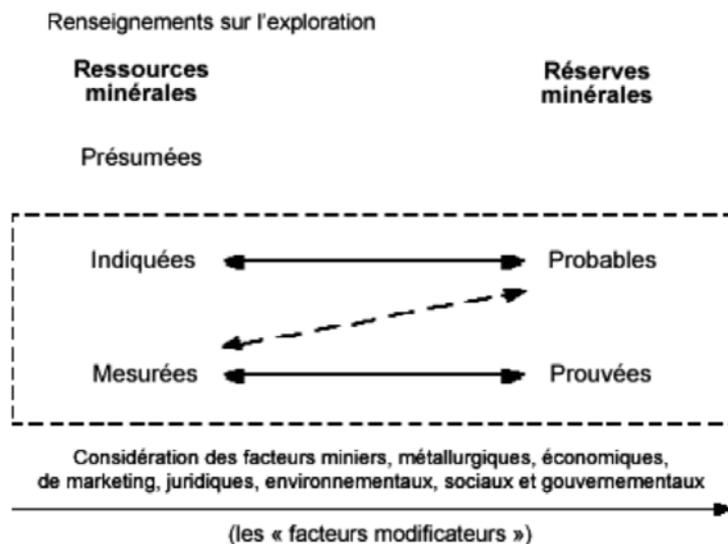


Figure 1 – Relations entre les ressources et les réserves minérales (source: CIM (2005))

18. Taux d'actualisation

(« Discount rate »)

Le taux d'actualisation est le taux CF_T qu'il faudrait appliquer à un placement actuel pour qu'il vaille 1 € (ou, cas le plus fréquent dans l'industrie minière, 1 \$) à un horizon temporel T (exprimé en jours, mois, années...) déterminé. Ainsi pour obtenir 1 € dans dix ans avec un taux annuel de 5% par an faudrait-il placer environ 0,64 € aujourd'hui (taux d'actualisation : 1,5513)

Ainsi, on peut calculer la Valeur Actuelle Nette (VAN) d'un flux de trésorerie futur F, survenant à un horizon temporel T, en appliquant la formule :

$$VAN_{(F,T)} = F \times CF_T$$

Pour un projet minier dont la production va souvent s'étendre sur 10, 20 ans et d'avantage, les flux de trésorerie futurs seront calculés pour chaque année de la durée de vie de l'exploitation établie par l'étude de faisabilité, chaque flux annuel de trésorerie (positif ou négatif) étant affecté du coefficient d'actualisation. Celui-ci est peut être considéré au taux de rendement r d'un placement qui résulterait de l'application de la formule :

$$CF_T = \frac{1}{(1+r)^T}$$

Le coefficient d'actualisation est un paramètre très important des études économiques de projets miniers. Il est très largement utilisé par les investisseurs, notamment dans le domaine minier car il permet de comparer les perspectives de rendement de différents placements. Si un rendement de 2 à 3 % peut paraître acceptable pour un placement estimé sans risques libellé en Euro ou en US\$, ce n'est pas le cas des projets miniers, où le taux de rendement le plus largement utilisé dans les études économiques est de 8 à 10 %, afin de tenir compte, en partie, des risques inhérents aux projets miniers.

Un article très détaillé sur le choix du taux d'actualisation et son lien avec les risques inhérents aux projets miniers est proposé par CEMI (2015)⁴.

19. Taux de rentabilité interne

(«*Internal Investment Rate*»)

Le taux de rentabilité interne (TRI) est un autre indicateur largement utilisé dans l'industrie minière. Il convient assez bien pour les projets comportant une phase initiale d'investissement (flux d'investissement négatifs) suivie d'un ensemble de flux annuel positifs, correspondant à la phase d'exploitation.

Le TRI est le taux qui annule une série de flux de trésorerie positive future.

Sa formule de calcul est :

$$V_{Actuelle\ Nette} = 0 = \sum_{p=1}^{p=N} \frac{FT_p}{(1 + TRI)^p} - I$$

avec :

- **FT_p** représentant le montant du $p^{ième}$ flux de trésorerie,
- **p** désigne le rang du flux de trésorerie FT_p encaissé,
- **N** le nombre de flux de trésorerie succédant à la phase d'investissement initial,
- **I** le montant de l'investissement initial (à la date 0),
- **TRI** est alors le taux de rentabilité de l'investissement initial.

⁴ Lien vers l'article :

http://www.minewiki.org/index.php/Discounted_Cash_Flow_Analysis_-_Methodology_and_discount_rates

Un TRI de 20 à 30 % apparaît comme une sorte de minimum empirique en deçà duquel un projet minier a moins de chance de réunir les capitaux (CAPEX) nécessaire à sa mise en production.

La figure 1 représente le TRI de 230 projets et exploitations minières du domaine des métaux ferreux et bob-ferreux, tel que compilé par la société snl.com, à partir des données publiées par les sociétés concernées.

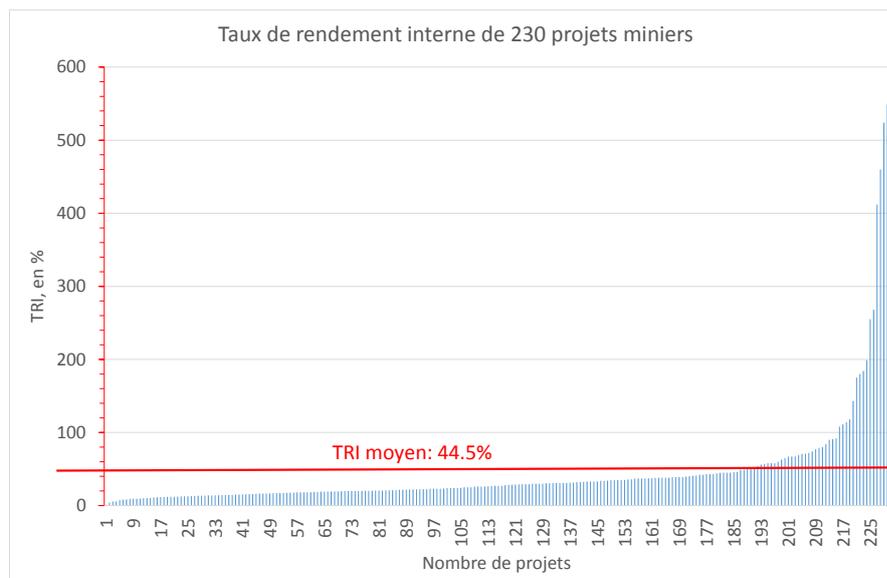


Figure 2 – TRI de 230 projets et exploitations minières – Source des données : snl.com

Il en ressort qu'environ 180 projets sur 230 ont un TRI inférieur à 40%, soit 78% des projets. Ce niveau de TRI représentant la rémunération du risque pris par les investisseurs. Il est à noter que le TRI n'est qu'un scénario, qui est très dépendant de divers facteurs, notamment de l'évolution des coûts de production et du prix des métaux.

20. Valeur actuelle nette

(« *Net Present Value* »)

La **valeur actuelle nette** (VAN, « *Net Present Value* », NPV, en anglais) est la somme des flux de trésorerie, actualisés à l'aide du coefficient d'actualisation CF_T , générés par un projet ou par une exploitation.

Sa formule de calcul est :

$$V_{Actuelle\ Nette} = \sum_{P=0}^{P=n} CF_{flux\ de\ trésorerie} \cdot (1+t)^{-p} - I + VR$$

avec :

- **CF**, l'excédent brut de trésorerie corrigé de la variation du Besoin en Fonds de Roulement (BFR),
- **p** désignant le rang de l'annuité,
- **t**, le coefficient d'actualisation,
- **I**, le montant de l'investissement initial
- **N**, le nombre d'annuités prises en compte pour le calcul de la VAN
- **VR**, la valeur résiduelle (celle-ci est un flux de trésorerie pouvant également être inclus dans la variable CF).

La VAN est également un indicateur important pour l'évaluation des projets miniers et la comparaison entre projets. Cette comparaison doit alors se faire en calculant la VAN par unité de produit(s) marchand(s), par exemple par once d'or ou par tonne de manganèse. Cela suppose cependant que le coût en numéraire (voir ce terme dans le glossaire) des projets ait été calculé de façon comparable.

I-0. Introduction : spécificités et phases du projet minier

P. CHRISTMANN, N. ARNDT, P. COCHONAT, V. GERONIMI, P.-Y. LE MEUR

Cette introduction propose un ensemble de repères relatifs aux projets miniers et à l'industrie minérale¹ qui les opère, afin de contribuer à la compréhension et à la gestion du développement éventuel du patrimoine minéral sous-marin profond de Polynésie française dans le contexte général de ces projets et de cette industrie. Le référentiel proposé est lié aux projets miniers et à l'industrie.

Un projet minier est un projet d'investissement dans l'exploration puis, en cas de découverte d'un gisement, dans l'exploitation de ce gisement afin de produire un ou plusieurs produits commercialisables, souvent appelés produits marchands, qui peuvent selon les cas, être un ou plusieurs minéraux, un concentré ou bien un ou plusieurs métaux plus ou moins purs.

Le succès d'un projet minier dépend d'un ensemble de facteurs qui doivent être réunis, sa mesure est le profit que dégagera l'exploitation du gisement concerné par le projet. Ces facteurs sont :

- l'existence d'un gisement, c'est-à-dire d'une concentration minérale dont il a été démontré qu'elle est exploitable en tenant compte d'un ensemble de facteurs ;
- la disponibilité des savoir-faire nécessaires pour mettre en œuvre un projet minier et pour son éventuelle mise en exploitation. Dans le cas de projets industriels à grande échelle ces savoir-faire sont très diversifiés. Des compétences dans différentes disciplines des géosciences (géologie, géochimie, géophysique, minéralogie,

¹ L'industrie minérale inclut l'ensemble des activités extractives (industrie minière sensu stricto), de traitement des minerais (minéralurgie), d'extraction et de raffinage des métaux (métallurgie).

pétrographie, pétrologie, télédétection, géostatistique, modélisations numériques 3D et 4D), et dans les domaines du forage, de la métrologie (analyses chimiques et imagerie scientifique pour la caractérisation des minéralisations en vue de leur traitement), du traitement des minerais, de la métallurgie, de l'ingénierie, de la gestion sont nécessaires. Bien sûr, il est souvent fait appel à des compétences externes à l'équipe de projet (prestataires de forages, de géophysique, sociétés spécialisées en ingénierie minière, universités) mais cela suppose une forte capacité à planifier et à coordonner l'ensemble de ces intervenants et à évaluer de manière critique et continue les données acquises et les connaissances générées par ces intervenants externes ;

- la disponibilité des capitaux nécessaires à l'accomplissement de chaque étape du projet minier ;
- l'adhésion de l'ensemble des parties prenantes concernées par le projet minier. Celles-ci sont nombreuses (voir figure 1) et leurs attentes sont diverses et souvent contradictoires, voire conflictuelles. Fédérer les acteurs, développer du consensus autour d'un projet minier est une tâche complexe nécessitant des moyens et des talents spécifiques ; leur forte implication, avec un désir partagé de voir aboutir le projet de l'entreprise minière concernée et des autorités locales, régionales et nationales concernées. La consultation des groupes d'acteurs concernés, leur participation au processus tout au long du projet, la transparence dans la mise en œuvre de celui-ci jusqu'au stade post-exploitation, après l'arrêt des opérations, et une communication claire au cours du projet sont des clés de sa réussite.

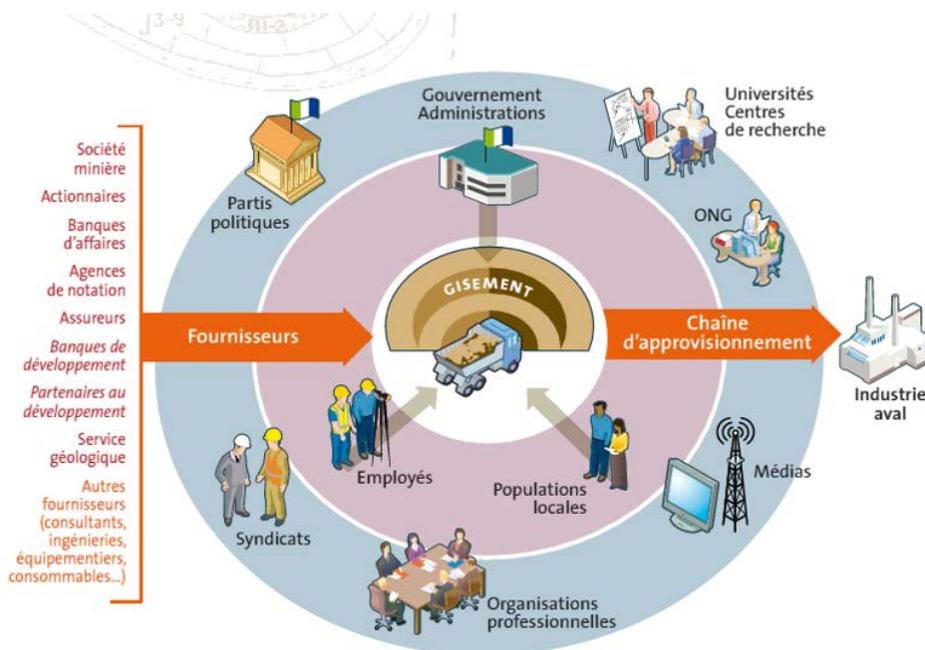


Figure 1 – Les parties prenantes du projet minier (les parties dont le nom figure en italique sont spécifiques de projets dans des pays en développement– Source : P. Christmann et al. (2012)

Les principaux facteurs permettant de démontrer cette exploitabilité sont, classiquement, d'ordre économique et technique. Un investisseur attend une rentabilité de son investissement et celle-ci doit être au moins proportionnelle aux risques que prend l'investisseur en finançant un projet minier. Au-delà de la dimension technico-économique, la montée des préoccupations liées aux enjeux de soutenabilité du développement et aux régulations associées oblige désormais les industriels à prendre en compte les dimensions socio-environnementales et les questions de gouvernance. Ces dimensions sont complémentaires et chacune est essentielle à l'atteinte d'objectifs en phase avec une forme de développement durable (les questions controversées de durabilité et soutenabilité sont discutées dans la contribution I-6).

Les impacts environnementaux des activités minières sont liés au prélèvement de ressources naturelles (ressources minérales, air, eau, espace) et à l'existence d'émissions (liquides et éventuellement gaz potentiellement polluants, bruits et vibrations – un type de pollution) et de déchets (résidus d'exploitation et/ou de traitement des minerais, scories, poussières). Les impacts environnementaux des activités minières peuvent être sévères.

Des exemples de tels impacts chroniques ou accidentels sont ceux de mine de cuivre et d'or d'OK Tedi sur la rivière Fly en Papouasie Nouvelle

Guinée (impact chronique), (Sharp, 2007 ; Kirsch, 2014) ou la rupture d'une digue à stériles² dans la région de Baia Mare en Roumanie (impact accidentel) entraînant la pollution temporaire de la rivière Tisza, dont le bassin versant couvre une partie de la Hongrie, de la Roumanie et du Danube (World Wildlife Fund, 2002). Certains dégâts se manifestent lentement (cf. la notion de « *slow-motion disaster* », Adam, 1998), ce qui retarde les mesures prises pour répondre aux dommages et aggrave leurs effets (le retard peut être dû à une sous-évaluation involontaire ou volontaire).

Les impacts environnementaux des activités minières sous-marines profondes³ sont très mal connus, faute d'études à leur sujet. L'expertise collective Ifremer-CNRS relative aux impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes (Dyment *et al.*, 2014) soulignent que « [l]'écologie des écosystèmes associés à ces ressources minérales est encore très mal connue, de même que les liens et interactions avec les sites plus distants. Les conséquences environnementales que pourrait avoir l'exploitation des ressources minérales sont encore aujourd'hui très largement méconnues. Ces sites rendent de nombreux services écologiques, de manière plus ou moins directe, et sont pour certains directement exploités par l'Homme (cas de la pêche par exemple) ».

A ce jour les ressources minérales marines profondes ne sont pas encore exploitées, mais très localement, notamment au large de la Papouasie Nouvelle-Guinée, des grands fonds marins servent d'aires de dépôt de résidus miniers, provenant du traitement du minerai des gisements d'or de

² les digues à stériles sont des digues qui les qui retiennent les résidus (également appelés « *tailings* », de leur nom anglais), à structure souvent sablonneuse ou boueuse, provenant du traitement du minerai. Il s'agit de la fraction résiduelle, économiquement non valorisable au moment de l'exploitation, du minerai dont un traitement physique et/ou chimique, plus ou moins complexe, a permis d'extraire sélectivement la partie utile, appelée « *concentré* ».

³ « *sous-marin profond* » est à comprendre par opposition aux ressources minérales marines du plateau continental, beaucoup plus proches de la surface. Ces dernières, non traitées dans ce rapport, sont essentiellement constituées de ressources en matériaux de construction (sable et gravier) et en gisements alluvionnaires (placers) de minéraux lourds (souvent riches en fer +/- titane +/- zirconium +/- terres rares). Ces placers sont généralement très proches de la côte et peuvent localement (Namibie) être riches en diamants. Les gisements de phosphate sédimentaire, aujourd'hui exploités à terre (Israël, Jordanie, Maroc, Sénégal, USA ...) peuvent s'apparenter à des gisements formés sur le plateau continental. Les gisements de phosphates de Polynésie Française (Mataiva, Makatea) sont de formation intra-lagunaire, les distinguant des grands gisements sédimentaires mondiaux. Les connaissances disponibles à leur sujet ayant été présentées dans une récente synthèse du BRGM sur les ressources minérales terrestres de la Polynésie Française (Dupuy *et al.*, 2014) ne seront pas reprises ici.

Lihir et de Misima. Il s'agit de dépôts de boues très fines contenant des métaux lourds résiduels et des résidus de produits chimiques utilisés lors des procédés de traitement du minerai. Pour le gisement de Lihir le rejet en mer des résidus de traitement du minerai dure depuis près de 20 ans. En ce qui concerne Misima, dont l'exploitation est terminée, les rejets en mer ont duré 15 ans (1989-2014).

Les travaux récents d'Hughes *et al.* (2015), échantillonnant les fonds marins autour des îles de Lihir et Misima, ont montré d'importantes perturbations de la macrofaune dans les zones de dépôt des résidus de traitement. Les perturbations n'ont pas cessé à Misima, trois ans et demi après l'arrêt de l'exploitation.

Les impacts sociaux peuvent également être sévères, notamment quand l'industrie minière se développe dans un tissu social jusqu'ici peu exposé aux réalités industrielles et économiques globales, et du fait de la situation générée, qui combine incertitude normative (sur les « règles du jeu »), afflux brutal de ressources de tous ordres et mouvements de populations (évacuations et immigrations) (voir Filer et Le Meur, sous presse). La mauvaise intégration d'un projet minier dans le tissu social local peut conduire à des tensions quotidiennes et des violences récurrentes, comme le montre le cas de la mine de Porgera en Papouasie Nouvelle-Guinée (Burton, 2014), voire à un drame de grande ampleur, comme le montre l'histoire tragique de la mine de cuivre de Panguna démarrée en 1967 (alors la plus grande mine à ciel ouvert au monde), sur l'île de Bougainville (Papouasie Nouvelle Guinée). Dans ce cas, les impacts sociaux et environnementaux causés par une exploitation minière à une époque où les normes en la matière étaient quasi inexistantes croisent des séquences événementielles aux racines plus profondes, liées à l'histoire de la colonisation et de la décolonisation, aboutissant en 1989 à la fermeture de la mine et une guerre civile ayant causé 10 à 15 000 morts (Hammond, 2012) et dont la dynamique s'est en quelque sorte autonomisée par rapport à ce nœud complexe de causes (Regan, 2003, 2014).

Ces problèmes, largement médiatisés en leur temps, ainsi que la prise de conscience d'un nombre croissant d'acteurs relative aux limites de notre planète et de notre dépendance par rapport au bon fonctionnement de l'écosystème global (cf. par exemple les développements en cours relatifs au changement climatique) et des écosystèmes locaux (par ex. ressources en eau, disponibilité de terres fertiles, biodiversité et biomasse productive) nécessitent d'élargir le concept de « faisabilité » du projet minier en y intégrant la dimension environnementale. De même, les facteurs sociaux doivent être intégrés dans la détermination de la faisabilité d'un projet. Un projet minier ne peut pas, sauf dans des systèmes dictatoriaux et/ou dans des contextes de très grande pauvreté, réaliser ses objectifs économiques sans l'assentiment des populations impactées par le projet minier, sans obtenir ce

permis social tacite, basé sur la confiance réciproque développée entre les parties prenantes, que la littérature anglo-saxonne désigne sous le nom de « *social license to operate*⁴ » (voir par exemple Yates et Horvath, 2013). Le permis social d'exploitation (PSE) fait partie de la « boîte à outils » de la responsabilité sociale et environnementale des entreprises, progressivement développée par les grandes firmes minières vers la fin des années 1990 pour parer aux coûts du risque réputationnel : il s'agit d'une internalisation du risque environnemental autrefois conçu comme une externalité. Au-delà du PSE (Owen et Kemp, 2013), la notion de consentement préalable, libre, et éclairé (CPLE) apparaît comme une voie prometteuse en matière de reconnaissance des intérêts et points de vue des populations directement concernées par un projet minier, même s'il faut noter que sa mise en pratique est complexe (Szablowski, 2010 ; Owen et Kemp, 2014).

L'absence d'expérience en matière d'exploitation minière des grands fonds marins, la connaissance encore très fragmentaire des écosystèmes océaniques, notamment du domaine profond, leur résilience par rapport à d'éventuelles activités d'exploitation minière ne sont connues que de manière très fragmentaire et locale, comme cela a été mis en évidence dans l'une des plus grandes synthèses disponibles à l'échelle internationale sur les impacts potentiels d'exploitation des ressources minérales marines profondes, publiée en 2014 par le CNRS et l'Ifremer (Dyment *et al.*, 2014).

A ce jour, il n'existe pas de référentiel de connaissances acquises lors d'exploitations minières de ressources minérales marines profondes, quel qu'en soit le type. Il n'existe à ce jour qu'un seul projet proche de la mise en exploitation, le projet d'exploitation de l'amas sulfuré de Solwara-I par Nautilus Minerals en Mer de Bismarck (Papouasie Nouvelle Guinée). Si de nombreux rapports techniques ont été rendus publics il convient d'en souligner le caractère très préliminaire. Une étude de faisabilité pourrait n'être publiée qu'en 2018, lorsque la mise en service des équipements nécessaires à l'exploitation de ce gisement située à une profondeur moyenne d'environ 1 550 m (Lipton, 2012), une première mondiale, permettra le recueil des données techniques et économiques nécessaires à la réalisation de cette étude de faisabilité.

De nombreuses différences existent entre les conditions d'une exploitation de ressources minérales marines profondes et de ressources minérales « à terre » dans toutes les dimensions du développement durable : économiques, environnementales, sociales, culturelles et politiques. S'il existe une littérature abondante relative à ces dimensions, le référentiel disponible sur les ressources minérales marines profondes est très limité, beaucoup restant à découvrir.

⁴ Cela peut se traduire par « permis social d'exploitation ».

En l'absence d'un tel référentiel spécifique il est recommandé que tout développement futur du patrimoine minéral marin profond de la Polynésie française fasse explicitement appel aux meilleures pratiques existant à terre en matière de transparence et de gouvernance de l'industrie minérale et aux préconisations des études récentes sur la mise en valeur des ressources minérales marines. Celles-ci sont présentées ci-dessous.

1. L'industrie minérale

L'industrie minérale mondiale est très diversifiée en fonction des matières premières qu'elle cherche et exploite, des technologies et des investissements mis en œuvre. Ses principaux segments sont (Commission Européenne, 2006) :

L'industrie des mines métallifères (et de la métallurgie associée) exploite des minerais pour la production de métaux (le terme, tel qu'utilisé dans cet ouvrage, incluant également des éléments appelés métalloïdes par les chimistes, tels que le sélénium et le tellure). Le processus de production inclut généralement :

- l'extraction minière d'un minerai composé d'un, ou plusieurs minéraux porteurs du/des métal(aux) recherchés ;
- un traitement plus ou moins complexe du minerai pouvant comprendre la production d'un concentré du/des minéral(aux) porteur(s) du/des métal(aux) économiquement valorisable(s), par traitement physique, chimique et ou biochimique du minerai ;
- l'extraction du/des métal(aux) contenu(s) par un processus métallurgique suivi, le cas échéant, du raffinage nécessaire à l'obtention du/des produit(s) marchand(s).

Les industries du cobalt, du cuivre, du fer, du manganèse, de l'or, des terres rares appartiennent à ce segment de l'industrie minérale.

C'est une industrie très intensive en capitaux, le coût de l'investissement pour démarrer une nouvelle exploitation pouvant dépasser dix milliards US\$ pour les très grands projets d'exploitation de minerais pondéreux, nécessitant la construction de systèmes ferroviaires et de ports en eau profonde. En moyenne, sur la base de données relatives à plus de 3 000 projets et exploitations, compilées par snl.com⁵, le coût de l'investissement initial s'établit à environ 400 millions US\$ par projet.

⁵ Base de données accessible par abonnement

Cet investissement est largement immeuble, c'est-à-dire qu'en cas d'échec de l'opération, l'investissement dans le développement des infrastructures et l'ingénierie sera perdu, seuls les équipements mobiles pouvant être revendus.

Il est exposé à nombre d'aléas spécifiques n'existant pas dans la plupart des autres segments de l'économie (voir encadré 1 ci-dessous). Il nécessite également, en plus des divers permis réglementaires, un permis social d'exploiter (voir glossaire), un consentement et un consensus des parties prenantes concernées (voir figure 1) relatif au projet.

L'industrie des minéraux industriels exploite des minéraux pour leurs propriétés intrinsèques telles que la dureté, la blancheur, la ductilité, une température de fusion élevée (minéraux réfractaires). Le processus de production est généralement beaucoup plus simple que celui des minerais. Il se limite à :

- l'exploitation minière du/des minéral(aux) recherché(s) ;
- d'un traitement généralement physique, parfois chimique (cas des phosphates par exemple, qui sont transformés en acide phosphorique par attaque à l'acide sulfurique pour la production des engrais), visant à séparer le/les minéral(aux) souhaité(s) de leur matrice et/ou à conférer des propriétés spécifiques au minéral(aux) séparé(s).

Les industries des argiles spéciales, du diamant, des minéraux réfractaires, des phosphates, de la potasse, du rutile, du sel, du soufre, appartiennent à ce segment de l'industrie minière.

L'industrie des matériaux de construction exploite des matériaux tels que le sable ou des roches très diverses afin d'approvisionner l'industrie du bâtiment et des travaux publics. A l'exception de l'industrie du ciment qui nécessite l'exploitation de calcaire et de marnes et leur traitement thermique conjoint pour l'obtention du clinker, le processus de production est généralement très simple :

- exploitation minière du matériau recherché ;
- traitement limité à des opérations simples telles que broyage, criblage ou lavage.

L'industrie du sable, des granulats, des agrégats appartiennent à ce segment de l'industrie minière.

L'exploitation de certains minéraux peut relever de deux segments : c'est le cas de la chromite qui peut, en fonction de sa composition chimique, être utilisée en tant que telle pour la production de matériaux réfractaires (segment des minéraux industriels) ou pour la production de chrome métal ou d'alliages de chrome (segment des mines métallifères).

Chacun des segments décrits ci-dessus tend à être opéré par des acteurs industriels différents, tant les savoir-faire et les marchés de ces matières premières minérales diffèrent. Rares sont les exemples d'entreprises actives sur deux des segments mentionnés ici.

Les types de ressources minérales marines profondes susceptibles de présenter un intérêt dans la ZEE de la Polynésie française concernent uniquement le premier de ces segments, l'industrie des mines métallifères. La suite de ce rapport se réfère donc spécifiquement à ce segment de l'industrie minérale, dont l'exploitation des ressources minérales marines profondes constitue un sous-segment spécifique, vu les caractéristiques technologiques, environnementales, économiques et sociales très différentes des activités minières « à terre ».

2. Caractéristiques économiques et aléas affectant les projets miniers

L'industrie des mines métallifères se caractérise, pour la quasi-totalité de la production mondiale, par des exploitations industrielles de grande échelle. S'il existe des productions de type PME ou artisanales, celles-ci ne pèsent pas grand-chose dans la production minière, à l'exception de la production de quelques métaux rares tels que les terres rares « lourdes » des argiles ioniques du sud de la Chine ou le tantale dans la région des Grands Lacs d'Afrique centrale.

L'activité de traitement des minerais a généralement lieu à faible distance des exploitations minières, afin de réduire au maximum les coûts du transport sur de longues distances de tonnages importants.

Ce segment de l'industrie minérale nécessite les investissements les plus élevés parmi les trois segments mentionnés.

Le financement des projets miniers est progressif. Il correspond à trois grandes tranches successives :

- L'investissement public (phase 1 de la figure 2) dans l'identification du patrimoine minéral du pays de l'une de ces régions ;
- En cas d'identification de zones particulièrement prometteuses, l'investissement dans l'exploration minière (phase 2 à 5, figure 3) chacune des phases étant séparée de la suivante par une décision de poursuivre ou d'abandonner le projet au vu des résultats et du contexte économique. Cet investissement comprend l'ensemble des

cinq dépenses réalisées avant la décision de mise en production du gisement ;

- En cas de conclusion positive de l'étude de faisabilité, mobilisation de l'investissement en capital nécessaire pour la mise en production (phase 6, figure 2). Cet investissement doit comprendre une provision pour financer les travaux d'arrêt de l'exploitation lorsque celui-ci arrivera en fin de vie économique (phase 8).

Des investissements en capital peuvent également s'avérer nécessaires au cours de l'exploitation, par exemple pour renouveler un parc d'engins, moderniser une installation ou accroître la capacité de production.

En ce qui concerne les investissements en exploration de ressources minérales marines profondes, la seule référence est celle liée à l'exploration de l'amas sulfuré de Solwara-I (Nautilus Minerals) et, beaucoup plus accessoirement, à la reconnaissance de 18 autres amas sulfurés (Solwara 2 et 19). Sur la base des rapports annuels publiés par Nautilus Minerals pour les années 2005 à 2014, environ 147 millions US\$ courants ont été investis dans l'exploration. Ces dépenses n'incluent pas l'investissement en recherche pour le développement et la construction des équipements spécifiques nécessaires à la mise en production. D'autres entreprises sont actives dans l'exploration des ressources minérales marines profondes, notamment Diamond Fields International⁶, Neptune Minerals⁷ et Deep Green Resources⁸.

Diamond Fields développe le projet d'exploitation des boues volcano-sédimentaires à zinc et cuivre de la fosse d'Atlantis II Deep, dans la mer Rouge. Cette société enregistrée au Canada et cotée à la bourse de Toronto communique selon les exigences de la norme canadienne NI 43-101, la meilleure référence actuelle en matière de communication et de transparence des activités des sociétés engagées dans l'exploration et le développement de projets miniers.

Neptune Minerals⁹ et Deep Green Resources¹⁰ prospectent dans le Pacifique, la première pour amas sulfurés, la seconde pour les nodules polymétalliques. Ces sociétés ne communiquant quasiment pas sur leurs activités, celles-ci ne peuvent donc pas servir de référentiels pour cette expertise collégiale.

⁶ Site Internet : <http://www.diamondfields.com>

⁷ Site Internet : <http://www.neptuneminerals.com>

⁸ Site Internet : <http://www.deepgreenresources.com>

⁹ Site Internet : <http://www.neptuneminerals.com>

¹⁰ Site Internet : <http://www.deepgreenresources.com>

Pour les projets à terre il n'est pas rare non plus que les dépenses préalables à la décision de mise en exploitation représentent des dizaines de millions de dollars, voire davantage, le seul coût d'une étude de faisabilité pouvant dépasser cinquante millions de dollars (voir contributions I-3).

Les investissements réalisés avant la mise en exploitation sont particulièrement exposés aux divers types d'aléas spécifiques aux projets miniers, dont les plus évidents sont une chute du cours des métaux annihilant les perspectives d'exploitation suffisamment rentable du gisement et des changements imprévus du cadre juridique et/ou fiscal applicable au projet, par exemple suite à un changement de gouvernement. Les investissements ne pourront être récupérés et être générateurs de profits que si le gisement est exploité dans les conditions économiques au moins égales à celles prévues dans l'étude de faisabilité.

A ces investissements d'exploration viendront s'ajouter ceux de mise en production du gisement, appelés « coût en capital » (« *Capital expenditure* », acronyme CAPEX (voir glossaire), dans la littérature anglo-saxonne). Le CAPEX est l'un des principaux indicateurs permettant d'évaluer l'économie d'un projet ou de comparer des projets entre eux. Il est indispensable pour financer toutes les dépenses de construction d'infrastructures, l'acquisition des équipements nécessaires à l'exploitation et au traitement du minerai, le recrutement et la formation du personnel. Ces investissements sont réalisés au vu d'une étude de faisabilité (voir I-3).

Le montant du CAPEX peut varier entre quelques millions de dollars, pour de petites exploitations très simples situées dans des régions à infrastructures existantes à plus de dix milliards de dollars pour des exploitations de très grande échelle, par exemple de minerai de fer, produisant des dizaines de millions de tonnes de minerai par an, nécessitant des infrastructures complexes, notamment pour acheminer le produit marchand vers ses marchés. A ce CAPEX initial vient se rajouter un CAPEX d'exploitation, destiné à financer le renouvellement des équipements lors d'exploitations à longue durée de vie.

Sur la base des données relatives à près de 3 300 projets miniers, compilées par *snl.com*¹¹, le CAPEX initial moyen est légèrement inférieur à 400 millions US\$.

¹¹ Service d'informations relatives à l'industrie minière mondiale, disponible uniquement par abonnement payant.

3. Les phases du projet minier

Les projets miniers sont soumis à de nombreux aléas, exposant tous les acteurs (États, industrie minière, communautés riveraines de projets miniers) à des risques (cf. encadré 1 : exemples d'aléas spécifiques au projet minier).

L'importance des investissements à réaliser pour mettre en production une nouvelle mine, la nature et l'importance des aléas spécifiques aux projets de production de ressources naturelles, dont les projets miniers nécessitent un déroulement par étapes du projet minier afin de réduire au maximum les aléas. Ceux-ci sont maximaux au tout début d'un projet minier, le risque principal étant la non-viabilité économique du projet, le risque de ne jamais pouvoir mettre en évidence des réserves minérales économiquement exploitables.

Eggert (2010) estime qu'il faut environ 500 à 1 000 projets d'exploration partant d'un terrain vierge, pour qu'un aboutisse à l'ouverture d'une mine.

La complexité des projets miniers ; l'importance de leurs impacts économiques, environnementaux et sociaux potentiels ; le processus de transformation d'un capital naturel non-renouvelable en d'autres formes de capital (économique, infrastructurel, social...) nécessitent une collaboration étroite entre l'État et ses déclinaisons territoriales et locales, d'une part, et les opérateurs industriels d'autre part, tout au long de la vie des projets miniers. Les grandes fonctions à maîtriser et les rôles respectifs de ces deux acteurs centraux des projets miniers sont représentés, de façon schématique par la figure 2.

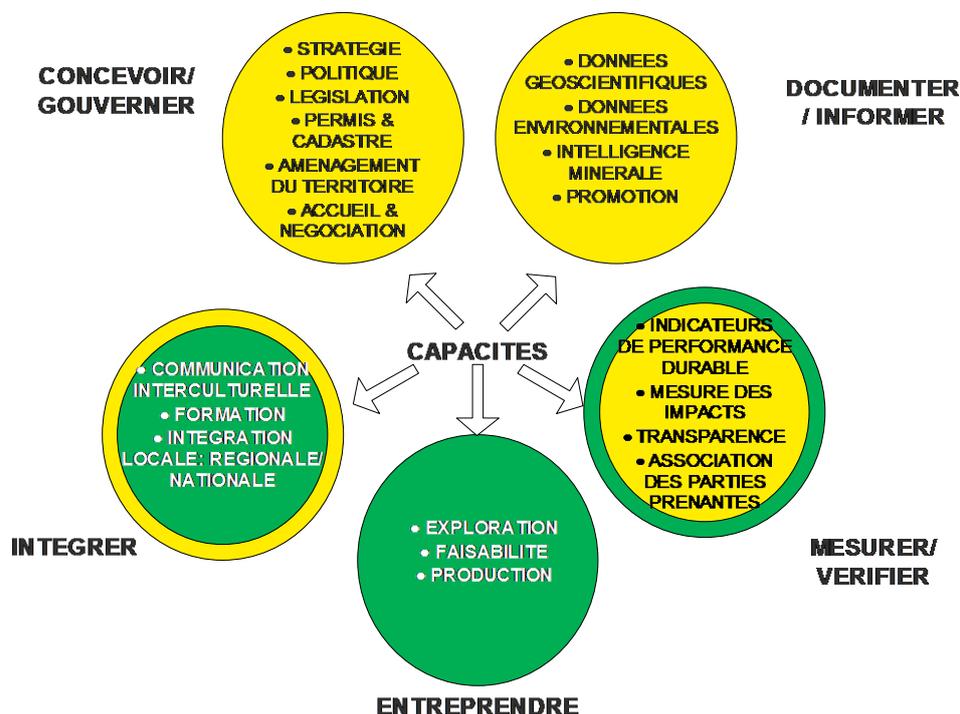


Figure 2 – Représentation simplifiée des grandes fonctions à maîtriser au cours d'un projet minier et des rôles respectifs simplifiés de l'État (et des collectivités territoriales/ locales, aires jaunes) et des opérateurs industriels (aires vertes). Source : BRGM/ P. Christmann

Un projet minier de taille industrielle ne se matérialise pas soudain par le démarrage d'une exploitation, celle-ci n'étant que l'aboutissement d'une série d'étapes préalables destinées à démontrer l'existence d'une minéralisation exploitable dans des conditions économiquement, environnementalement et socialement satisfaisantes. La démonstration de cette faisabilité est un processus qui s'étend généralement sur dix ans, et bien davantage dans de nombreux cas. La figure 3 présente l'enchaînement des différentes phases du projet minier et les rôles prépondérants respectifs des États et des opérateurs industriels, sachant d'une part, que d'autres acteurs interviennent dans le processus, l'arène minière ne se réduisant pas au binôme firme-État et, d'autre part, que l'État peut avoir des participations dans le capital industriel (voir Filer et Le Meur, sous presse).

La figure 3 représente également (fond jaune) les activités qui sont de la responsabilité des États (ou de leurs collectivités territoriales dans le cas de certains États fédéraux et celles (fond vert) qui sont du rôle des opérateurs industriels. La limite entre la zone en jaune et celle en vert de la phase 2 (exploration multi-méthodes, chiffres sur fond bleu) est volontairement floue, certains États pour des raisons de politique de développement régional et/ou de stratégie industrielle, choisissant de s'engager plus avant dans l'exploration, renforçant ainsi l'attractivité des

sujets qu'elles proposeront aux investisseurs miniers et leur position de négociation.

Le rôle de l'État comme moteur essentiel de la recherche minière a été analysé en détail par divers auteurs. L'une des analyses les plus documentées, relative au Canada, est contenue dans un rapport public de l'Association des prospecteurs et développeurs miniers du Canada (Duke, 2013), rapport qui comporte de nombreuses informations sur l'exploration minière dans ce pays.

Encadré 1

Types d'aléas pouvant affecter les projets miniers

(NB : ce tableau présente les risques « du point de vue du projet », laissant de côté le fait qu'un projet minier résulte de l'agglomération d'acteurs et intérêts hétérogènes)

- **Aléas politiques et institutionnels**
 - Absence ou changement de politique de l'État,
 - Instabilité juridique et fiscale,
 - Pouvoir discrétionnaire de l'État en matière d'attribution des permis,
 - Manque de cohérence des réglementations (droit environnemental, fiscal, minier, du travail ...) ayant un impact sur l'industrie minérale,
 - Faiblesses institutionnelles, des compétences nécessaires pour administrer de façon efficiente l'industrie minérale, manque de connaissances de ses spécificités, pour négocier de manière équitable,
 - Mauvaise gouvernance, manque de transparence, corruption,
 - Mise en place de barrières tarifaires et non tarifaires restreignant l'exportation de la production des produits miniers,
 - Mauvaise infrastructure publique de données et de connaissances géoscientifiques, difficulté d'accès à ces données et connaissances.
- **Aléas liés aux infrastructures**
 - Alimentation déficiente en eau et/ou en électricité et/ou en autres intrants,
 - Déficience du réseau d'infrastructures de transport.
- **Aléas économiques**
 - Volatilité des cours et des technologies consommatrices de ces matières premières,
 - Mauvaise gestion technique ou économique par les opérateurs industriels,
 - Barrières tarifaires et non-tarifaires affectant le marché des matières premières,
 - Utilisation de positions de marché en tant qu'instruments géopolitiques,
 - Conditions d'accès et coût des capitaux nécessaires au projet industriel,
 - Rendement insuffisant des investissements,
 - Coût des garanties exigées en vue de la phase « après-mine », coût des assurances.
- **Aléas techniques**
 - Insuffisance des investissements en exploration minière,
 - Tassement des compétences techniques nécessaires à l'industrie minérale,
 - Mauvaise estimation des ressources et des réserves,
 - Risques d'instabilité des terrains, risques liés à des venues d'eau ; de pollution de l'air, des eaux et des sols,
 - Evolution rapide de la demande (obsolescence ou développement rapides d'une technologie, évolution des réglementations).
- **Aléas sociétaux**
 - Opposition au développement de l'industrie minérale.



Figure 3 - Les principales phases d'un projet minier. Source : BRGM/ P. Christmann

Les principales phases du projet minier, en partant d'un terrain vierge de connaissances relatives à son patrimoine minéral sont:

- campagne(s) d'exploration régionale ;
- exploration des cibles et premier calcul de ressources (« Maiden resources report » ou « Technical report ») ;
- étude économique conceptuelle ou Evaluation économique préliminaire (« Concept study » ou « Scoping Study » ou « Preliminary Economic Assessment ») ;
- étude de préfaisabilité (« Prefeasability report ») ;
- étude de faisabilité (« Feasability report ») ;
- ingénierie détaillée du projet, montage du financement requis pour la mise en production, préparation de la mise en production ;
- production ;
- fermeture de l'exploitation et après-mine.

Il est souhaitable, dans un but de transparence et de qualité de l'information, que ces études, comme toutes les études minières relevant

d'un projet spécifique, soient établies conformément au standard canadien NI 43-101 (Autorité des Marchés Financiers du Québec, 2011), standard offrant le meilleur niveau international de transparence relative aux projets miniers. D'autres standards nationaux reconnus par le CRIRSCO peuvent être utilisées pour la préparation d'études minières, mais c'est le standard canadien qui offre les garanties de publicité et de transparence les plus élevées.

Les listes d'éléments à inclure dans les rapports présentés ici s'inspirent des préconisations du standard canadien NI 43-101, annexe 43-101A (Autorité des Marchés Financiers du Québec, 2012).

Les rapports liés aux phases 3, 4 et 5 du projet minier comportent des éléments économiques, environnementaux et sociaux en plus de nombreux paramètres techniques développés ci-dessous.

CEMI développe un site Internet collaboratif (Wiki) qui fournit des informations détaillées relatives à la conception des projets miniers, donnant des informations détaillées relatives aux études à réaliser lors des phases 3, 4 et 5 du projet minier :

http://www.minewiki.org/index.php/The_stages_of_mine_design

De nombreux exemples des différents types d'études minières sont disponibles sur Internet, généralement en anglais. Il peut être très utile, par exemple dans le cadre d'une formation, d'étudier ce type d'études, s'il a été produit selon le standard canadien NI 43-101. Pour en trouver, il suffit à l'aide d'un moteur de recherche de formuler la requête suivante « (nom du type de rapport, en anglais, voir ci-dessous pour le libellé de ces études) + NI 43-101 ».

L'imposition par les autorités de l'utilisation du standard NI 43-101, ou d'un standard équivalent, est une bonne manière d'assurer la meilleure transparence des entreprises actives dans la recherche minière sur leur territoire, un soutien important à la communication entre les parties prenantes en appui au projet minier.

La description ci-dessous tient compte des expériences récentes acquises dans le domaine des ressources minérales marines profondes (projet Solwara-I de Nautilus Minerals, projet Wallis-et-Futuna d'Eramet, Ifremer, Technip, ayant associé le BRGM lors de sa phase initiale).

3.1 Campagne(s) d'exploration régionale (Phase 1)

Lorsqu'il n'existe pas de base de connaissances antérieures sur le patrimoine minéral, la première phase de tout projet minier est la **réalisation d'une campagne d'exploration régionale** pour évaluer l'existence, ou non, d'un potentiel géologique et d'un patrimoine minéral associé, susceptible d'attirer des investisseurs intéressés à le développer jusqu'à une éventuelle exploitation.

Ce type de reconnaissance à petite échelle (souvent comprise entre 1/200 000 et 1/100 000), destiné à identifier dans un territoire relativement grand ($n \times 10\,000\text{ km}^2$) des zones d'intérêt particulier, pouvant comprendre des minéralisations d'intérêt économique, est typiquement de la responsabilité des États.

Pour les ressources minérales marines profondes, il devrait comporter, selon le type de minéralisation recherché :

- une cartographie régionale de la bathymétrie à l'aide d'un sonar multifaisceaux et d'un capteur de rayons gamma pour les encroûtements cobaltifères) ;
- des dragages, notamment sur les surfaces des guyots identifiés, afin d'identifier la présence d'encroûtements cobaltifères ;
- des datations géochronologiques du substratum rocheux des guyots, dont l'âge est un facteur déterminant pour apprécier l'épaisseur potentielle des encroûtements cobaltifères ;
- la recherche de panaches hydrothermaux dans la colonne d'eau, et leur analyse géochimique multi-élémentaire en cas de suspicion de présence d'amas sulfurés ;
- des forages espacés de cent mètres dans les zones identifiées comme potentiellement minéralisées, ces forages pouvant être courts (quelques dizaines de centimètres) si ce sont des encroûtements cobaltifères qui sont recherchés, ou plus longs (quelques dizaines de mètres) dans le cas d'une recherche pour amas sulfurés. Dans tous les cas ces forages doivent permettre la récupération d'une carotte non perturbée, pour analyses et observations géologiques ;
- caractérisation des communautés benthiques pour la faune de grande taille.

La connaissance du patrimoine en ressources minérales marines profondes de la plate-forme est du niveau de la phase 1, avec des connaissances factuelles de ce niveau encore très limitées vu les potentialités estimées. Pour le moment, les connaissances de niveau 1 limitées au plateau des Tuamotu et aux environs de l'île de Niau (Archipel

des Tuamotu), où des encroûtements cobaltifères à teneur en cobalt furent acquises lors de la campagne NIXO 01 en 1971 (Bougault *et al.*, 2011), avec des teneurs élevées en cobalt, comprises entre 1 et 1,4 % Co. L'existence de ce patrimoine minéral a été confirmée par les campagnes Nodco (1986-87) puis Zepolyf à la fin des années 1990.

Bougault *et al.* citent les teneurs suivantes comme étant celles d'un encroûtement « type » du plateau des Tuamotu (ex. : zone a sud de Kaukura). Le mot « type » est mis entre guillemets, car il n'est pas défini dans l'article cité. Il est impossible d'évaluer la représentativité des données figurant dans le tableau 1.

Tableau 1- Teneurs métalliques observées dans un encroûtement cobaltifère « type » du plateau des Tuamotu et teneurs métalliques observées dans un nodule polymétallique « type » de la zone Clarion-Clipperton (Bougault *et al.*, 2011)

	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Pt
	%	%	%	%	%	ppm
Nodule (Clarion-Clipperton)	29	6	0,25	1,4	1,2	
Encroûtement (Tuamotu)	28	15	1,1	0,6	0,1	0,7

3.2 Exploration multi-méthodes des cibles minéralisées (Phase 2) : premier calcul des ressources supposées

"Maiden resources report" ou "Technical report"

Cette phase est le début de l'exploration proprement dite. Il est fréquent que les Etats réalisent une partie des travaux de cette phase, par exemple en réalisant des levés géophysiques aéroportés et/ou terrestres sur des zones d'intérêt géologique particulier, voire des tranchées et des forages. C'est au cours de cette phase que les permis d'exploration sont accordés par l'autorité publique compétente (variable en fonction de l'organisation institutionnelle du pays) aux investisseurs intéressés à prendre les risques pour développer le patrimoine minéral du pays.

La probabilité est très élevée pour que cet investisseur soit une entreprise junior, c'est-à-dire n'exploitant pas de gisement. Beaucoup de ces sociétés sont cotées sur une bourse canadienne ou australienne, où ces sociétés disposent d'un environnement, notamment fiscal, incitatif. Ces sociétés disposent de fonds propres et d'une expérience limitée. Les autorités compétentes ont tout intérêt à vérifier soigneusement la qualité de leurs interlocuteurs, tant technique que financière, et leurs engagements en matière de communication vis-à-vis de l'autorité qui leur a attribué le permis d'exploration et des communautés pouvant être concernées par le projet de développement minier qui pourrait résulter des activités d'exploration. Il est nécessaire d'impliquer les communautés et groupes d'acteurs concernés dès

ce stade, selon des modalités qui peuvent varier, mais doivent inclure des procédures solides de participation, consultation et information. Même si la société attributaire du permis n'est pas tenue de publier de rapports de type NI 43-101, cette obligation étant limitée aux sociétés canadiennes faisant appel à l'actionnariat public de ce pays, il est recommandé que les autorités polynésiennes exigent ce type de rapport, et leur publication, de la part de leurs futurs partenaires. C'est un élément important de développement du nécessaire dialogue entre toutes les parties prenantes concernées par d'éventuelles futures activités minières.

Les activités d'exploration en mer de cette phase doivent avoir pour objectif d'aboutir à l'identification et à la publication d'une première évaluation de la ressource minérale supposée, avec le sens précisé dans le glossaire). Elles comporteront notamment :

– **En mer :**

- la cartographie géologique à grande échelle (entre 1/1 000 et 1/10 000) des zones étudiées ;
- une cartographie bathymétrique à haute résolution (sonar multifaisceaux) et gammamétrique;
- des sondages carottés en quantité suffisante, avec analyse géochimique multi-éléments systématique des passes minéralisées, pour pouvoir satisfaire les exigences du standard NI 43-101 ;
- le recueil d'échantillons de faune benthique.

– **Au laboratoire :**

- une modélisation géostatistique de la ressource pour faire une première estimation de la continuité des épaisseurs, des teneurs et de la qualité générale du minerai. Cette modélisation doit permettre de définir les zones sur lesquelles devront porter les efforts d'acquisition de données nécessaires à la phase suivante ;
- production d'un premier modèle numérique tridimensionnel de la minéralisation ;
- des essais de traitement des échantillons recueillis pour produire soit un concentré, soit directement des métaux plus ou moins purs. Les essais de traitement réalisés sur les nodules polymétalliques (voir la synthèse de quelques travaux existants par Agarwal *et al.*, 2012), dont la minéralogie et la texture est très voisine de celle des encroûtements cobaltifères, laissent espérer une co-valorisation des principaux métaux contenus dans ces derniers,
- un objectif économiquement et environnementalement intéressant car il pourrait permettre un bilan environnemental plus favorable que nombre d'exploitations à terre. La co-valorisation métallurgique des

métaux contenus dans les encroûtements cobaltifères justifie un effort de recherche spécifique, vu l'importance des enjeux ;

- une étude de la faune recueillie, notamment une détermination des espèces endémiques et/ou vulnérables/en danger ;
- une première identification et analyse des usages non miniers (pêche, tourisme, transport, patrimoine culturel...) de la zone concernée.

Il est à noter que les sondages carottés destinés à évaluer la nature et l'épaisseur des encroûtements cobaltifères n'ont pas besoin d'excéder cinquante centimètres, l'épaisseur maximale espérée des encroûtements ne dépassant pas 20 à 30 centimètres. La disponibilité d'un système robotisé permettant de réaliser rapidement et à bas coût de tels sondages serait un grand avantage.

Le rapport présentant la ressource minérale supposée est largement utilisé par les sociétés juniors occidentales finançant leurs projets par l'appel à l'actionnariat public, car il s'agit d'un bon moyen pour stimuler l'intérêt des investisseurs et le cours de bourse, en cas d'annonce très positive. Les rapports de ce type comportent les éléments suivants :

- les noms des personnes qualifiées (voir ce terme dans le glossaire) ayant établi le rapport, plusieurs experts étant souvent associés à une même étude, afin de disposer de tous les domaines de compétences nécessaires ;
- le mandat qu'elles ont reçu ;
- le détail des visites techniques du projet effectuées ;
- la description et la localisation du terrain où se trouve le gisement ;
- la description de l'accessibilité et du contexte géographique (altitude, topographie, végétation) du terrain ;
- l'historique des travaux antérieurs ;
- le contexte géologique et la description des zones minéralisées ;
- la description du type de gisement ;
- les travaux d'exploration réalisés pour cette étude avec une description minutieuse des méthodologies utilisées par exemple pour le prélèvement d'échantillons, le détail des résultats obtenus ;
- les données détaillées relatives aux forages réalisés ;
- la méthodologie de préparation et d'analyse des échantillons prélevés, les procédures de contrôle mises en œuvre pour assurer la fiabilité des résultats¹² ;

¹² Le recours à un laboratoire certifié (ISO 9001, ISO/CEI 17025) est vivement recommandé

- la vérification des données : la(es) personne(s) qualifiée(s) doit (vent) décrire les vérifications qu'elles ont effectuées pour s'assurer que les données qu'elles ont examinées sont bien sincères et traçables ;
- la description et les résultats des essais de traitement des minerais et des essais métallurgiques ;
- l'estimation des ressources minérales (au sens de l'un des codes de rapportage des ressources et réserves¹³ reconnus par le CRIRSCO) et la manière dont ces ressources sont calculées. Cette estimation est généralement basée sur un modèle numérique tridimensionnel du gisement. Dans les études de premier calcul des ressources, celles-ci sont généralement calculées avec le niveau « ressource supposée » (« *inferred resource* »), le niveau le plus bas en matière de fiabilité. Leur nature purement indicative ne permet pas d'en dériver des calculs économiques.

Au vu des résultats, le titulaire du permis prendra la décision d'engager, ou non, la phase suivante.

Aujourd'hui il n'existe que très peu d'études relatives aux ressources minérales marines profondes à ce niveau :

Lipton (2012), de la société d'ingénierie Golder Associates, l'une des entreprises les plus connues dans ce domaine, a coordonné l'évaluation des ressources (au niveau ressources indiquées) produite pour le gisement de type amas sulfuré de Solwara-I de Nautilus Minerals. Il contient également une estimation des ressources supposées de l'amas sulfuré de Solwara-12. La nature « indiquée » d'une partie des ressources de Solwara-I a permis à la société Golder Associates de faire une première estimation des coûts en capital et des coûts opératoires de l'exploitation de Solwara-I. Ces éléments sont indiqués en section 6 « Scénarios relatifs au niveau de la rente ».

¹³ Voir les entrées du glossaire relatives au terme « ressources et réserves ».

3.3 Etude économique conceptuelle (Phase 3)

“*Concept study, scoping study*” ou “*preliminary economic assessment.*”

Il s’agit de la première étude technique et économique réalisée en cours d’avancement d’un projet minier. C’est le premier niveau d’évaluation technique d’un projet minier. Ses buts sont de :

- déterminer si le projet a un potentiel de viabilité économique après avoir pris en compte toutes les composantes techniques, environnementales et sociétales du projet ;
- d’identifier les problèmes éventuels à résoudre nécessitant des études détaillées ;
- d’identifier et de décrire, avec le budget correspondant, les différentes options possibles pour la poursuite du projet.

Elle doit comprendre une première estimation des coûts d’investissement et opératoires ainsi que des travaux à réaliser, pour avancer, selon les cas, vers l’étude de pré faisabilité ou de faisabilité¹⁴, si les conclusions de l’étude économique conceptuelle justifient la poursuite des travaux.

Avant sa réalisation les travaux d’exploration auront dû être intensifiés, pour permettre de mieux préciser le modèle 3D de la répartition des ressources du gisement, ressources qui sont souvent calculées au niveau « indiqué ».

Pour l’évaluation des ressources minérales marines profondes les activités suivantes doivent être réalisées à ce stade du projet:

En mer :

- poursuite de l’acquisition de données, avec resserrement de la maille pour aboutir à une cartographie à l’échelle du 1/ 1 000 ;
- resserrement de la maille de sondages carottés courts (maille de 50 m * 50 m, ou plus fine). Les carottes seront remontées en surface pour servir d’archives et permettre d’éventuelles vérifications ultérieures d’observations et d’analyses. Une demi-carotte sera prélevée pour fournir la matière première pour un premier essai de pilotage par lots du traitement du minerai après identification du/ de(s) procédés les mieux adaptés pour permettre la co-valorisation des métaux contenus. Le prélèvement d’un ou de plusieurs échantillons par dragage peut s’avérer nécessaire pour fournir la quantité de minéral nécessaire à ce pilotage par lots ;

¹⁴ Dans de nombreux cas la décision est prise par l’entreprise de passer directement de l’étude conceptuelle à l’étude de faisabilité.

- analyse géochimique multi-éléments de la partie minéralisée de chaque forage ;
- analyse géotechnique des matériaux recueillis pour déterminer leur capacité à être exploités à l'aide d'un système collecteur adapté (voir Dymont *et al.* pp. 332-334, 2014) ;
- observation et collecte de la faune installée sur les encroûtements et comparaison à celle des zones non encroûtées afin de déterminer le niveau d'endémicité de la faune installée sur les encroûtements ;

Au laboratoire :

- synthèse de l'ensemble des données recueillies, analyse géostatistique de ces données et affinage du modèle numérique tridimensionnel dont le développement a commencé lors de la phase précédente ;
- recueil de paramètres économiques par consultation de sociétés d'ingénierie, et lors de l'essai-pilote de traitement du minerai, afin de réaliser une première estimation des coûts en capital initiaux et des coûts de production ;
- synthèse économique, environnementale et sociale, par analyse de la littérature scientifique et grise, consultations et enquêtes participatives, rédaction de l'étude conceptuelle.

Le modèle d'exploitation défini au cours de l'étude ainsi que les résultats des essais-pilote de traitement sont indispensables pour une première définition des paramètres opérationnels (rythme journalier de production, dilution du minerai, teneur de coupure, taux de récupération, nombre de tonnes de minerai traités par jour et par an...) d'une future exploitation. En sus des éléments déjà décrits du premier calcul des ressources (cf. ci-dessus), qui seront repris et actualisés dans l'étude de faisabilité, cette étude comprendra les éléments suivants¹⁵ :

- la description et les résultats des essais de traitement des minerais et des essais métallurgiques ;
- l'estimation des ressources minérales (au sens de l'un des codes de rapportage des ressources et réserves¹⁶ reconnus par le CRIRSCO) et la manière dont ces ressources sont calculées. Cette estimation est généralement basée sur un modèle numérique tridimensionnel du gisement, et est du niveau de précision « ressources indiquées » (au minimum), voire « ressources mesurées » ;

¹⁵ La liste des éléments est dérivée des préconisations de l'instrument canadien NI 43-101, annexe 43-101A (Autorité des Marchés Financiers du Québec, 2012)

¹⁶ Voir les entrées du glossaire relatives au terme « ressources et réserves ».

- la description de la méthode d'exploitation minière préconisée avec, notamment, ses paramètres géotechniques et hydrogéologiques ; les taux de production (en tonnes/jour et tonnes/an de minerai, la durée de vie prévue de la mine, les dimensions des unités minières et les facteurs de dilution minière appliqués ; le dimensionnement des travaux de décapage, de développement souterrain et de remblayage éventuellement nécessaires ; le parc de véhicules et les équipements miniers nécessaires ;
- la description du procédé de traitement du minerai (production d'un ou de plusieurs concentrés), des taux de récupération estimés des rythmes de production, ainsi que, le cas échéant, du processus métallurgique, des coûts en capital et des coûts opératoires associés ;
- la description des infrastructures nécessaires au projet (routes, chemin de fer, installation portuaires, bureaux, ateliers, laboratoires, aires de stockage), de leurs coûts en capital et des coûts opératoires éventuellement associés ;
- l'étude de marché et la présentation des contrats déjà conclus. Cette étude présentera les possibilités de débouchés du/des produit(s) marchands qui seront produits par le projet et présentera les hypothèses de prix de vente de ce/ces produit(s). Elle présentera également les contrats déjà conclus par l'entreprise, par exemple des contrats d'enlèvement futur (« *off-take agreements* ») ;
- les études environnementales, permis et conséquences sociales sur la collectivité : ce chapitre décrira les études d'impact environnemental et social du projet au cours de l'exploitation, mais aussi lors de l'arrêt, et ensuite, de l'activité de production (phase d'après-mine) ; elle identifiera les impacts et les stratégies qui seront mises en œuvre pour réduire au maximum les impacts identifiés (ce qui implique de commencer à élaborer à ce stade une stratégie de prévention/mitigation/ compensation). Les coûts en capital et opératoires associés devront être identifiés ;
- les coûts d'investissement (coûts en capital) et opératoires du projet, en reprenant les éléments des chapitres précédents. Les coûts seront présentés en rythme annuel. Les coûts opératoires devraient être entre autres rapportés à l'unité de produit marchand produite (par exemple en US\$ par tonne de cuivre ou en livre avoirdupois¹⁷ (lb av) de cobalt ;

¹⁷ la livre avoirdupois est une unité de masse valant exactement 0,45359237 kilogramme. Elle est divisée en 16 onces ou 7 000 grains. Elle est utilisée aux États-Unis, au Royaume-Uni ainsi qu'au Canada.

- l'analyse économique du projet, qui peut être basée sur différents scénarios de production et de prix de vente du/des produit(s) marchand(s). Elle doit comporter les prévisions de trésorerie sur une base annuelle avec détermination de l'Excédent Brut d'Exploitation, fondés sur les réserves ou les ressources minérales et un calendrier de production annuel couvrant la durée de vie du projet ; le calcul de la Valeur Actualisée Nette (VAN) du projet et du Taux de Rentabilité Interne (TRI) ; la détermination de la durée de vie de l'exploitation ; le délai de récupération de l'investissement ; les intérêts théoriques ou réels à payer ; les impôts, taxes, redevances et autres contributions ou droits applicables au projet minier ou à la production ainsi qu'aux produits des activités ordinaires et au revenu tirés du projet minier ; des analyses, notamment des analyses de sensibilité aux variations du prix des produits, des teneurs, des coûts d'investissement et des coûts opérationnels, de la fiscalité ou de tout autre paramètre important, avec un commentaire détaillé de l'incidence des résultats de ces analyses ;
- toute autre information nécessaire pour que le rapport soit complet, compréhensible et ne soit pas trompeur ;
- les interprétations et conclusions d'ensemble, soulignant notamment les incertitudes, les facteurs de risque et les impacts sur la viabilité du projet qui pourraient en résulter ;
- les recommandations relatives pour la poursuite des travaux, les résultats qui en sont attendus et le budget détaillé qui serait nécessaire à leur réalisation.

Le contenu de cette étude sera à adapter aux spécificités des ressources minérales marines, qui nécessitent l'emploi de techniques d'observation spécifiques et d'équipement spécialisés.

A ce stade, selon CEMI (2015), 2 à 5 % des études d'ingénierie auront été réalisées, l'estimation des coûts est précise à +/- 50%, la provision pour imprévus est de +/- 30 %. La rédaction du rapport nécessite 3 à 6 mois en plus du temps nécessaires à l'ensemble des travaux mentionnés. Le budget d'une telle étude (incluant les travaux de laboratoire, l'étude géotechnique, les essais de traitement du minerai mais pas les dépenses d'exploration tels que les levés géologiques, géophysiques ou les sondages) est de l'ordre de 0,2 % du coût en capital du projet. Ainsi cette étude coûtera-t-elle +/- 1 million US\$ pour un projet dont le coût en capital serait de 500 M\$.

C'est aussi au cours de cette phase que le dialogue avec les populations **potentiellement impactées par le futur projet devra être entrepris.**

3.4 Etude préliminaire de faisabilité (phase 4)

“Preliminary feasibility report”.

Les objectifs et le contenu d’une étude de préfaisabilité sont voisins de ceux exposés ci-dessus pour la réalisation de l’étude économique conceptuelle, de nombreuses sociétés ne publient que l’un de ces rapports, l’étude de préfaisabilité offrant cependant un degré de précision supérieur à celui de l’étude conceptuelle. Son utilité est à la fois d’informer les actionnaires de l’avancement du projet et de servir de base, au vu des résultats, de poursuivre ou d’abandonner le projet.

Le plan de cette étude est identique à celui de l’étude économique conceptuelle. Différents scénarios de mise en œuvre du projet peuvent y être présentés, avec identification d’un scénario de base.

Selon CEMI (2015), à ce stade, 5 à 15 % des études d’ingénierie auront été réalisées, l’estimation des coûts est précise à +/- 30 %, la provision pour imprévus est réduite à +/- 20 %. La rédaction du rapport nécessite 6 à 12 mois en plus du temps nécessaire à l’ensemble des travaux d’exploration (poursuite des forages pour obtenir une maille suffisamment serrée de données analytiques pour pouvoir effectuer le calcul des ressources au niveau « indiqué »), aux essais de traitement du minerai et aux autres études comprises dans ce type d’étude. Le budget de l’étude de préfaisabilité (incluant les travaux de laboratoire, l’étude géotechnique, les essais de traitement du minerai mais pas les dépenses d’exploration tels que les levés géologiques, géophysiques ou les sondages) est de l’ordre de 0,5 à 2 % du coût en capital du projet. Ainsi cette étude peut-elle coûter jusqu’à +/- 10 millions US\$ pour un projet dont le coût en capital serait de 500 M\$.

3.5 Etude de faisabilité (Phase 5)

"Feasibility report"

Les objectifs et le contenu d’une étude de faisabilité sont de démontrer que l’exploitation d’un gisement déterminé est techniquement et économiquement viable (« faisable ») et socialement accepté. Ce document est de la plus grande importance car il va servir à l’entreprise :

- pour monter le financement de la mise en production en présentant ce rapport aux investisseurs potentiellement intéressés par une prise de participation dans le projet ;
- décider du lancement de la mise en route des opérations : achats de matériels et de services d’ingénierie, recrutement et formation du personnel, travaux préparatoires tels que la construction des infrastructures nécessaires, de l’usine de traitement du minerai, des

aires de structure, décapage éventuellement nécessaire pour accéder au minerai.

Selon les préconisations de CEMI (2015), l'étude de faisabilité devrait comprendre :

- toutes les études complètes et approuvées liées à l'étude de faisabilité : géologie, définition de la ressource au niveau « mesuré », modèle de gisement, études géotechniques et hydrogéologiques, études de traitement du minerai et, le cas échéant, métallurgiques, études environnementales et sociales avec identification de la stratégie de prévention des impacts négatifs et des budgets nécessaires au financement des actions nécessaires, identification des risques majeurs et des mesures de mitigation à mettre en place ;
- les attestations des demandes de permis (environnementaux, d'exploitation...) nécessaires et l'attestation que leur processus d'examen est engagé ;
- La présentation du scénario de base de mise en œuvre du projet tel qu'identifié dans l'étude de pré-faisabilité, avec un niveau maximum de détail, y compris des plans d'ingénierie ;
- Elle devra clairement identifier ce qui fait partie du projet et ce qui en est exclu (la définition des frontières du projet est un enjeu encore plus crucial avec la montée du discours de la RSE). Si les activités exclues sont néanmoins importantes pour la bonne réussite du projet dans un contexte de développement durable, l'étude devra préciser l'/les acteur(s) qui en a/ont la charge et les moyens dont ils disposeront.

Toutes les données relatives à la production future devront être réalistes : le couple teneur/tonnage contenu dans les différentes catégories de ressources, la géométrie précise de la minéralisation, le taux de récupération de la minéralisation lors de l'exploitation puis du traitement du minerai voire de sa métallurgie, la dilution du minerai dans de la roche stérile lors de l'exploitation, la méthode d'exploitation et le plan d'exploitation pendant la durée de vie de l'exploitation.

La démonstration devra être faite que les problèmes géotechniques ou hydrogéologiques ont bien été analysés et pris en compte, que la minéralogie du minerai et le procédé de traitement optimal adapté à ce minerai ont été bien identifiés, et que les estimations de performances de l'usine de traitement et le taux de récupération annoncés sont réalistes.

Les infrastructures nécessaires au projet devront être identifiées et leur construction/mise en œuvre budgétées ; de même, pour tous les équipements fixes ou mobiles nécessaires au projet, en incluant les délais de

livraison, d'installation, de mise en route ; le stock de pièces détachées nécessaires. Le plan de maintenance aura été établi.

Les rythmes journaliers et annuels de production auront été définis ainsi que les besoins en différentes catégories de ressources humaines en résultant. Le planning de mise en route de l'exploitation et de l'exploitation elle-même aura été établi de manière réalisable, incluant les provisions nécessaires pour les revues de projet, l'analyse des risques et la phase de démarrage de la production, qui peut s'étaler sur de nombreux mois afin de régler de façon optimale toutes les étapes du processus de production.

Les investissements nécessaires et leur coût en capital auront été déterminés sur la base d'offres obtenues par mise en concurrence de divers fournisseurs. De même les coûts d'opération liés aux différentes étapes du processus de production (travaux préparatoires, mine, traitement du minerai, gestion environnementale ...) auront été définis. Les provisions pour imprévus auront été déterminées.

Toutes les problématiques environnementales, sociales et de sécurité devront avoir été identifiées ainsi que les actions de mitigation et leurs coûts en capital et/ou opératoires. Un plan des actions nécessaires pour l'arrêt de l'exploitation, son accompagnement social, la mise en sécurité du site pour éviter des problèmes environnementaux dans la phase d'après-mine doit faire partie de l'étude de faisabilité, avec une identification des acteurs concernés, du coût des actions et de leurs sources de financement.

Les paramètres économiques du projet seront calculés sur la base de l'ensemble des données évoquées ci-dessus, avec une analyse du flux de trésorerie prévisionnel du projet, en rythme annuel, pendant toute la durée prévisionnelle de l'exploitation. Le délai de récupération de l'investissement initial, le TRI et la VAN seront calculés.

Selon CEMI (2015), à ce stade, 25 à 50 % des études d'ingénierie auront été réalisées, l'estimation des coûts dans une étude de faisabilité est précise à +/- 10 à 20 %, la provision pour imprévus est réduite à +/- 15 %.

La rédaction du rapport nécessite environ 18 mois, en plus du temps nécessaire à l'ensemble des travaux d'exploration (poursuite des forages pour obtenir une maille suffisamment serrée de données analytiques pour pouvoir effectuer le calcul des ressources au niveau « mesuré », prélèvement d'un échantillon représentatif de plusieurs tonnes pour l'essai pilote de traitement du minerai), à la réalisation de l'essai de traitement du minerai dans un pilote semi industriel, en continu, sur un échantillon de plusieurs tonnes, et à la réalisation de toutes les autres études nécessaires. Le budget de l'étude de pré-faisabilité (incluant les travaux de laboratoire, l'étude géotechnique, les essais de traitement du minerai mais pas les dépenses d'exploration tels que les levés géologiques, géophysiques ou les sondages) est de l'ordre de l'ordre de 4 – 8 % du coût en capital du projet.

Ainsi cette étude peut-elle coûter jusqu'à +/- 40 millions US\$ pour un projet dont le coût en capital serait de 500 M\$.

3.6 Montage du financement, ingénierie détaillée, construction (Phase 6)

Cette phase, et les suivantes, n'est pas couverte par les préconisations du standard NI 43-101. Les informations qui lui sont relatives ne relèvent pas des obligations de publication. Lorsque certaines sont rendues publiques, elles sont à rechercher dans les communiqués de presse, les rapports trimestriels et annuels des sociétés.

Cette phase n'est lancée que si les actionnaires décident, au vu des résultats de l'étude de faisabilité, de poursuivre le projet.

Sa première étape, parfois entreprise en parallèle avec l'étude de faisabilité, est de finaliser l'obtention de tous les permis nécessaires à la mise en production, permis dont la nature varie en fonction des lois et règlements du pays, voire de la région/de l'Etat fédéré où se trouve la future exploitation.

Ensuite vient le montage financier de la mise en exploitation consistant à réunir le capital initial (voir glossaire, « Coût en capital ») nécessaire au démarrage de la mine. Celui-ci peut comporter une partie en dettes à moyen et long-terme et une partie sous forme d'émission d'actions. Certains projets sont entièrement financés par des actionnaires privés (« *private equity* »). Ces projets n'ont pas d'obligations de communication financière.

Le recours à des montages juridiques impliquant des filiales situées dans des paradis fiscaux et la pratique des prix de transferts, selon lesquels une maison-mère oblige ses filiales à acheter des produits et des services à un prix imposé, pouvant comporter une importante marge bénéficiaire, peut très nettement réduire l'imposition normalement due au pays où se trouve l'exploitation. Les autorités de ce dernier ont donc intérêt à se montrer très vigilantes dans le choix de leurs interlocuteurs et dans la transparence de leurs montages financiers.

Plus ou moins parallèlement au montage du financement sont réalisées les études détaillées d'ingénierie, c'est-à-dire l'élaboration de tous les plans et chronogrammes nécessaires au développement du site minier pour sa mise en production. C'est également à ce stade que se négocient les questions d'emploi local et de sous-traitance pour le chantier à venir.

Ce n'est qu'ensuite que les acquisitions de matériels et les travaux pourront commencer. Cette phase peut, en fonction de la taille et de la

complexité du projet, nécessiter une à plusieurs années. La durée prévisionnelle de cette phase est l'une des données de l'étude de faisabilité.

3.7 Phase de production (Phase 7)

Cette phase, commençant souvent 10 à 20 ans après la découverte de la minéralisation au cours de la phase 2 (Exploration) est celle de la production. Ce n'est qu'au cours de celle-ci que l'investissement réalisé jusqu'ici, pourra être récupéré et que des bénéfices seront réalisés, si les conditions identifiées dans l'étude de faisabilité se trouvent satisfaites ou dépassées. Elle commence généralement par une phase de démarrage, qui peut durer d'un à trois ans, pendant laquelle la production ne sera qu'un pourcentage, progressivement croissant, de la capacité de production prévisionnelle identifiée dans l'étude de faisabilité.

En fonction de la taille du gisement, de l'évolution des conditions économiques et des rythmes annuels de production cette phase du projet minier peut durer de moins de dix ans à, exceptionnellement, plus d'un siècle.

Les normes de type NI 43-101 ou équivalentes ne s'appliquent qu'aux étapes 2 à 5 du projet minier (phases de l'exploration minière). La communication autour de la phase d'exploitation relève d'autres pratiques. Il y a :

- d'une part les obligations légales de publicité des comptes, variables en fonction de l'État de domiciliation de l'entreprise minière, de son statut juridique, de ses modes de financement (recours ou non à l'actionnariat public ou non), et du lieu de ses activités.
- d'autre part l'engagement volontaire de l'entreprise en matière de responsabilité sociale et environnementale et de rapportage de ses performances (cf. ci-dessous).

Face aux dommages environnementaux et sociaux engendrés, l'industrie se trouve sous le feu des critiques de nombreux groupes de pression représentant des dosages variables de sensibilités environnementales, d'intérêts des populations riveraines impactées par ses activités et d'autres groupes d'acteurs.

Ces griefs ont conduit une partie de l'industrie minière, notamment les grands groupes miniers cotés sur des bourses de pays de l'OCDE, à entreprendre des actions de progrès en matière de gouvernance et de transparence, notamment en développant le rapportage de leurs performance non seulement dans le domaine économique mais aussi dans les trois autres domaines du développement durable : environnemental, social et gouvernance. Une première étape a été la réalisation du projet « *Mining*,

Metals and Sustainable Development » (« Mines, métaux et développement durable »), l'une des plus importantes analyses jamais effectuées (environ 5 000 personnes représentant un très large spectre d'affiliations, expériences, de compétences et de géographies) des relations entre un mégasecteur de l'économie minérale et développement durable (MMSD, 2002).

Aujourd'hui, un nombre croissant de sociétés minières, ayant essentiellement leur siège dans un pays de l'OCDE se sont engagées dans des démarches volontaires de Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE), avec des degrés d'engagement très variés, tant du point de vue de l'affichage que de la pratique (voir entre autres Filer, 2002 ; Rajak, 2011 ; Dashwood, 2013).

Il existe deux lignes directrices parfaitement complémentaires (Buck *et al.*, 2014), internationalement reconnues relatives à la responsabilité sociétale des entreprises :

- ISO 26 000 : 2010, ligne directrice concernant la performance sociétale des entreprises. La norme ISO 26 000 n'est pas spécifiquement adaptée à l'industrie minérale ;
- La Global Reporting Initiative, qui publie des lignes directrices de reporting à spectre plus large couvrant l'ensemble des dimensions du développement durable : économique, environnementale, de gouvernance et sociale. Ces lignes directrices sont actuellement disponibles en version 4 (Global Reporting Initiative, 2013), en français, un cadre de reporting spécifiquement adapté à l'industrie minérale métallifère étant disponible, son utilisation étant obligatoire pour que le rapport RSE d'une entreprise minière et/ou métallurgique obtienne le label « conforme à la ligne directrice GRI ».

La production de rapports RSE conformes à la ligne directrice GRI est de plus en plus importante pour l'industrie minière et métallurgique occidentale. 161 rapports annuels conformes ont été produits pour l'année 2013 (contre 56 cinq ans auparavant), 73 obtenant le niveau de conformité « A » le plus élevé en 2014, le plus élevé des trois niveaux de certification A, B et C, impliquant le renseignement de tous les indicateurs. 48 des rapports de niveau A ont fait l'objet d'un audit volontaire par un organisme certificateur externe. Alors que des entreprises chinoises sont les premiers producteurs mondiaux de nombreux métaux, notamment au niveau de la métallurgie, aucune n'a en 2013 publié de rapport RSE conforme aux lignes directrices de la RSE.

L'utilisation des lignes directrices de la GRI est la meilleure pratique internationale actuelle au service de la transparence et de la gouvernance des activités minières. Elle est recommandée et devrait faire partie des critères de choix futurs des opérateurs de tous les acteurs soucieux d'un

développement de l'industrie minérale conforme à l'éthique du développement durable. Un nombre croissant d'industriels de la partie aval de la chaîne de la valeur (aéronautique, automobile, énergie...) demandent à leurs fournisseurs de développer leur rapportage RSE, et il y a une forte probabilité que cette pression aille en croissant dans les années à venir, au fur et à mesure que les enjeux de développement durable liés aux ressources naturelles se feront de plus en plus pressants.

3.8 Fermeture et gestion de l'après-mine (Phase 8)

"Mine closure and aftercare"

Cette phase est la phase ultime du projet minier, la fin de la production, la fermeture des installations et leur mise en sécurité, notamment sur le plan environnemental.

Cette phase n'est pas, de loin, la moins importante du projet minier car, en milieu terrestre, l'exploitation a généralement conduit à la production de volumes importants de déchets : résidus miniers (roches stériles ou faiblement minéralisées), ou de laverie (partie résiduelle résultant du traitement du minerai, cette partie pouvant encore contenir des quantités importantes de sulfures non récupérés car considérés comme non économiques). La présence de sulfures résiduels est la source de l'un des principaux problèmes environnementaux liés aux activités minières, le drainage minier acide¹⁸, lié à l'oxydation de la pyrite et d'autres sulfures tels que l'arsénopyrite, par des bactéries - appartenant souvent au genre *Thiobacillus* - oxydant le fer et le soufre, d'où formation d'acide sulfurique accélérant le processus de libération des métaux lourds (As, Cd, Hg, Se, Te ...) éventuellement présents dans le minerai. Le drainage minier acide est une cause importante de pollution des eaux et des sols par des métaux lourds dans certaines anciennes zones minières. Le phénomène peut créer des pollutions s'étendant sur des décennies, voire des siècles, jusqu'à ce que la totalité des sulfures présents ait été oxydée.

Un autre problème important des anciennes zones minières métallifères est la stabilité des anciens ouvrages souterrains lorsque ceux-ci sont peu profonds (quelques dizaines de mètres) ainsi que la stabilité des remblais et des dépôts de résidus de laverie. Un des avantages de l'exploitation des ressources minérales marines profondes est que ces phénomènes ne se produisent pas en milieu marin, les impacts étant limités à la biodiversité marine, dont il faudra imaginer (et financer) des mesures de restauration spécifiques.

¹⁸ Voir informations complémentaires sur le site du BRGM :
<http://www2.brgm.fr/DMA/Chapitres/1RisueEnviron/1Definition/Definition.html>

4. Bibliographie

- ADAM B., 1988 – *Timescapes of Modernity: The Environment and Invisible Hazards*, New York: Routledge.
- BURTON J., 2014 – Agency and the ‘Avatar’ narrative at the Porgera gold mine, Papua New Guinea, special issue “Mining Narratives in the Pacific”, Banaré, E. & P.-Y Le Meur (eds.) *Journal de la Société des Océanistes* 138-139 : 37-51.
- DASHWOOD H., 2013 – *The Rise of Global Corporate Social Responsibility. Mining and the Spread of Global Norms*, Cambridge: Cambridge University Press.
- FILER C., 2002 – *Implications of the “Mining, Minerals and Sustainable Development” Project*. Port Moresby: PNG Department of Mining (Sustainable Development Policy and Sustainability Planning Framework, Working Paper 1).
- FILER C., LE MEUR P.-Y., (eds.) sous presse – *Local-level politics and large-scale mining in Papua New Guinea and New Caledonia*, Canberra : ANU Press.
- KIRSCH S., 2014 – *Mining capitalism. The relationships between corporations and their critics*, Oakland, University of California Press.
- MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development Project), 2002. *Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development*. London: Earthscan.
- OWEN J., R., KEMP D., 2013 – Social licence and mining: A critical perspective, *Resources Policy* 38: 29-35.
- OWEN J. R., KEMP D., 2014 – ‘Free prior and informed consent’, social complexity and the mining industry: Establishing a knowledge base, *Resources Policy* 41: 91-100.
- RAJAK D., 2011 – *In Good Company. An Anatomy of Corporate Social Responsibility*, Stanford: Stanford University Press.
- REGAN A.J., 2003 – ‘The Bougainville Conflict: Political and Economic Agendas.’ In K. Ballentine and J. Sherman (eds), *The Political Economy of Armed Conflict: Beyond Greed and Grievance*. Boulder (CO): Lynne Rienner.
- REGAN A.J., 2014 – ‘Bougainville: Large-Scale Mining and Risks of Conflict Recurrence.’ *Security Challenges* 10(2): 69-94.
- SZABLOWSKI D. 2010 – Operationalizing free, prior, and informed consent in the extractive industry sector? Examining the challenges of a negotiated model of justice, *Canadian Journal of Development Studies* 30 (1-2): 111-130.

Axe I.

Connaissance, représentations et économie de la ressource

Expert coordonnateur :

Vincent GERONIMI

I-1. Représentations polynésiennes, pratiques culturelles et usages sociaux de la ressource et de son environnement

T. BAMBRIDGE, P.-Y. LE MEUR, C. JOST

L'exploration et l'exploitation des ressources minérales sous-marines s'inscrivent a priori dans un référentiel technico-économique déjà relativement balisé par la longue histoire de l'activité minière terrestre, même si l'environnement sous-marin appelle des solutions technologiques et des réflexions économiques adaptées. Les questions de rentabilité économique et de faisabilité technologique spécifiques au minier sous-marin sont décrites et analysées dans la contribution I-2 en particulier, et plus largement dans les axes I et III, Elles sont subsumées sous la distinction entre ressource (notion géologique) et réserve (notion économique : la part exploitable de la ressource minérale).

Une ressource minérale est une concentration ou une occurrence d'une substance solide d'intérêt économique sur/dans l'écorce terrestre, dans une forme, teneur ou qualité telle qu'elle présente des perspectives raisonnables d'extraction économique (voir glossaire pour plus de détails). Cette définition simple, qui a cours dans le secteur minier et les instances internationales, a été contestée et enrichie dans le champ de sciences sociales, par des économistes (Zimmermann, 1933), des géographes (par exemple Raffestin, 1980 ; Bridge, 2014) ou des anthropologues (Strang, 1997), qui mettent en avant le caractère relationnel et socialement construit, via différents processus idéels, pratiques, marchands, technologiques de la notion de ressource, par opposition à la « matière » qui serait naturelle.

Les enjeux miniers sous-marins ne sont donc pas inscrits seulement dans une chaîne technico-économique ni réduits à leurs seules dimensions géologiques et économiques. Il est nécessaire de procéder à une autre contextualisation de ces enjeux, à savoir relativement à leur cadre social et culturel et aux pratiques et représentations de l'environnement qui abrite les minéraux sous-marins visés par l'exploitation. Il faut ici en quelque sorte extraire ces derniers de la filière technico-économique de leur exploitation pour les ré-enchâsser dans leur contexte culturel, à savoir la société polynésienne contemporaine. L'objectif est bien celui de penser de la manière la plus complète et pertinente possible les modalités d'une possible activité minière sous-marine en Polynésie française. L'approche culturelle de la ressource enrichit le référentiel (et donc le « récit de politique publique ») dans lequel un projet minier sous-marin pourrait s'inscrire.

L'intérêt est double. D'une part, dans la mesure où l'on se situe en amont de toute exploitation, il est possible d'élaborer une stratégie minière sous-marine originale qui soit adaptée aux réalités du pays. D'autre part, la prise en compte des représentations et pratiques culturelles de l'environnement abritant la ressource aidera à mieux saisir et anticiper les réactions des populations concernées.

1. Continuités : nature/culture, humains/non humains, terre/mer

Le monde polynésien, contrairement aux représentations de la modernité occidentale, n'oppose pas la culture à la nature (Descola, 2005) mais postule un principe de continuité entre nature et culture (Rigo, 2004). En effet, les cosmogonies polynésiennes, différentes des mythes unitaires, révèlent trois caractéristiques principales. Tout d'abord, la fondation de l'univers est envisagée comme un processus continu où le minéral, le végétal et le divin sont eux-mêmes les produits de ce développement cosmique. A titre d'exemple rapporté par Torrente (2012 : 192-193), l'émergence d'un nouveau pouvoir au Tuamotu du centre et le nom de l'île de Anaa (anciennement nommée Ganaia), s'explique par le mythe suivant :

Te huru o te tupu haga o Ganaia

Kua reko hia Ganaia e, e konao taua konao ra kua reko hia e pirihaatāu. Kua tupu te papa na mua i nana ai teie konao Pirihaatau na ruga iho i taua papa pirihaatau ra, kua na reira hoki te nana haga o taua konao ra. Araga akera taua konao ra i ruga ki te toau. Ahu ake ra te gaere e te sur toau i ruga iho i taua konao ra, riro akera ei henua haiko.

La façon dont s'est formée l'île de Ganaia

On dit que Ganaia était constituée d'une roche appelée pirihaatau. La dalle corallienne papa s'éleva d'abord, puis le rocher s'éleva sur celui-ci, c'est ainsi que se forma ce rocher. Il émergea au-dessus de la mer. Le sable et la mer se recouvrirent et il devint une terre sèche. La pluie se mit à tomber du ciel, et la végétation poussa cette terre. Les *heo* se formèrent, on les appelait *konao heo* (variété de roche noire dure à Anaa) (...)

En second lieu, les cosmogonies polynésiennes établissent un principe de continuité verticale descendante et ascendante entre le monde invisible des dieux et des ancêtres et le monde visible des humains et des non humains. Dans la suite de l'exemple fournit par Torrente (2012 : 193), l'installation des dieux sur l'atoll de Anaa est une rencontre entre un dieu des profondeurs et une déesse du ciel :

Ki reira hoki taua ariki ra o Te-kura ki te heke haga mai i ruga iho i taua henua ra, teie Ariki o Te-kura kua reko hia e, no ruga mai ki te Paparagi,

(...)

Ka noho ai koi anake ki reira teie tagata o Gana tona igoa ki te eke haga tu ki Haeragi. Taua tagata ra ko Gana e ariki no raro ki te papa ki te tumu o Haeragi. Hipakera taua tagata nei ko Gana ki ruga kite maira kia Haeragi kua raga i ruga ki te toau.

Manako akera e, eke au ki ruga iho i teie nei henua noho ai.

C'est alors que la cheffesse Te-Kura parvint sur l'île. On disait qu'elle venait du monde d'en-haut, de Paparagi.

Pour cela un homme du nom de Gana vint à Haeragi. Cet homme était un ariki du monde d'en bas sous le rocher-fondement à la base de Haeragi. Lorsque Gana regarda vers le haut il vit Haeragi émergé de la surface de la mer.

Il eut alors l'idée de monter sur cette terre et de s'y installer.

D'une manière plus générale, les cosmogonies polynésiennes, polythéistes, ne postulent aucun « dieu créateur » à l'origine de l'univers. Comme dans les exemples précédents, on y rencontre au contraire une myriade de dieux et de demi-dieux qui ne sont pas eux-mêmes à l'origine du monde. Ainsi que l'a fort pertinemment remarqué Rigo (2004 : 379) :

« C'est particulièrement vrai du Kumulipo hawaïen [chant mythique hawaïen] où les dieux sont seconds : Kanaloa, Kane [Taaroa, Tane en tahitien] naissent au huitième chant, en même temps que les

hommes et bien après les multiples gestations nocturnes du Pō [nuit] matricielle. C'est aussi vrai de la cosmogonie maorie où une récitation généalogique énumère toutes les étapes naturelles par lesquelles l'espace encore vide engendre la nuit (...) ».

Enfin, les cosmogonies polynésiennes posent un principe d'interaction continue entre ces différentes entités. Les humains ne sont pas coupés du monde invisible mais y participent ne serait-ce que parce qu'ils partagent avec lui une part de sacré plus ou moins importante. Les mythes comme l'organisation sociale sont conçus comme une vaste parentèle où le sacré circule et doit circuler, ce que Eric Conte (2000) a nommé « l'économie du mana »¹.

En vertu de ce principe de continuité où les dieux et les humains sont généalogiquement liés à la nature, dont l'univers minéral, le rapport nature-culture en Polynésie est conçu comme un rapport généalogique. Le minéral, le végétal peuvent être considérés comme une extension de la parentèle ou comme une manifestation du divin dans le monde visible. C'est en ce sens que l'extraction des ressources minérales ne relève pas seulement d'un procès industriel mais aussi d'un désenchâssement culturel.

2. Pratiques culturelles

Passant des cosmogonies aux pratiques culturelles, la pierre en général est perçue et utilisée comme un élément fondamental de la vie sociale puisqu'elle symbolise le lien entre le monde visible et invisible. Les marae (temple religieux anciens à ciel ouvert) étaient construits avec des pierres de basalte ou des massifs coralliens.

Le milieu marin profond est considéré comme l'espace de vie des dieux polynésiens les plus puissants. Il s'agit notamment de Tagaroa-i-tepo, dieux de la mer à Anaa également dieu gardien du premier couple de tortues (Torrente 2012 : 256).

¹ C'est bien là une différence fondamentale entre les chefferies polynésiennes (en tout cas, telles qu'on peut les connaître avant l'irruption des Européens dans ces sociétés) et la féodalité européenne. Tous les humains, quel que soit leur statut et leur place dans la hiérarchie sociale, sont plus ou moins sacrés. Que l'on se réfère comme Raymond Firth à la structure sociale en ramage chez les Tikopia ou comme chez Douglas Oliver à la structure sociale bilinéaire chez les Tahitiens, le constat est finalement le même : les liens de parenté entre les plus hautes hiérarchies sociales (*Arii*) et les plus basses (*manahune*) ne sont envisagés que comme une extension du monde idéal.

Dans les îles de la société, Ruahatu est considéré comme un dieu essentiel des profondeurs marines (Henry, 1988 : 155) mais il existe différentes versions quant à l'étendue de ses pouvoirs.

D'une manière générale, il existe une myriade de dieux marins dont les pouvoirs sont relatifs à des espaces et à des corporations particulières. Ainsi, certains dieux marins habitent près des côtes et protègent les pêcheurs, d'autres protègent l'espace immédiat d'un atoll, d'autres encore sont des dieux qui relèvent d'espaces océaniques plus éloignés (Conte 1988, Torrente, 2012). Enfin, le dieu Tu-Te-Ponga-Nui au Tuamotu, est présenté comme le gardien des profondeurs abyssales (Caillot, 1934 : 63, 94, 109). À ce titre, selon une version présentée par Torrente (2012 : 258-260), ce dieu livra une bataille mémorable contre l'anguille mythique Tuna-te-vai-roa.

Des hommages et des relations incessantes entre les dieux marins polynésiens étaient eux-mêmes actualisés par différents rites au travers d'offrandes répétées sur les marae, au départ et au retour de la pêche.

« Les pêcheurs formaient des groupements et élevaient des marae (marae o te feia tai'a) qu'ils consacraient à leurs dieux, dont les principaux étaient : rua-hatu-tini-rau (source de myriades fertiles). (...) Le pêcheur plaçait dans des niches secrètes des images des dieux de la pêche en pierre ou en bois, ainsi que d'autres reliques sacrées, ornées de plumes d'oiseaux » (Henry 1988 :155).

Les représentations relatives à ces cosmogonies et les croyances qui y sont associées, loin d'avoir disparues, continuent d'orienter les attitudes de nombreux insulaires aux Tuamotu et aux Australes. Torrente (2012) lors de ses enquêtes sur la religion ancienne note la permanence des croyances et de certains rites associés aux offrandes de poissons au Tuamotu, dans un contexte contemporain judéo-chrétien, où ces rites sont dissimulés aux non-initiés. Lors des enquêtes menées en 2015 aux Australes par Degremont *et al.* (2015, 173), ces derniers rapportent les propos suivants de pêcheurs à Tupuai et à Raivavae :

« Au-delà du récif c'est le monde du pō. Le pō c'est les esprits, les ancêtres et les dieux, qui symbolisent le respect, c'est tapu. »

« L'Océan c'est le grand marae sacré ».

La haute mer n'est donc pas un espace « vide » – une *mare nullius* (Mulrennan & Scott, 2000) – et ce pour deux raisons liées : d'une part, elle a été parcourue par les navigateurs polynésiens au cours des siècles (D'Arcy, 2006), d'autre part, elle est peuplée d'entités non humaines et participe du continuum unissant nature et culture dans les représentations polynésiennes. La reconnaissance du caractère culturellement marqué ou « habité » de l'espace marin constitue un préalable essentiel au développement de toute activité risquant d'affecter ce milieu.

3. Usages sociaux : la pêche

En rapport avec le milieu marin profond, la pêche fait partie des usages les plus répandus en Polynésie. Il convient de distinguer la pêche artisanale, plus traditionnelle, qui implique les acteurs vivant dans les îles et les atolls des archipels, de la pêche plus industrielle basée au port de Papeete.

Dans le premier cas, de nombreux monts sous-marins propices à la pêche sont connus d'experts de la pêche (*tahu'a tautai*). Des enquêtes récentes menées aux Tuamotu et aux Australes semblent indiquer que ces lieux continuent d'être nommés et fréquentés par les pêcheurs. Par exemple, Degremont *et al.* (2015 : 178) rapportent pour les Australes que :

« La toponymie des lieux situés en mer fait parfois référence à des éléments terrestres, tels que trois monts sous-marins situés entre Rurutu et Tubuai portant les noms des trois montagnes de Rurutu : Manureva, Erai et Taurama. De la même façon, la saison des baleines est annoncée par la floraison de l'Atae, l'arbre aux baleines. L'association d'éléments de la nature terrestre et marine laisse supposer que le principe de continuité entre la terre et la mer s'exerce dans les pratiques et dans les représentations de l'espace (...) ».

Une autre indication donnée par les pêcheurs est relative au fait que ces lieux constituent des espaces de rencontres et d'échanges non seulement entre les poissons et les coquillages mais aussi entre différentes sortes d'entités mythiques et non humaines.

Dans le second cas, la pêche palangrière locale est constituée en 2014 de 65 navires basés à Papeete dont la taille varie de 13 à 25 m. Cette flotte fréquente essentiellement les espaces situés entre le sud des Tuamotu et des Îles sous-le-Vent, soit une région subtropicale située entre 12°S et 22°S et 155°W et 145°W. En particulier, les Tuamotu et les Îles de la Société offrent une plus grande abondance d'espèces que les Australes. Les conditions météorologiques sont également plus favorables dans l'espace subtropical. Ces pêcheurs considèrent également les monts sous-marins comme des lieux de concentration de leurs ressources, notamment des différents types de thons et des bonites et en ce qui concerne les poissons des profondeurs (Misselis *et al.*, 2015 : 231).

4. Considérations identitaires

Depuis les années 1970, des mouvements identitaires et culturels se sont développés en Polynésie française comme dans l'ensemble de l'Océanie (Babadzan, Saura). Toutefois, une des originalités de la question identitaire ma'ohi en Polynésie française, par rapport au reste du Pacifique, réside dans le fait que cette dynamique se fonde essentiellement sur une reconstruction, réelle ou fantasmée, du passé. En effet, après le traumatisme culturel et politique causé par des épidémies de grande ampleur au cours du XIX^e et du XX^e siècle, une grande partie des savoirs traditionnels a été irrémédiablement perdue. C'est peut-être ce qui rend compte de l'importance en termes d'identité de ce mouvement de réappropriation de la culture et des nouvelles réflexions qui lient culture et religion anciennes et identité contemporaine. Dans ce contexte, Alevêque (2015) analyse les discours et les pratiques de nombreuses associations culturelles à Tahiti, en particulier Haururu, l'une des plus actives. Il montre par exemple que l'océan comme lieu primordial de l'identité ma'ohi, occupe une place importante car il permet de re-sacraliser les espaces terrestres en y ponctionnant les éléments qui permettent ce processus : corail, pierre à poisson deviennent autant de marqueurs visibles d'un discours identitaire.

Aujourd'hui, le passage d'une société polynésienne essentiellement rurale, familiale, organisée depuis la colonisation autour de la paroisse, à une société urbaine, salariale et plus inégalitaire économiquement, est propice à l'émergence de discours de reconstruction du passé culturel. Les nombreuses associations culturelles qui érigent l'océan en un temple sacré qui permet à la culture ma'ohi de perdurer, sont essentiellement localisées dans la zone urbaine de Tahiti. Elles agissent comme les principales forces du renouveau du discours identitaire et elles contribuent à infléchir les prises de décisions politiques qui orientent les politiques publiques dans une période fortement marquée par la fin des essais nucléaires.

La reconnaissance d'une politique des identités très active constitue un élément contextuel important pour mieux comprendre et peut-être anticiper la manière dont le développement possible d'une nouvelle activité affectant l'environnement peut être reçu et éventuellement repris dans les arènes politiques locales. Ce registre diffère de celui des représentations et pratiques culturelles individuelles et collectives portant sur l'environnement et reproduisant le continuum nature/culture polynésien.

5. Prendre en compte les dimensions culturelles de l'environnement sous-marin

La prise en compte des dimensions culturelles informant les représentations et les pratiques de l'environnement marin et des ressources associées n'est pas anecdotique. Il ne s'agit pas de poser un vernis culturel ou exotisant (Keesing, 1994) sur la question de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales sous-marines en Polynésie. Au contraire, l'intégration des dimensions culturelles permet d'enrichir la compréhension de la notion d'extraction en lui apportant une signification étendue. L'exploitation des ressources minérales des fonds marins polynésiens relève d'un double travail : il s'agit d'extraire le minerai de sa gangue géologique et culturelle. En d'autres termes, le minerai doit être extrait du continuum ou du réseau constitué d'humains et de non humains construit par les représentations culturelles polynésiennes pour intégrer un autre réseau, celui que constitue la chaîne technico-économique ou filière minière. La saisie de ces mécanismes est utile à la réflexion prospective portant sur une possible exploitation minière sous-marine pour trois raisons principales.

Tout d'abord, la compréhension de la manière dont l'environnement marin dans des différentes composantes (humaines et non humaines) s'inscrit dans un continuum culturellement construit, aidera à mieux saisir, voire à anticiper les réactions des groupes d'acteurs concernés face à un possible développement minier sous-marin. Il ne s'agit pas ici seulement des conflits d'usage potentiels sur les espaces concernés mais éventuellement de conflits de représentations.

Au-delà des positionnements individuels et collectifs dont il ne faut pas oublier l'hétérogénéité (savoirs et représentations culturelles ne sont pas distribués de manière homogène ; Barth, 1989), il faut aussi comprendre la manière dont l'enjeu minier sous-marin sera éventuellement repris dans le cadre d'une politique spécifique des identités (Saura, 2009).

Enfin, la reconnaissance de la dimension culturelle de l'enjeu minier sous-marin rend possible la construction d'une politique minière sous-marine originale, adaptée aux réalités du pays. Les choix effectués en matière de dispositifs (création d'une autorité minière indépendante par exemple) et de découpages (par exemple agence marine intégrant l'enjeu minier plutôt que des politiques sectorielles : mine, pêche, environnement...) pourront se nourrir de cette reconnaissance culturelle.

Dans le même ordre d'idées, les stratégies d'exploration et d'exploitation devront intégrer des schémas de gestion de géosystèmes (écosystèmes et anthropo- ou socio-systèmes), et ne pas se contenter de

simples schémas d'aménagement terrestre et/ou marin encore trop souvent déconnectés dans les projets de développement. La délimitation des territoires d'usages et de représentations (miniers, économiques, culturels,...) ne pourra se faire le long de lignes frontières nettes et devra tenir compte du chevauchement des représentations sociales et spatiales. Enfin, autant que les perturbations socioculturelles et les modifications environnementales induites par l'exploitation, la gestion et le suivi des flux (personnes, marchandises, polluants...), les transformations des entités « territoriales » du continuum terre/océan devront faire l'objet d'une approche globale et de stratégies géosystémiques.

6. Bibliographie

- BARTH F., 1989 – The analysis of culture in complex societies, *Ethnos* 54 (3-4): 120-142.
- BRIDGE G., 2014 — Resource Geographies II: The Resource-State Nexus, *Progress in Human Geography* 38 (1): 118-130.
- CONTE, Eric, 2000 - *L'archéologie en Polynésie française, Esquisse d'un bilan critique*. Tahiti, Editions Au Vent de Iles, 302 p.
- D'ARCY, P., 2006 – *The People of the Sea. Environment, Identity, and History in Oceania*, Honolulu : University of Hawai'i Press.
- DEGREMONT et BAMBRIDGE T., 2015 - « Expéditions sur les pratiques culturelles et représentations de l'océan aux Australes », pp160-9, in, Bernard SALVAT, Tamatoa BAMBRIDGE, Donatien TANRET, Jérôme PETIT, *Environnement marin des îles Australes (Polynésie française)*. Editions : The Pew Charitable Trusts, Institut des Récifs Coralliens de l'EPHE. 341 p.
- DESCOLA P., 2005 – *Par-delà nature et culture*, Paris: Flammarion
- HENRY T., 1968 - *Tahiti aux temps anciens*. Paris : Publication de la Société des Océanistes n°1, 722 p.
- JOST C., 2012 – Aménager l'espace néo-calédonien ? Quels aménagements et développement raisonnés pour la Nouvelle-Calédonie à l'horizon 2025 ? Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, Nouvelle-Calédonie 2025, Schéma d'Aménagement et de Développement de la NC, Lifou/Nouméa, mars 2012, 31p.
- JOST C., 1998 – Perception sociale et dimensions culturelles d'un nouveau projet minier en Nouvelle Calédonie, in Guillaud D., Seysset M., Walter A. (eds.), *Le voyage inachevé... à Joël Bonnemaison*, Paris, ORSTOM/PRODIG, (SBN 2-7099-1424-7), p.486-492.
- JOST C., 1997 – Géosystèmes littoraux et lagonaires du sud calédonien : Interfaces d'échanges terrestres et marins. In Boyer Ph. (ed) *Actes du colloque CORAIL « La Mer, espace, perception et imaginaire dans le Pacifique sud »*, L'Harmattan, Paris, 1997, p.241-264.
- KEESING R., 1994 – Theories of culture revisited, in: Borosky, R. (ed.) *Assessing Cultural Anthropology*, New York, McGraw-Hill Inc.: 301-310.
- MISSELIS C., et PONSONNET C., 2015- “La pêche hauturière pélagique et démersale autour de l'archipel des Australes”, in Bernard SALVAT, Tamatoa BAMBRIDGE, Donatien TANRET, Jérôme PETIT, *Environnement*

- marin des îles Australes (Polynésie française)*. Editions : The Pew Charitable Trusts, Institut des Récifs Coralliens de l'EPHE. 341 p.
- MULRENNAN M. ET SCOTT C., 2000 – *Mare Nullius: Indigenous rights in saltwater environments*, *Development and Change* 31: 681-708.
- RAFFESTIN C., 1980 — *Pour une géographie du pouvoir*, Paris : Librairies techniques.
- RIGO, BERNARD 2004. *Altérité polynésienne et conscience occidentale*. Editions du CNRS, Collection Communication, Paris.
- SAHLINS M., 1999 – Two or three things I know about culture, *Journal of the Royal Anthropological Institute* 5 (3): 399-421.
- SAURA B., 2009 – *Tahiti Ma'ohi, Culture, identité, religion et nationalisme en Polynésie Française*, Papeete : Editions Au vent des îles.
- STRANG V., 1997 — *Uncommon Ground: Cultural Landscapes and Environmental Values*, Oxford: Berg.
- TORRENTE F., 2012 – *Buveurs de mers, Mangeurs de terres, Histoire des guerriers de Aana, archipel des Tuamotu*. Edition Te Pito o te Fenua, Pape'ete.
- ZIMMERMANN E., 1933 — *World Resources and Industries: A Functional Appraisal of the Availability of Agricultural and Industrial Resources*, New York: Harper & Brothers.

I-2. Que sait-on du patrimoine géologique sous-marin de la Polynésie française ?

N. ARNDT, P. COCHONAT, P. CHRISTMANN, V. GERONIMI

Notre connaissance des ressources sous-marines de Polynésie française est très limitée, tant en termes de couverture globale de la ZEE que de qualité de l'information disponible. L'exploration de la ZEE a été conduite très partiellement lors des programmes Polydrag et Zepolyf avec les moyens de l'époque dans les années 1990. Des informations récoltées lors des campagnes Nodules et Nodco dans les années 1970-80 avaient préalablement permis de montrer des indices favorables pour l'existence de ressources minérales potentielles en Polynésie française. Le plus notable sont les encroûtements cobaltifères qui sont connus pour présenter les concentrations qui restent parmi les plus élevées en cobalt sur plancher océanique au niveau mondial, en l'état actuel des connaissances. Une autre possibilité est la présence de nodules polymétalliques abondants au nord ouest de la zone économique exclusive (ZEE). Toutefois, à l'heure actuelle, il est impossible de dire avec certitude si ces métaux peuvent être extraits de manière acceptable tant du point de vue économique qu'environnemental. Beaucoup de recherches et d'explorations marines seront nécessaires avant d'établir la présence de ces ressources.

1. Connaissances générales - ressources marines

Quelles sont les grandes catégories de ressources minérales marines profondes et les guides géologiques permettant d'orienter les recherches ?

Quatre principaux types de ressources sont connus sur le plancher océanique (figures 1 et 2). Il s'agit des : 1) encroûtements cobaltifères ; 2) nodules polymétalliques ; 3) amas sulfurés sous-marins ; 4) boues enrichies en terres rares ou en d'autres métaux. En outre, des gisements divers sont exploités dans les eaux côtières peu profondes; les phosphates, les diamants et les accumulations de minéraux lourds.

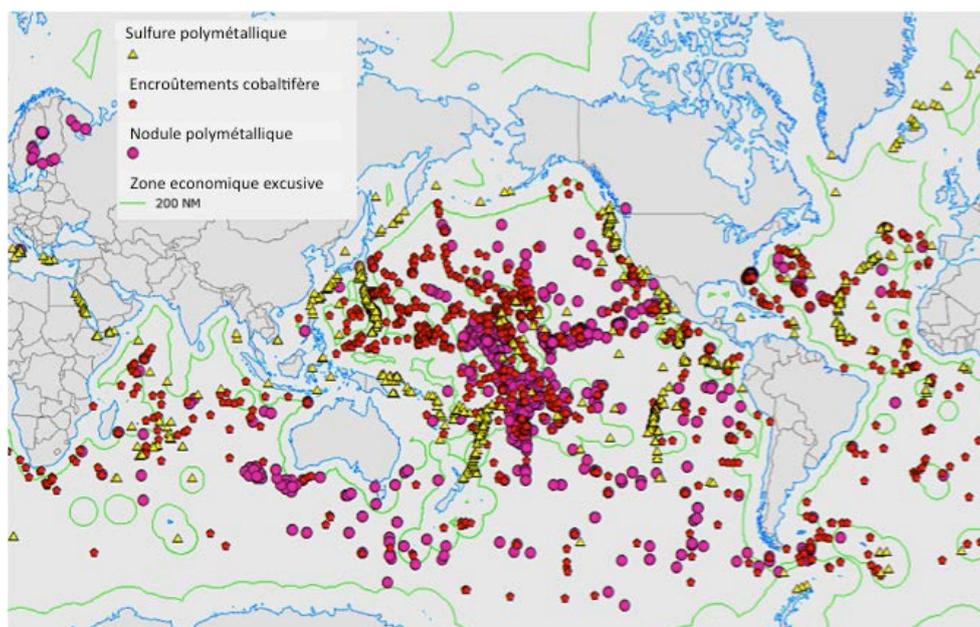


Figure 1 – Distribution globale des trois grands types de ressource minérale marine (ISA, 2014a)

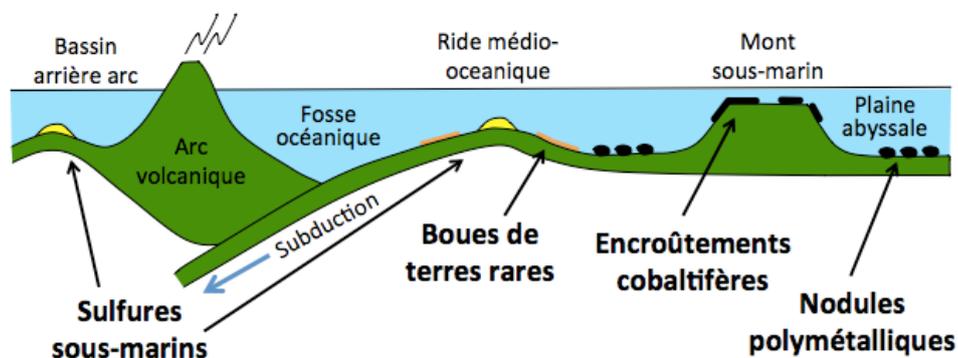


Figure 2 – Schéma montrant le contexte tectonique et l'origine des principaux types de ressources marines

1.1 Les encroûtements cobaltifères

Ce sont des couches d'oxydes de fer et de manganèse, enrichies en métaux comme Co, Ni, Pb, Ti, Pt et les terres rares, qui se forment sur un substrat volcanique ou sédimentaire sur le plancher océanique. Épaisses de quelques centimètres jusqu'à 25 cm (5 à 10 cm en moyenne), ces formations sont associées aux volcans intra-plaques, aux monts sous-marins isolés, aux alignements volcaniques et aux plateformes carbonatées. Ils se trouvent dans la zone de minimum d'oxygène à des profondeurs d'eau variant entre 400 et 4 000 m, essentiellement sur les flancs des édifices volcaniques sous-marins où les courants ascendants empêchent le dépôt de sédiments et fournissent les métaux qui composent les encroûtements. La minéralisation pourrait couvrir des surfaces du plancher océanique de plusieurs kilomètres carrés, jusqu'à une centaine de kilomètres carrés (Bougault et Saget, 2011).

Les métaux présents en concentrations élevées dans ces croûtes sont, par ordre de leur valeur dans les ressources in situ sur le plancher océanique : Co, Ni, Ti, Pt, Zr et terres rares (figure 3). Dans des échantillons provenant du bord sud-ouest du Plateau des Tuamotu au nord est de Tahiti, et sur les monts Tarava au sud de Tahiti, la teneur en Co dépasse 1 %, une concentration beaucoup plus élevée que dans la grande majorité de gisements terrestres de Co. A ces métaux s'ajoute le Mn, présent en concentrations supérieures à 20 %, ce qui augmente considérablement la valeur économique totale de la minéralisation, malgré le bas prix du Mn. La valeur totale d'une tonne de minerai est estimée à¹ 1 083 US \$, ou 697 US \$ hors Mn (voir la contribution I-4 pour les informations détaillées).

¹ Toutes les références de prix données dans cette contribution sont basées sur les cours datant d'août 2015

Les principaux sites d'occurrence d'encroûtements cobaltifères sont montrés sur la figure 3. Ils sont présents dans tous les bassins océaniques, associés aux édifices volcaniques dans les zones éloignées des dorsales et des marges convergentes. Ils se forment préférentiellement sur la croûte océanique ancienne et sont donc absents de la croûte océanique bordant la dorsale océanique. La figure 4 montre la corrélation grossière entre les âges des édifices volcaniques et la superficie de zone de forte réflectivité qui peut être recouverte d'encroûtements cobaltifères.

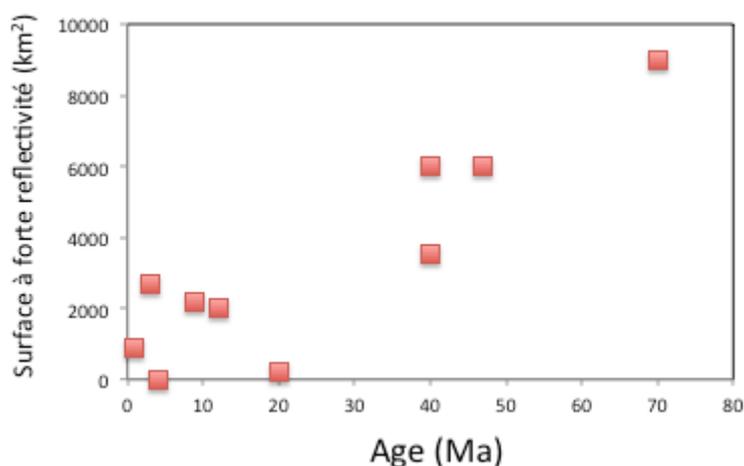


Figure 3 – Corrélation entre âges des édifices volcaniques et superficie de zone de forte réflectivité. Données de Bonneville 2002 ; valeurs maximales pour surfaces réfléchives.

Sur la figure 4, la zone délimitée en jaune est « la zone privilégiée » qui recouvre la plus ancienne croûte océanique du Pacifique nord ouest. Dans cette région, les croûtes sont les plus épaisses et parmi les plus fortement enrichies en métaux recherchés. Dans l'océan Indien les encroûtements cobaltifères sont présents en grande quantité principalement sur les grandes rides volcaniques et plateaux comme la ride « 90-East » et le plateau autour des Iles Kerguelen ; dans l'Océan Pacifique ils sont abondants sur les monts sous-marins de l'archipel de Polynésie française et sur la partie nord ouest de la chaîne Hawaii-Emperor.

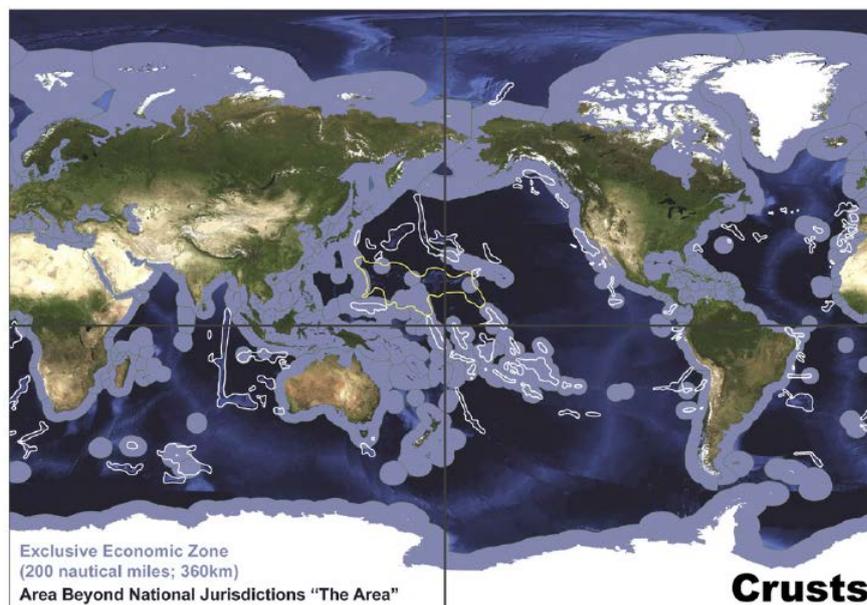


Figure 4 – Distribution d'encroûtements cobaltifères (« zone privilégiée » délimitée en jaune) (Source : Hein et al. 2013)

La répartition d'encroûtements cobaltifères est liée à leur mode de formation. Selon Hein *et al.* (2013), les croûtes résultent de la précipitation des métaux dissous dans l'eau de mer sur des substrats volcaniques et sédimentaires sur le plancher océanique. Le taux de précipitation est extrêmement lent, estimé à moins de quelques millimètres par million d'années. En conséquence, les encroûtements cobaltifères se trouvent principalement sur des parties très anciennes du plancher océanique dans des endroits où le taux de sédimentation est faible, voire quasiment nul. Une accumulation élevée de sédiments diluerait la précipitation chimique et empêcherait la formation de croûtes riches en métaux. On pense que la présence de fortes concentrations de Co et d'autres métaux est liée aux processus d'oxydo-réduction qui, à leur tour, peuvent être liés à la présence de la « zone de minimum d'oxygène », une zone qui se trouve dans la plupart des océans à des profondeurs variant entre 200 et 1 000 m. Les conditions nécessaires à la génération des croûtes enrichies en Co et d'autres métaux sont donc : la présence de reliefs sous-marins (édifices volcaniques, monts sous-marins, plateformes carbonatées) sur le plancher océanique, un âge élevé de ces édifices, une source de métaux dans l'eau de mer locale et l'action limitée des courants ou d'autres facteurs qui empêchent un taux élevé de sédimentation. Toutes ces conditions sont remplies dans la ZEE de Polynésie française, notamment dans les archipels des Tuamotu et des Australes et sur les monts sous-marins Tarava.

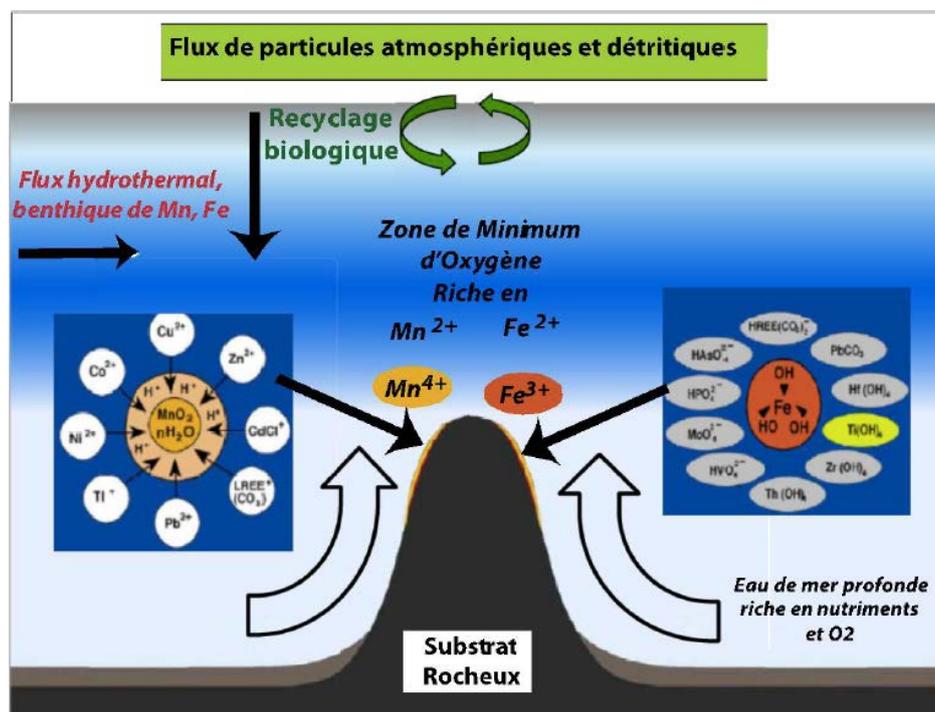


Figure 5 – Modèle de formation des encroûtements cobaltifères (Source : ESCo rapport 2014)

1.2 Les nodules polymétalliques

Ce sont des concrétions de roche composées essentiellement de couches concentriques des oxydes/hydroxydes de fer et de manganèse. Les nodules varient en taille allant de petites particules à de gros granules de plus de 20 centimètres de diamètre. La plupart varient entre 5 et 10 cm. Leur surface est généralement lisse, parfois rugueuse et irrégulière. On les trouve en grandes concentrations sur la surface des plaines abyssales, souvent recouverts partiellement de sédiments, à des profondeurs d'eau d'environ 3 500 à 6 500 m. Ils sont abondants dans les zones abyssales où les eaux de fond sont oxygénées et le taux de sédimentation faible (moins de 10 cm / 1 000 ans). De petits fragments de roche ou de dents de requins servent de noyau autour desquels le nodule se développe.

Les nodules polymétalliques sont enrichis en métaux qui sont pour la plupart les mêmes que ceux des encroûtements cobaltifères, mais dans des proportions différentes; dans l'ordre de leur valeur, il s'agit du Ni, Cu, Co, Mo, terres rares. Une fois de plus, le Mn augmente considérablement la valeur totale de la minéralisation (voir contribution I-4). La valeur totale d'un tonne de minerai est de 1 125 US \$, ou 593 US \$ sans Mn.

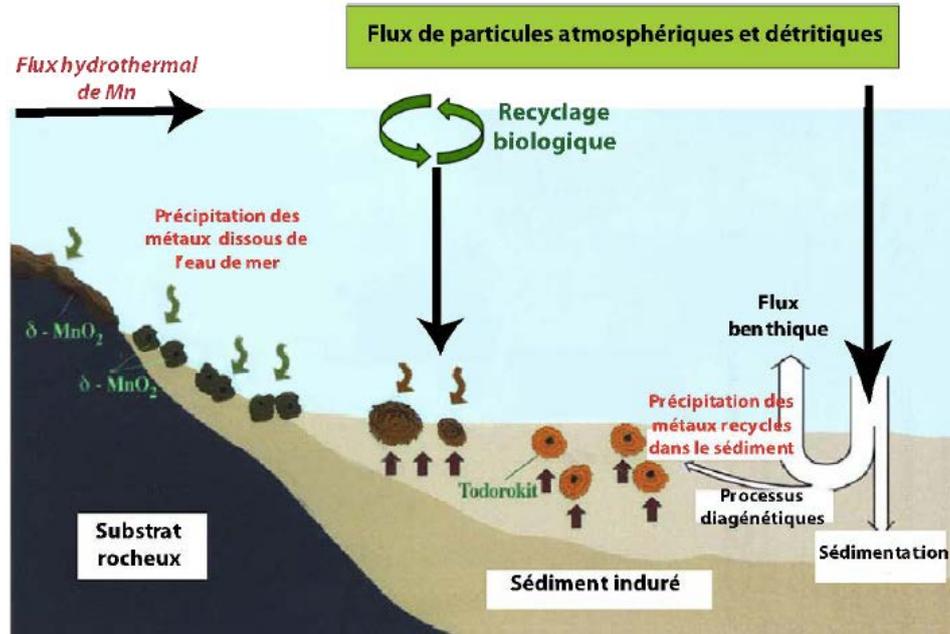


Figure 6 – Modèle de formation des nodules polymétalliques (Source : rapport ESCO Dymont *et al.*, 2014)

L'origine des nodules polymétalliques est similaire à celle des encroûtements cobaltifères (figure 6). Une fois de plus, les métaux sont censés avoir précipité à partir de l'eau de mer. De nombreux nodules sont partiellement entourés de sédiments, et cela mène à la croissance, soit directement à partir de l'eau de mer (hydrogénétique) si le nodule est à la surface des sédiments, soit à partir de l'eau interstitielle contenue dans les sédiments (diagénétique) si le nodule est enfoui dans les sédiments. Les parties de nodules d'origine diagénétique ont les plus fortes concentrations de Ni, Cu et Mn.

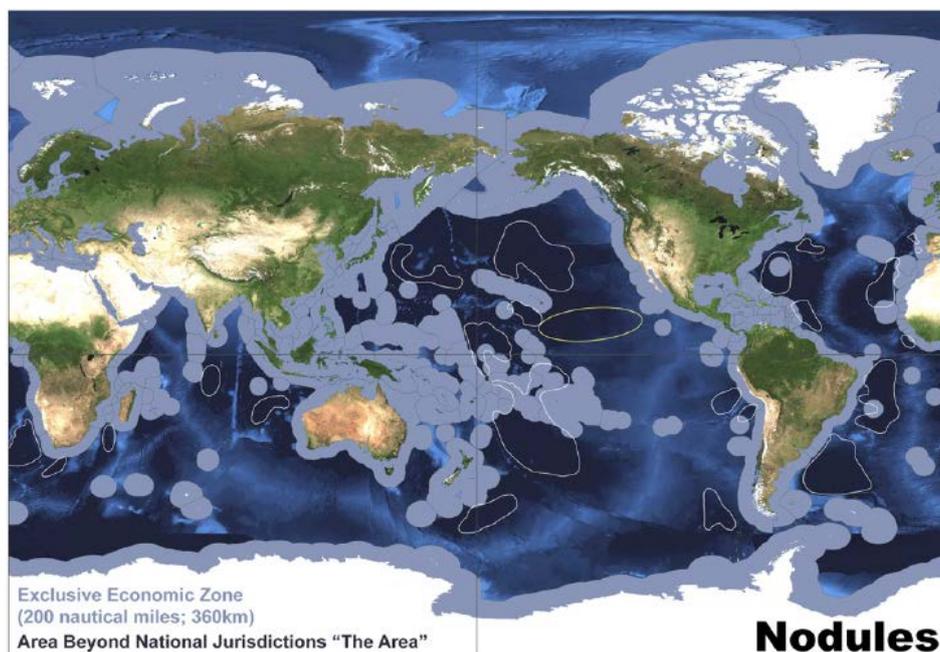


Figure 7 – Distribution des nodules polymétalliques (de Hein et al. 2013)

La distribution globale des nodules polymétalliques est montrée dans la figure 7. Elle se limite aux parties profondes et anciennes de la croûte océanique, loin des édifices volcaniques et des régions de sédimentation détritique. La région plus favorisée est la zone encadrée par les fractures de Clarion et de Clipperton dans le Pacifique centre-est, où l'Agence internationale des fonds marins (AIFM - International Seabed Authority - ISA) a délivré les permis d'exploration (14 permis) à de nombreux pays (18 au total), dont la France.

1.3 Les amas sulfurés sous-marins

À la différence des encroûtements cobaltifères et des nodules polymétalliques, qui n'ont pas d'équivalents terrestres, les gisements d'amas sulfurés ont été exploités depuis des millénaires sur terre et restent une source importante des métaux tels que Cu, Zn et Pb. Des gisements de sulfures massifs sous-marins sont situés dans la croûte océanique volcanique, soit le long de dorsales médio-océaniques, soit associés à des arcs insulaires associés aux zones de subduction, ou dans des bassins d'arrière-arc. Un dépôt typique se compose des lentilles de sulfures massifs

reposant sur un stockwerk² de sulfures en veines ou disséminés et flanqués par des sédiments métallifères.

Les principaux métaux dans des gisements de sulfures massifs sous-marins sont Cu et Au, avec des quantités moins importantes de Zn et Ag. En prenant l'exemple du gisement Solwara 1 et en adoptant des valeurs données par la société Nautilus pour la ressource, la valeur totale des métaux de la minéralisation est environ 760 US \$/t (voir contribution I-4).

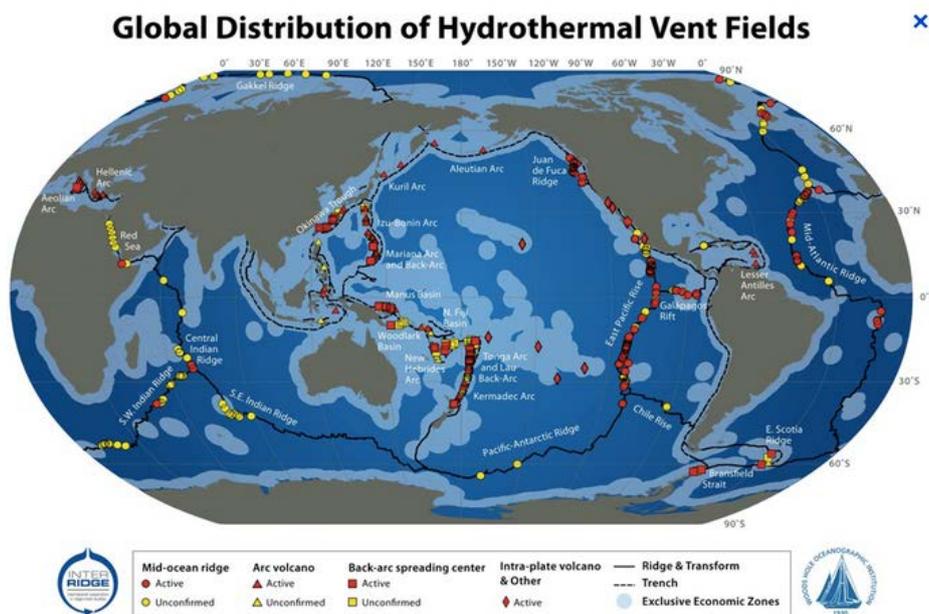


Figure 8 – Distribution des sources hydrothermales (Source : Hein et al. 2013)

La répartition mondiale des sources hydrothermales, dont la plupart sont associées à des gisements de sulfures de différentes tailles, est montrée dans la figure 8. Un grand nombre d'entre elles sont alignées le long des dorsales médio-océaniques dans tous les bassins océaniques, et une autre partie est associée à des zones de subduction océanique. Parmi celles-ci, les plus importantes se situent dans l'ouest du Pacifique, mais d'autres exemples se trouvent dans l'Arc de Scotia, dans l'Atlantique sud et dans la mer Méditerranée.

² Type de minéralisation se présentant sous la forme d'un réseau très densifié de petits filons.

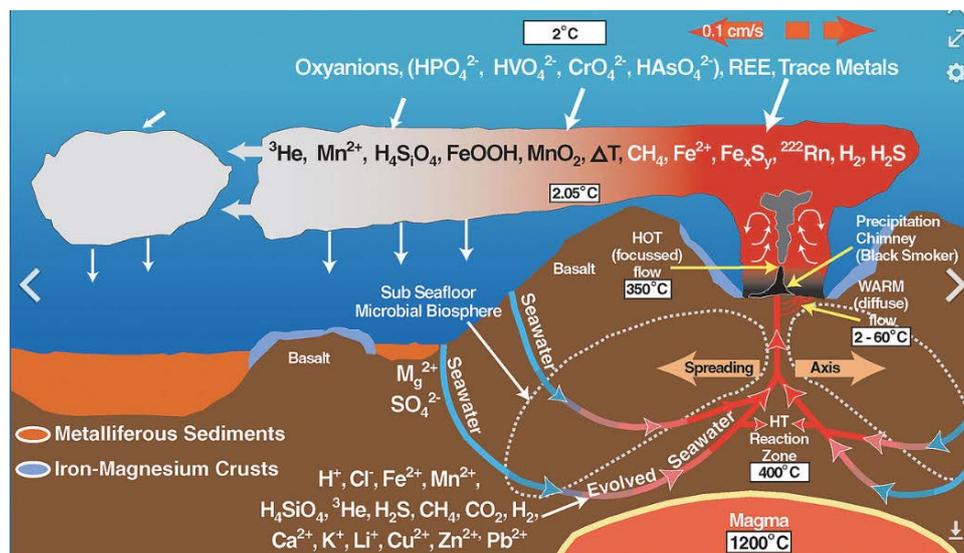


Figure 9 – Modèle de formation des amas sulfurés sous-marins (Source : ESCo rapport 2014)

L'origine des amas sulfurés sous-marins est relativement bien comprise. La localisation de ce type de gisement aux marges des plaques, soit sur des dorsales médio-océaniques soit sur des arcs insulaires et des bassins d'arrière-arc est liée aux zones de circulation active de fluides hydrothermaux. Les dépôts se développent autour de « fumeurs noirs » où les sources chaudes sortent de la croûte océanique. La circulation de l'eau de mer extrait des métaux de la croûte océanique, et ces métaux se redéposent sous forme de sulfures, lorsque le fluide hydrothermal chaud entre en contact avec l'eau de mer froide.

Les projets d'exploitation de sulfures massifs sous-marins sont beaucoup plus avancés que ceux des autres ressources sous-marines. La société canadienne Nautilus Minerals a exploré dans la mer de Bismark à l'ouest de la Papouasie Nouvelle-Guinée depuis plus de 10 ans et, en dépit de nombreuses difficultés, prévoit de commencer l'exploitation du gisement de Solwara 1 dans les prochaines années. Le consortium d'universités-industrie «Blue Atlantis » envisage des projets pilotes visant à développer les ressources possibles près des Açores, non loin de la dorsale médio-Atlantique.

1.4 Les boues enrichies en terres rares ou en d'autres métaux

Le « buzz » autour de la publication de l'article de Kato *et al.* (2011) est probablement en grande partie injustifié. Ces auteurs ont signalé des concentrations de terres rares dans les boues échantillonnées sur de nombreuses régions de l'océan Pacifique, et ils ont conclu que ce matériel représente une source potentielle importante de ces métaux. Les géochimistes savent depuis des décennies que les terres rares sont concentrées dans ces boues, mais en concentrations faibles. La concentration et le tonnage probable de la ressource sont bien inférieurs à ceux des dépôts terrestres et la valeur totale de la ressource (≈ 150 US \$/t ; voir contribution I-4) est bien inférieure à celle des autres types de minéralisation sous-marine.

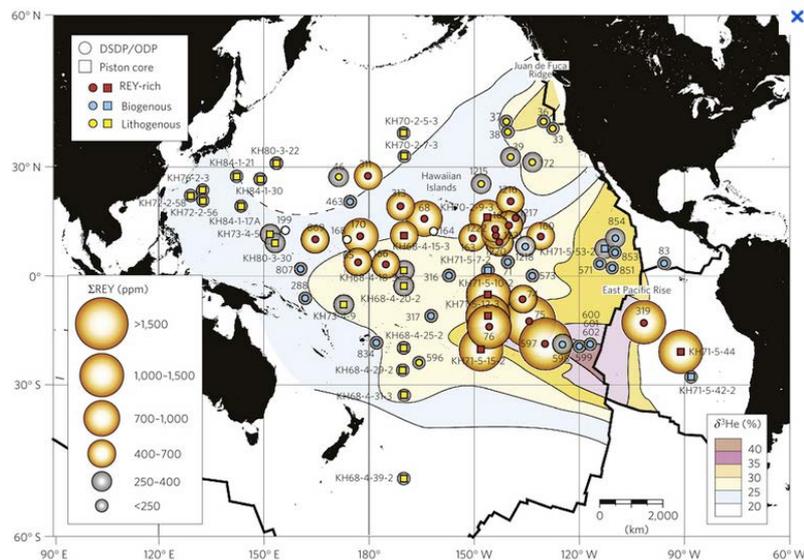


Figure 10 – Carte des prélèvements effectués par Kato *et al.* (2011)

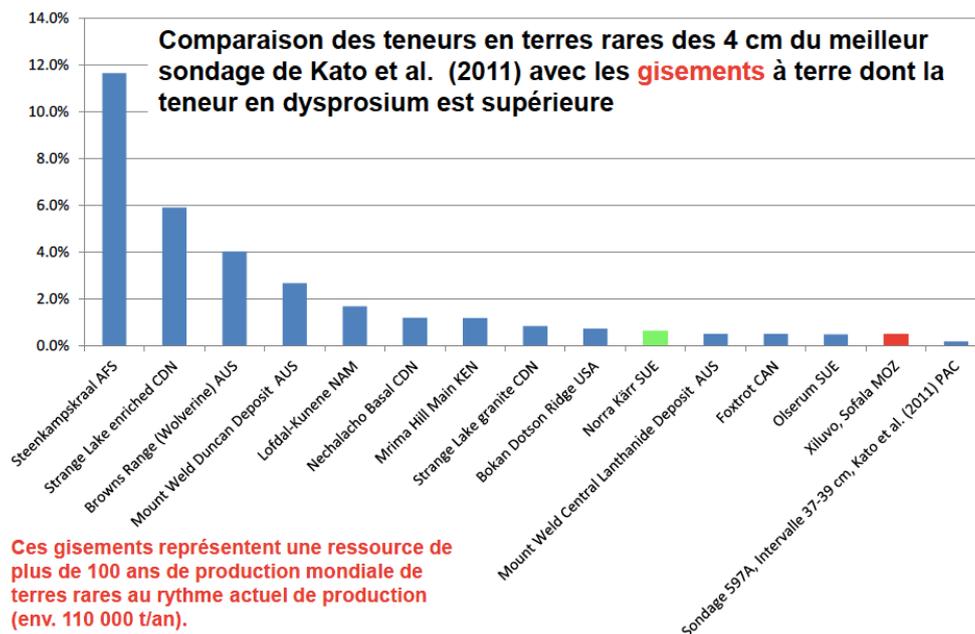


Figure 11 – Les teneurs et les tonnages probables de gisements de terres rares (© BRGM/P. Christmann - source des données : Kato et al. (2011))

1.5 Autres ressources

Certains types de ressources ont été exploités dans des eaux peu profondes au large des côtes des continents ou des îles océaniques. Les plus intéressants pour notre étude sont les gisements de diamants au large de la côte de la Namibie, non pas parce que des gisements similaires pourraient être trouvés en Polynésie française (les diamants se forment seulement en milieu continental), mais parce que cette activité représente une bonne analogie avec la mine sous-marine (voir la contribution I-3). D'autres ressources exploitées dans des eaux peu profondes constituent les gisements d'étain en Malaisie, les dépôts de minéraux lourds en Australie et des gisements de phosphate dans de nombreuses régions du monde. Parmi ceux-ci, seule cette dernière est pertinente pour la Polynésie française, mais ce type de gisement se produirait en milieu lagunaire et est donc en dehors du contexte du présent rapport. Un résumé des conditions géologiques, économiques et sociales de ces projets d'exploration et d'exploitation est donné dans l'axe transversal 5.

2. Ressources en Polynésie française

Que sait-on du patrimoine géologique de la PF ? Quels sont des types de minéralisation que l'on peut espérer y trouver ? Quel est l'état de la ressource connue ? Quelle est la proportion de la ZEE de Polynésie française pour laquelle nous disposons d'une connaissance suffisante, au niveau de la ressource (supposée, indiquée, mesurée)³ ?

2.1 Encroûtements cobaltifères

Une première source d'informations concernant des ressources potentielles de la ZEE de Polynésie française vient de rapports publiés. Des encroûtements cobaltifères ont été découverts dans diverses parties de la ZEE, comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1 – Estimations de la superficie des secteurs à forte réflectivité et épaisseurs des encroûtements ; résumé des données de Bonneville (2002).

			Epaisseur encroûtement (cm)		Superficie des secteurs à forte réflectivité (km ²)	
			min	max	min	max
	Age (Ma) (a)	Nombre de dragages				
Tahiti	1	0	0	0	300	900
Thiers	3	5	0	6	1 000	2 700
Iles sous vent	4	0	0	0	0	0
Tubuai	9	3	1	4	1 000	2 200
Rurutu	12	6	1	10	1 000	2 000
Rimatara	20	1	0,2	0,2	200	200
Tarava (b)	40	10	0	10	900	6 000
Neilson	40	3	0,5	6	1 000	3 500
Tuamotu (c)	47	13	2	15	900	6 000
Vaapiti	70	1	0	2	700	9 000

(a) – données de Clouard et Bonneville (2004)

(b) – "Savannah" dans le tableau de Bonneville (2002)

(c) – données de Bougault et Saget (2012)

³ Voir glossaire pour la définition d'une ressource supposée, indiquée ou mesurée

Les parties du plateau de Tuamotu étudiées dans le programme NODCO (Bougault et Saget 2012) sont indiquées dans la figure 12. Sur ce schéma, il est évident que la proportion du plateau qui a été exploré ne représente qu'une petite fraction de tout le plateau des Tuamotu.

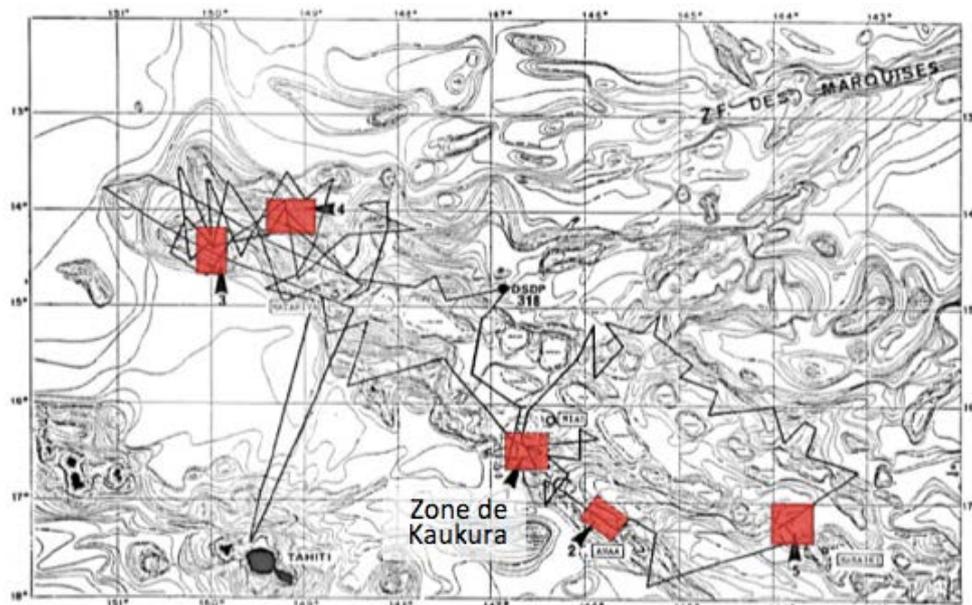


Figure 12 – Carte bathymétrique du plateau des Tuamotu, montrant les transects (trait épais) réalisés dans le programme Nodco ainsi que les zones qui ont été étudiées en détail (encadrés rouges) dans ce programme (Source : Bougault et Saget, 2012). NB : ces zones encadrées ne sont pas forcément les sites les plus intéressants. La zone de Kaukura, qui contient des indices de minéralisation, est détaillée dans la figure 13.

La figure 13 montre le secteur de Kaukura en détail, avec la partie jugée favorable pour l'apparition des encroûtements cobaltifères. Ce résultat indique que certaines parties de la ZEE de Polynésie française sont très prometteuses pour ce type de ressources. Toutefois, comme le précise le rapport d'ESCO Impact (Dyment *et al.*, 2014), « une véritable évaluation des potentialités économiques de ces minéralisations ne pourra être réalisée que lorsque des données de terrain permettront de préciser les paramètres nécessaires pour des calculs précis : contrôles géologiques de zones riches ; continuité des dépôts ; influence du substratum sur la dilution au ramassage (Fouquet et Lacroix, 2012). Un point important concerne l'étude de la rugosité du fond afin de déterminer les zones les plus riches et identifier des zones relativement plates et continues sur lesquelles un ramassage des encroûtements serait possible sans les diluer dans un grand volume de substrat stérile. De telles zones potentiellement riches en cobalt ont été identifiées dans la région des Tuamotu où des encroûtements pourraient former un tapis plat et continu sur des formations sédimentaires. Cependant, les prélèvements de roches dans cette vaste zone ont été très ponctuels. On

ne sait presque rien de l'extension latérale des zones encroûtées et surtout de l'épaisseur et de la teneur en métaux des croûtes.

Sur le plan scientifique, des efforts demeurent donc nécessaires pour mieux comprendre la répartition et notamment la continuité des encroûtements, la variabilité des épaisseurs et de la composition en métaux, et les paramètres géologiques et chimiques qui conditionnent la formation des accumulations les plus riches. A ce jour, aucune étude détaillée de terrain par submersible ou ROV⁴ n'a été réalisée sur ce type de dépôts dans les océans, même si de nombreuses missions de plongées ont été menées sur les volcans sous-marins.

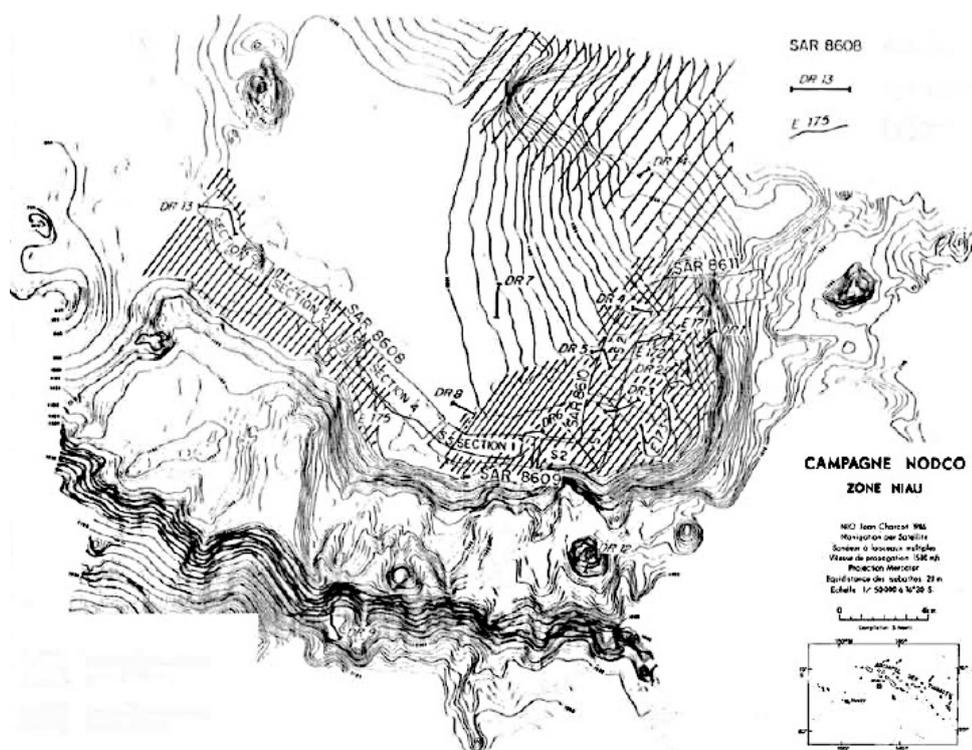


Figure 13 – Carte bathymétrique de la zone Kaukura du plateau de Tuamotu. Les « hachures serrées » représentent la zone d'encroûtements la plus favorable et les « hachures larges » représentent la zone de présence possible d'encroûtements (Source : Bougault et Saget, 2012).

Un dessin de Pichocki et Hoffert (1987) (voir figure 14) montre la topographie et la rugosité des zones sur un plancher océanique présentant des encroûtements cobaltifères. À noter : a) la forte irrégularité de la surface ; b) la coexistence d'encroûtements et nodules ; c) la présence d'un substrat de phosphorite. Les deux premiers compliqueront l'exploitation de

⁴ Remote operated vehicle

minéral et sont à prendre en compte dans le planning des programmes. La dernière offre un avantage net car, si la phosphorite est suffisamment épaisse et suffisamment riche en phosphate, elle constitue elle-même un sous-produit précieux (voir Axe III).

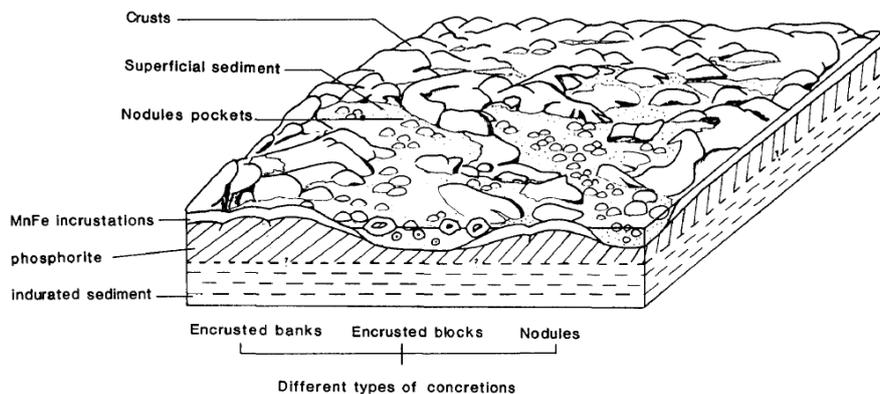


Figure 14 – Dessin de Pichocki et Hoffert (1987) de la surface du plancher océanique de la zone Kaurura.

Tableau 2 – Analyses chimiques d'encroûtements cobaltifères de Polynésie française (à partir de Bonneville, 2002). Les échantillonnages de NODCO ont été réalisés sur le plateau des Tuamotu ; et ceux de Polydrag sur la chaîne des monts Tarava.

	Nodco	Polydrag		Nodco	Polydrag
SiO ₂	–	4,64	Sc	–	6,96
Al ₂ O ₃	–	0,79	V	–	682,34
MgO	–	1,98	Cr	–	25,70
CaO	–	4,82	Zn	–	643,06
Na ₂ O	–	2,10	As	–	300,28
K ₂ O	–	0,39	Sr	–	1 630,98
P ₂ O ₅	–	0,94	Rb	–	4,15
Mn	25,7	23,15	Y	–	176,67
Fe	16,5	18,72	Zr	–	630,44
Ti	–	1,42	Nb	–	104,50
Co	1,1	1,14	Mo	–	394,76
Ni	0,6	0,44	Ba	–	1 656,72
Cu	0,1	0,11	Pb	–	1 720,89
Pt	0,8	1,47	Bi	–	29,54
Pd	14,8	–	Sn	–	14,69
Rh	53,4	–	Sb	–	66,03
Au	19,1	–	Tl	–	188,33
Ru	20,9	–	La	–	210,35
			Ce	–	731,63
			U	–	13,19

2.2 Nodules polymétalliques

L'existence de ce type de ressource en Polynésie française est indiquée par l'exploration menée à la périphérie de la ZEE (SPC-EU EDF10 Deep Sea Minerals (DSM) Project, Brochure 6) et décrit par Hein *et al.* (2015). La figure 15 montre une forte abondance de nodules dans la ZEE des Îles Cook et dans une partie d'une extension possible de la ZEE de PF vers le nord-ouest.

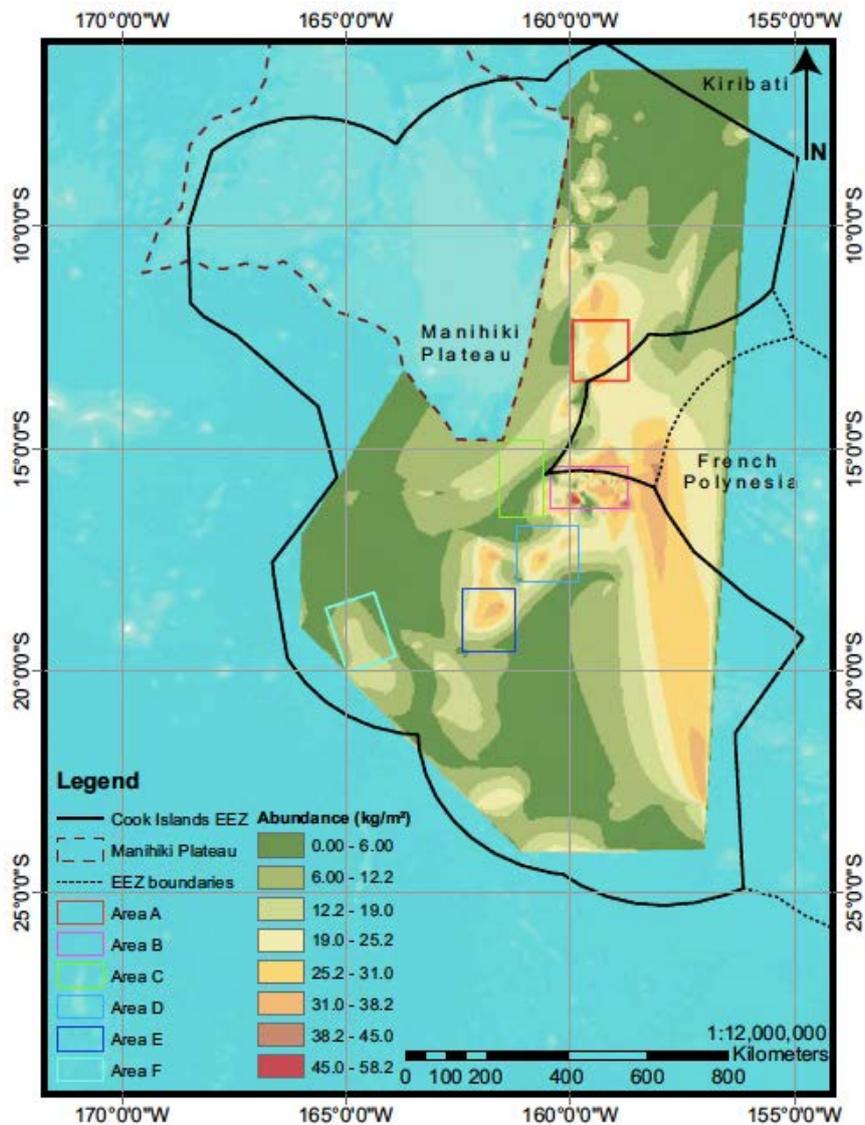


Figure 15 – Répartition des nodules polymétalliques dans les régions à l'ouest de la ZEE de Polynésie française (Hein *et al.*, 2015)

L'abondance de nodules est estimée par Hein *et al.* (2015) à plus de 25 kg/m², soit 4 à 5 fois plus élevée que dans la zone Clarion-Clipperton. Les concentrations de certains métaux d'intérêt économique comme Co, Te, Nb, Ti, Ce, ΣREY, Pt, Zr sont plus riches dans les nodules de la ZEE des Îles Cook que dans celles d'autres régions. La figure 16 montre que la grande abondance de nodules s'étend dans la partie ouest de la ZEE de Polynésie française et dans les eaux internationales entre les deux zones.

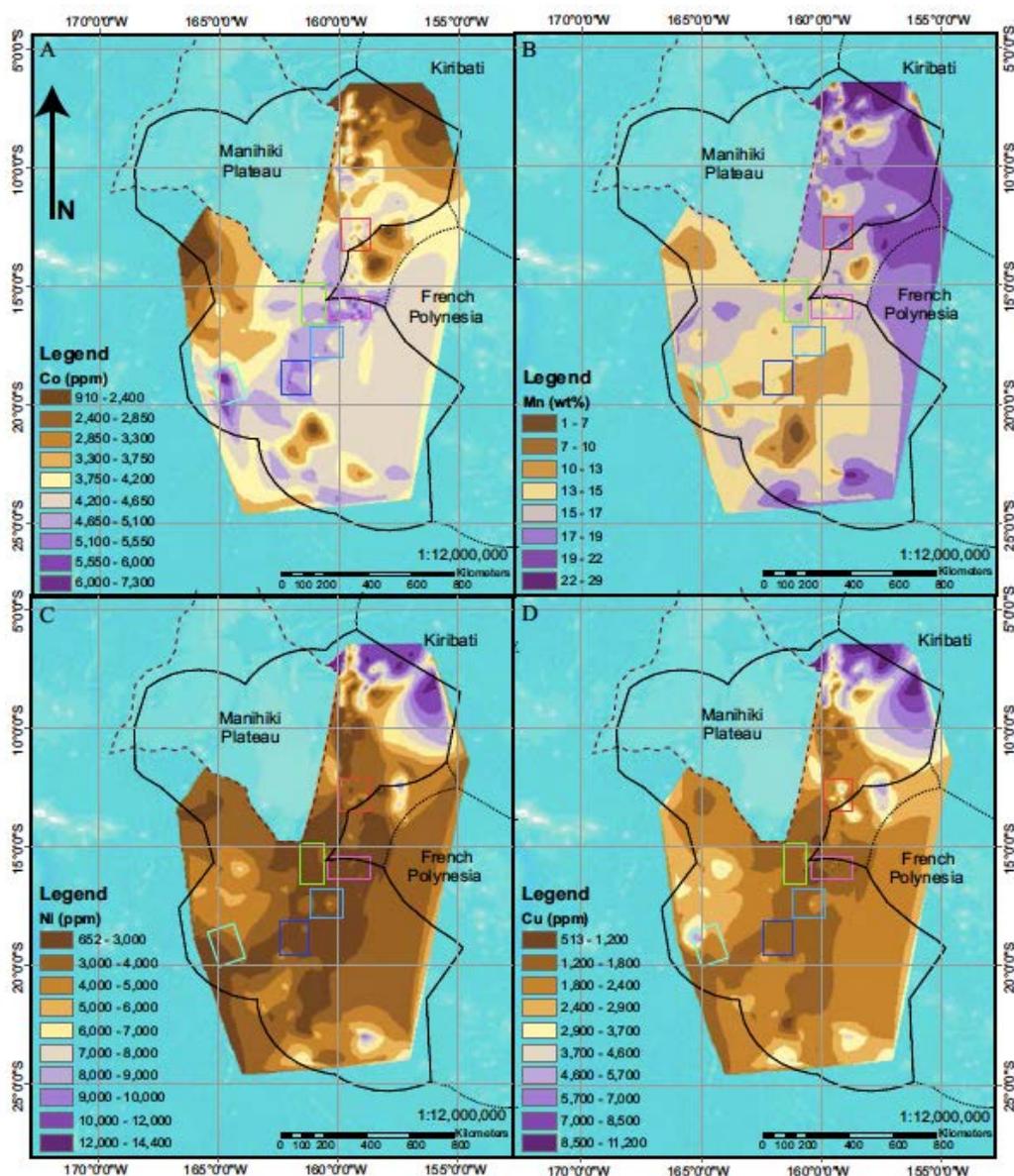


Figure 16 – Concentrations de métaux dans des nodules polymétalliques dans les régions à l'ouest de la ZEE de Polynésie française (Hein *et al.*, 2015)

2.3 Sulfures massifs

Il y a peu de chance que les sulfures massifs se trouvent dans des quantités rentables dans la Polynésie française car le contexte tectonique approprié n'existe pas dans la ZEE. En fait, ce type de gisement se trouve seulement près des marges de plaque dans les zones de circulation hydrothermale active, à des dorsales médio-océaniques, des arcs insulaires ou des bassins d'arrière-arc. La totalité de la ZEE de la Polynésie française se situe dans un contexte intra-plaque et par conséquent n'a pas les conditions requises pour la formation de gisements importants de ce type. Des cartes montrant la répartition des sources hydrothermales (figure 17), indiquent trois exemples, mais ceux-ci se trouvent sur les flancs des îles volcaniques ou des monts sous-marins et sont très peu susceptibles d'avoir généré des gisements de sulfures viables. Produire une grande quantité de sulfure nécessite un système hydrothermal de longue durée, tel qu'il existe sur des marges convergentes ; les systèmes sur les îles volcaniques ou monts sous-marins sont éphémères et les précipités de sulfure n'existent alors qu'en quantités infimes.

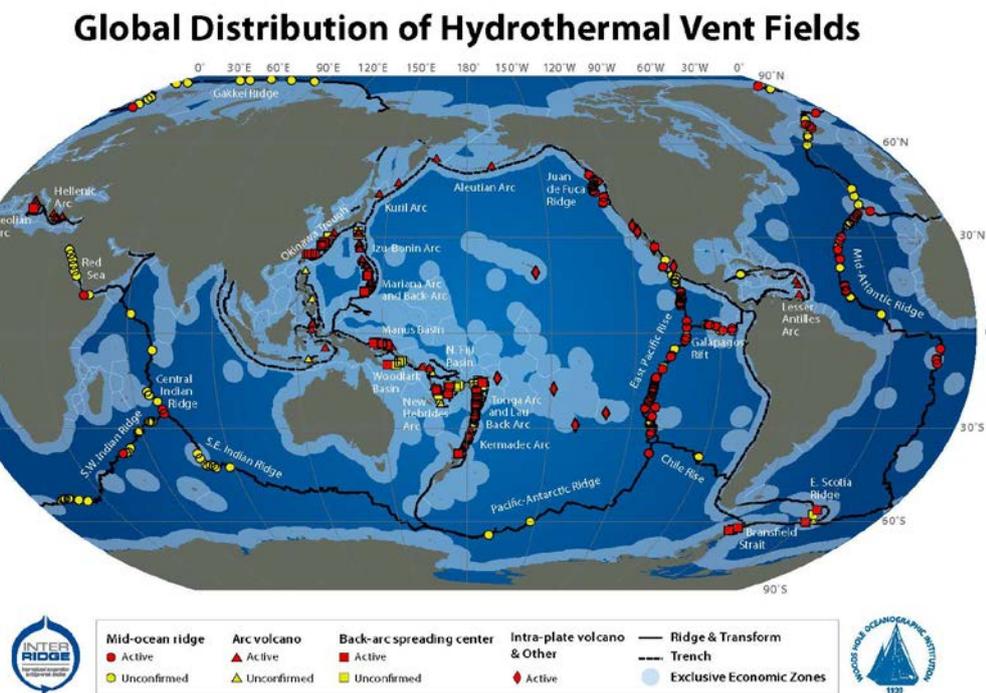


Figure 17 – Carte de la distribution globale des sources hydrothermales (InterRidge 2009)

3. Où sont situées les ressources minérales susceptibles d'être exploitées à l'horizon des 15-20 ans ?

3.1 L'état actuel de nos connaissances des ressources minérales

Notre évaluation de la présence potentielle et de l'exploitabilité des ressources minières sous-marines en Polynésie française, en particulier concernant les encroûtements cobaltifères, repose sur quatre critères :

- 1) la profondeur d'eau ;
- 2) la pente du plancher océanique ;
- 3) la présence de fonds durs (données de réflectivité) qui indiquent éventuellement une sédimentation faible ;
- 4) l'âge des édifices volcaniques.

- 1) *La profondeur d'eau* : selon Hein *et al.* (2013), les encroûtements cobaltifères se forment à des profondeurs comprises entre 400 m et 7 000 m, avec les encroûtements les plus épais et les plus riches en métaux à des profondeurs d'environ 800-2 500 m. Pour notre estimation, nous avons utilisé cette gamme de profondeurs en notant qu'à des profondeurs supérieures à 2 500 m l'exploitation minière serait peu ou pas rentable (difficultés technologiques). Sur les figures 19 et 20, nous avons mis en valeur (en rouge) l'isobathe des 2 500 m de profondeur ; cela permet de voir facilement la localisation et l'étendue des zones d'intérêt potentielles pour l'exploitation des encroûtements cobaltifères.

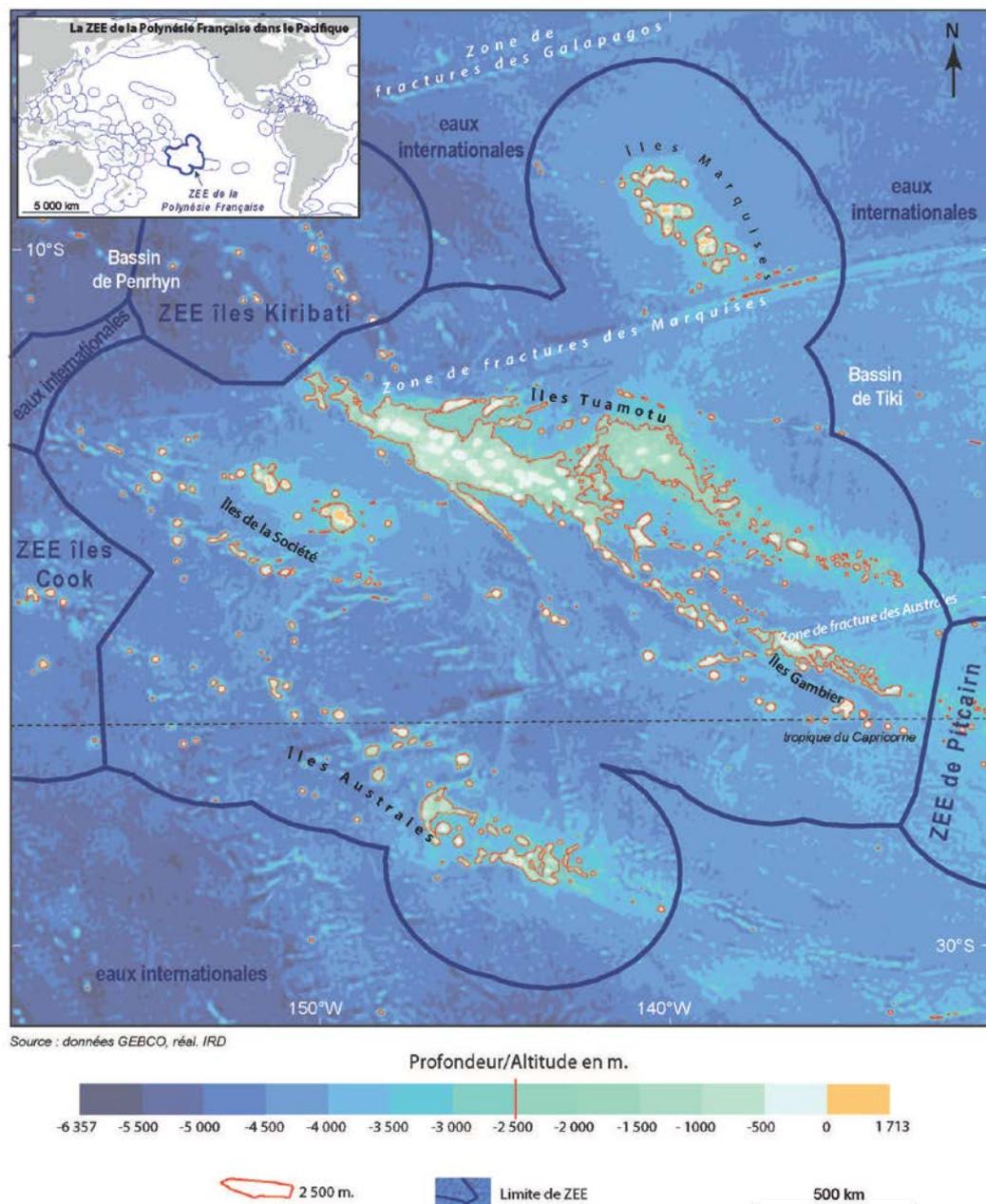


Figure 18 – Cartographie bathymétrique de la Zone économique exclusive de la Polynésie française

La figure 18 est une carte bathymétrique de la ZEE de la Polynésie française et les figures 19 à 23 présentent les cartes détaillées des archipels individuels ou des chaînes de monts sous-marins. La superficie estimée de cette zone située entre 0 et 2 500 m de profondeur est de 54 000 km², soit à peu près 1 % de la superficie totale de la ZEE ou 10 % de la superficie de la France métropolitaine.

Tableau 3 – Estimations des superficies des zones susceptibles pour l'exploitation des encroutements cobaltifères

Localité	Superficie (km ²) entre 800 et 2 500m de profondeur	Superficie à pente <10° (km ²)
Toute la ZEE	54000	35000
Plateau des Tuamotu	19000	16000
- site Kaukura	3000	2500
Îles de la Société	3200	1500
Îles Australes	7500	7000
Îles Marquises	9500	5000
Monts Tarava	4000	800

Les cartes détaillées de la figure 20 montrent que la plus grande zone ayant une profondeur d'eau inférieure à 2 500 m et relativement plate se situe sur le plateau des Tuamotu et que les zones favorables dans toutes les autres régions sont plus petites. Ces informations sont résumées dans le tableau 3. Le plateau des Tuamotu, les Australes et les Marquises présentent d'importantes zones ayant une profondeur d'eau appropriée à l'exploitation. Mais cela ne signifie pas forcément qu'il y a présence d'encroutements cobaltifères.

Les figures suivantes sont un ensemble de cartes bathymétriques des différents archipels en Polynésie française. Le trait rouge indique la profondeur de 2500 m. Les cartes de l'archipel des Tuamotu et de la chaîne des monts sous-marins Tarava sont complétés par des zooms (encadrés).

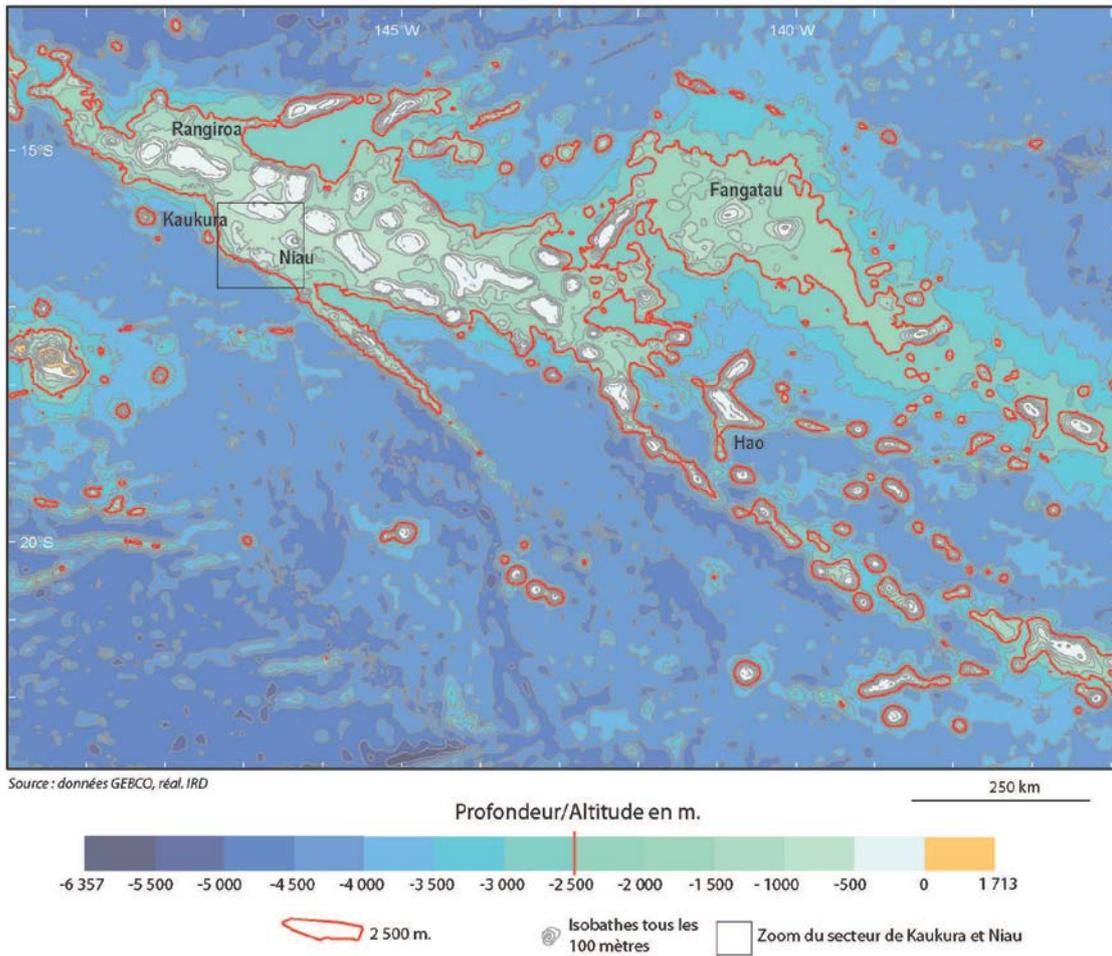


Figure 19 – Bathymétrie de la région des Tuamotu

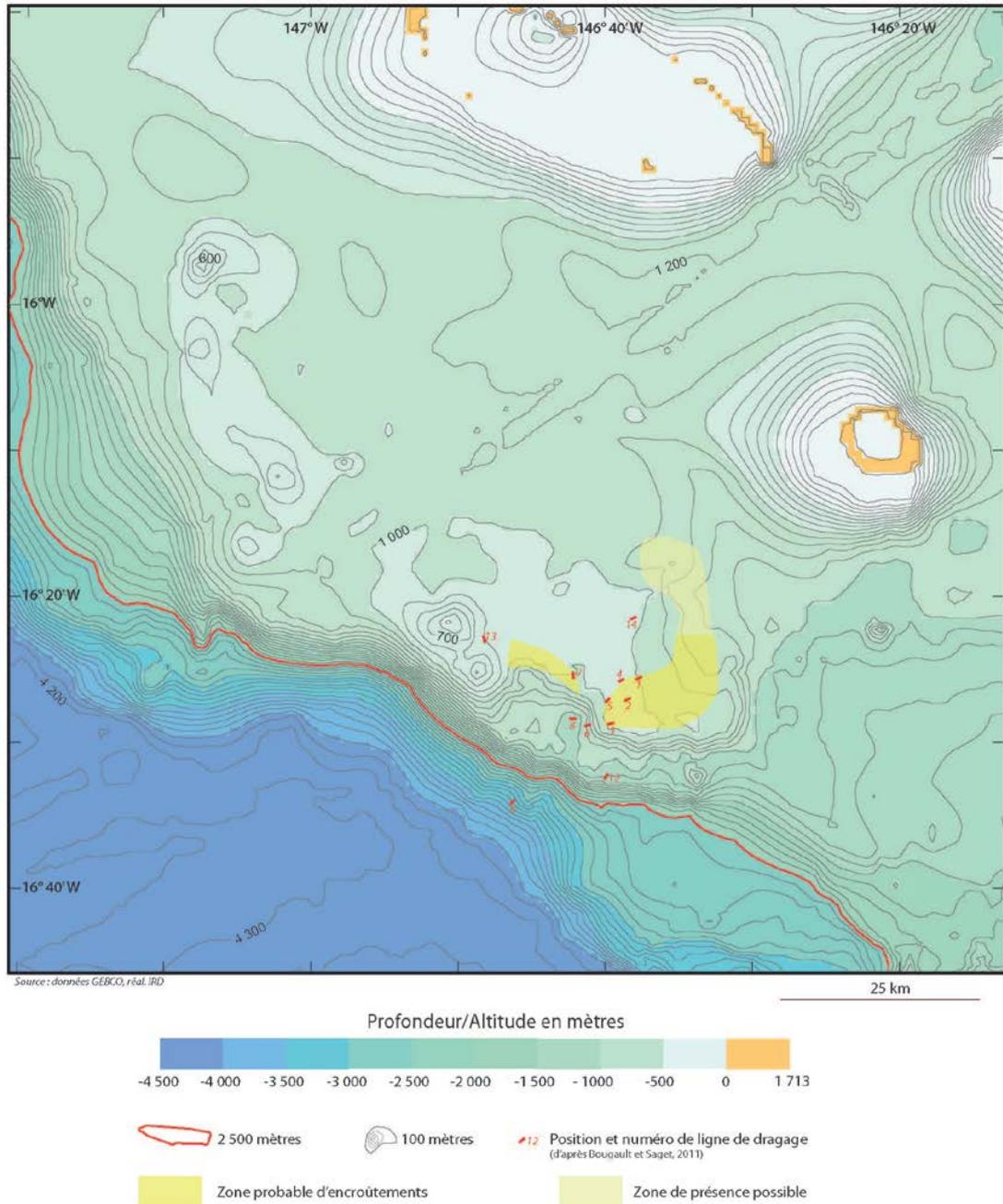
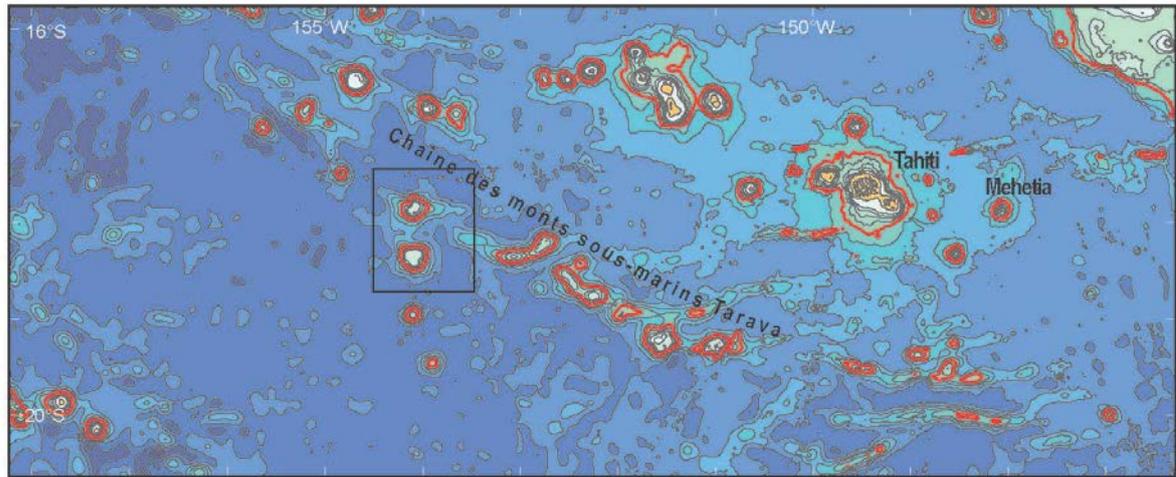


Figure 20 – Bathymétrie du secteur de Kaukura et Niau



Source : données GEBCO, réal. IRD

250 km

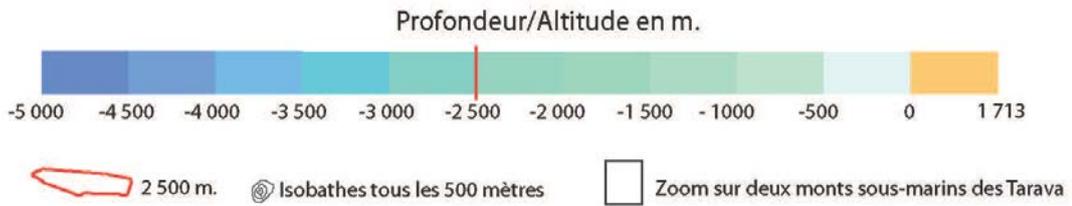


Figure 21 – Bathymétrie de la région des monts sous-marins Tarava et des îles de la Société

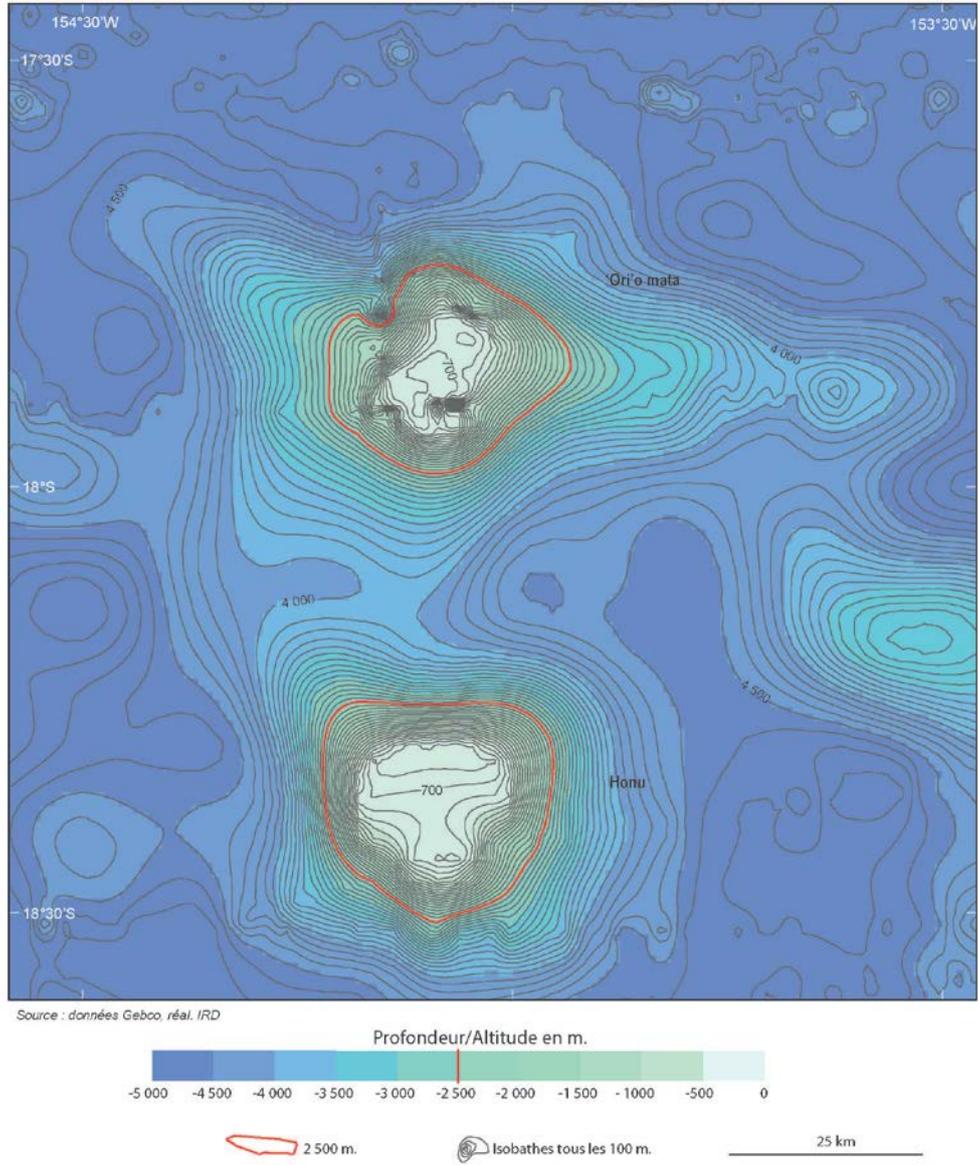


Figure 22 – Bathymétrie des monts sous-marins 'Ori'o mata et Honu (monts Tarava) (nommés par des élèves des collèges des îles sous le Vent, dans le cadre du programme Zepolyf)

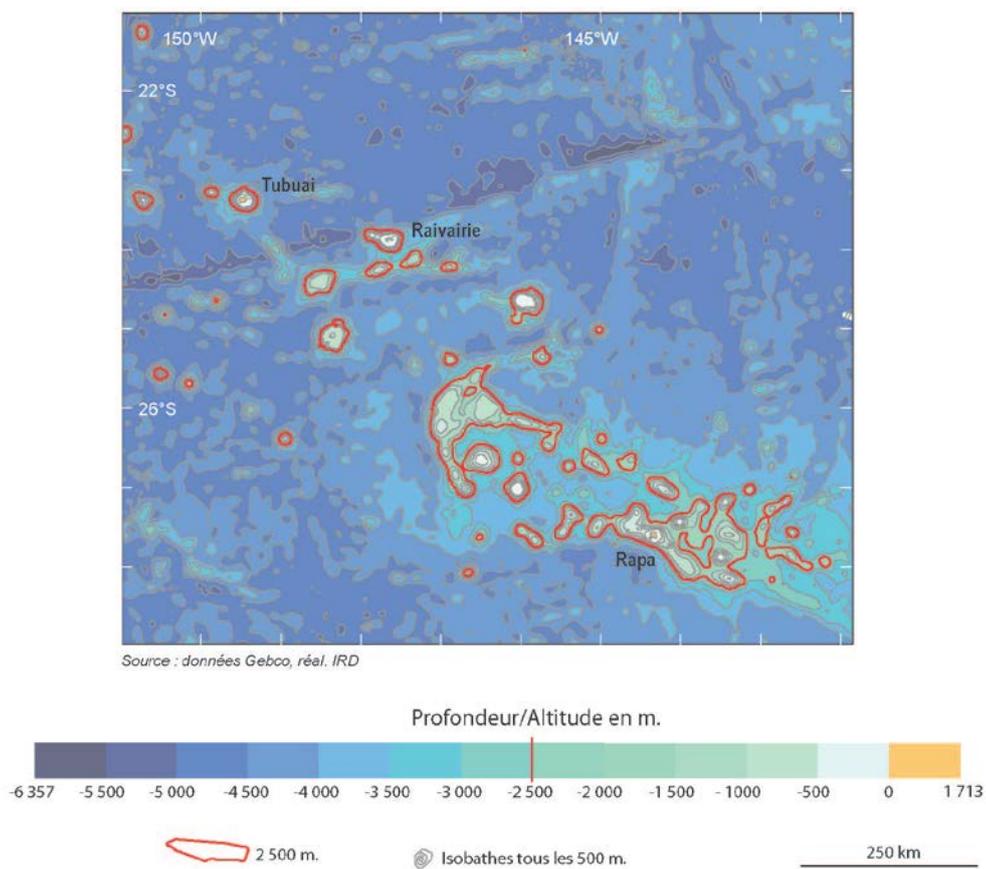


Figure 23 – Bathymétrie de la région des Australes

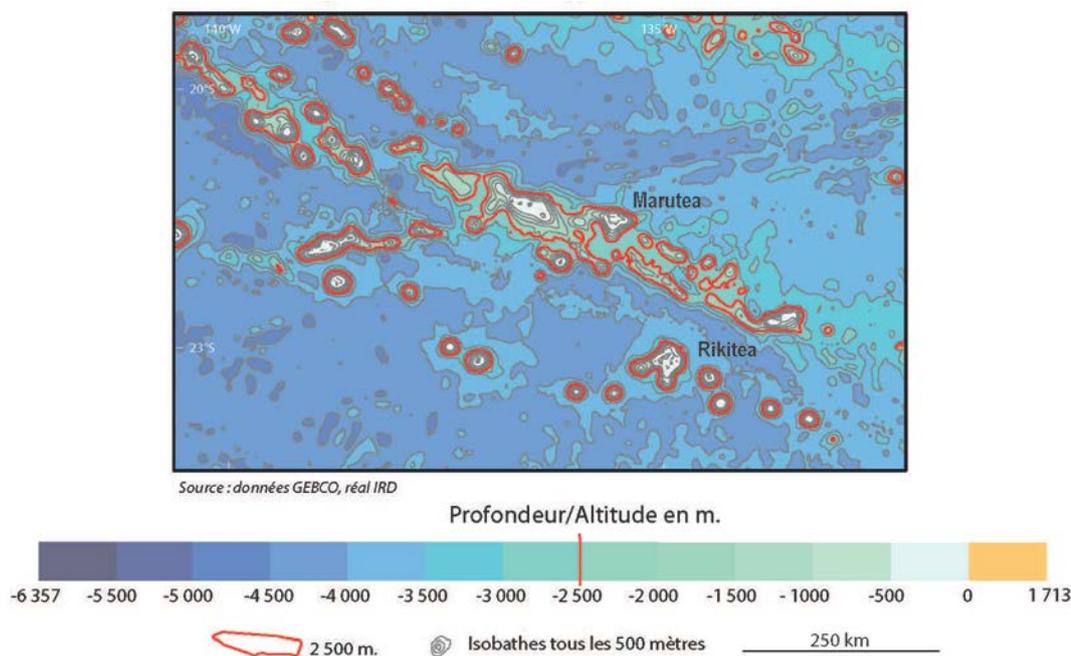


Figure 24 – Bathymétrie de la région des Gambier

2) *Une faible pente du plancher océanique* : des informations complémentaires sont présentées sur les cartes montrant les pentes du plancher océanique (figure 25 à figure 30). Ces cartes soulignent les différences de morphologie entre les Tuamotu, qui se composent en grande partie d'atolls submergés sur un ancien plateau de relief adouci, et les édifices volcaniques des Îles de la Société ou les Marquises, qui sont plus petits et plus raides. Lorsque les zones avec des pentes supérieures à 10 degrés sont éliminées (tableau 3), les zones présentant des caractéristiques favorables sont beaucoup plus petites. Pour l'archipel des Tuamotu, la réduction de superficie est d'environ 25 %, et pour les Îles de la Société et Marquises et les monts sous-marins des Tarava, il est supérieur à 30 %. Par contre, relativement peu de surfaces ayant des pentes abruptes sont présentes dans les Australes. Sur la base des surfaces plates dans la gamme de profondeurs ciblées, ainsi que sur la base des âges estimés des édifices volcaniques (figure 31) les régions les plus favorables seraient le plateau des Tuamotu, et les Iles Australes.

Pour les mêmes archipels et zooms que précédemment, la série de figures suivantes met cette fois en évidence les pentes du plancher océanique.

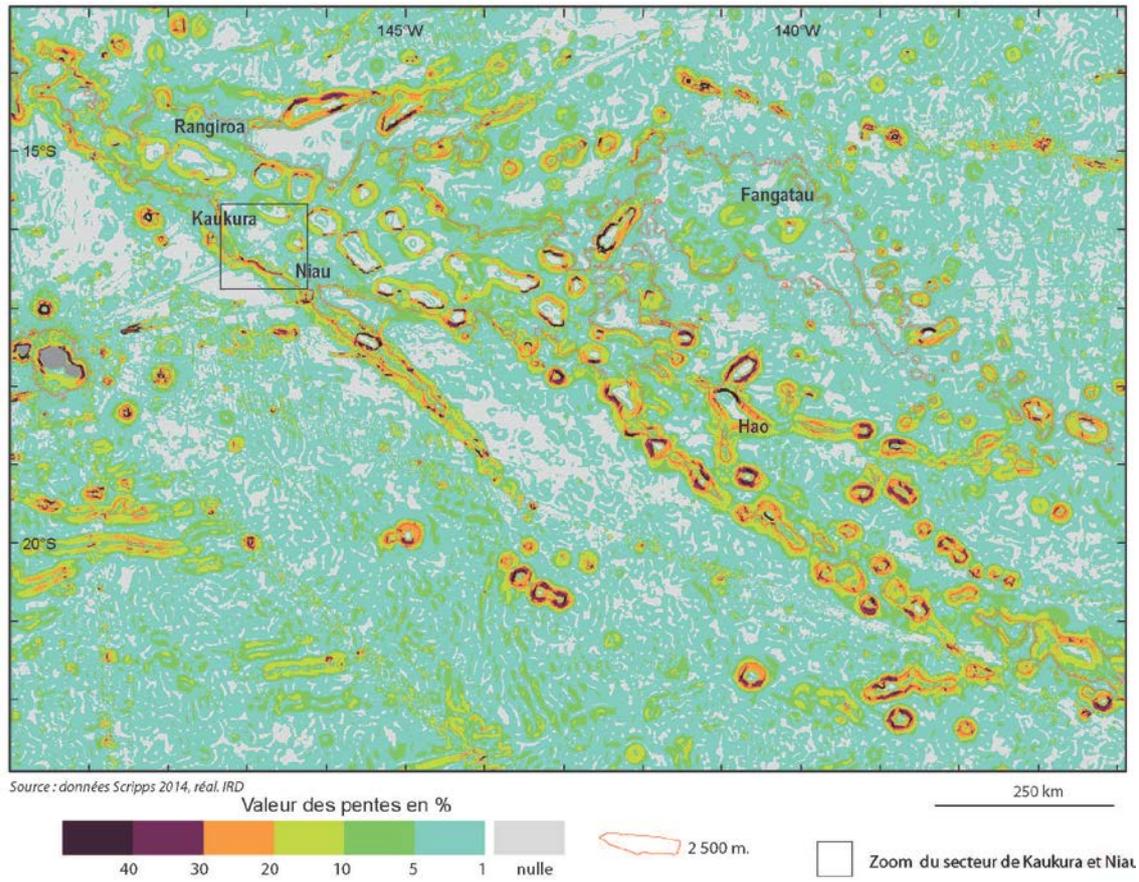


Figure 25 – Carte des pentes de la région des Tuamotu

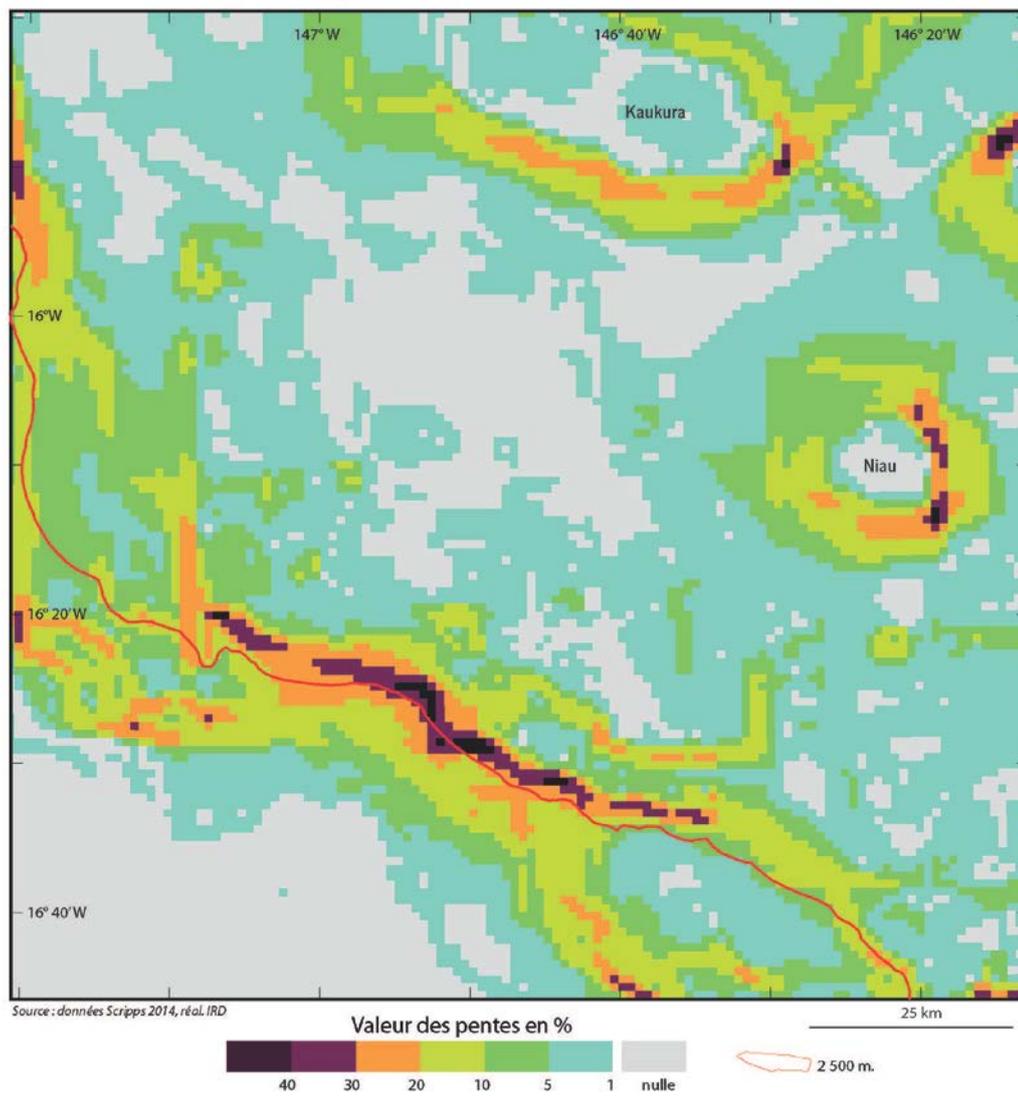


Figure 26 – Carte des pentes du secteur de Kaukura et Niau

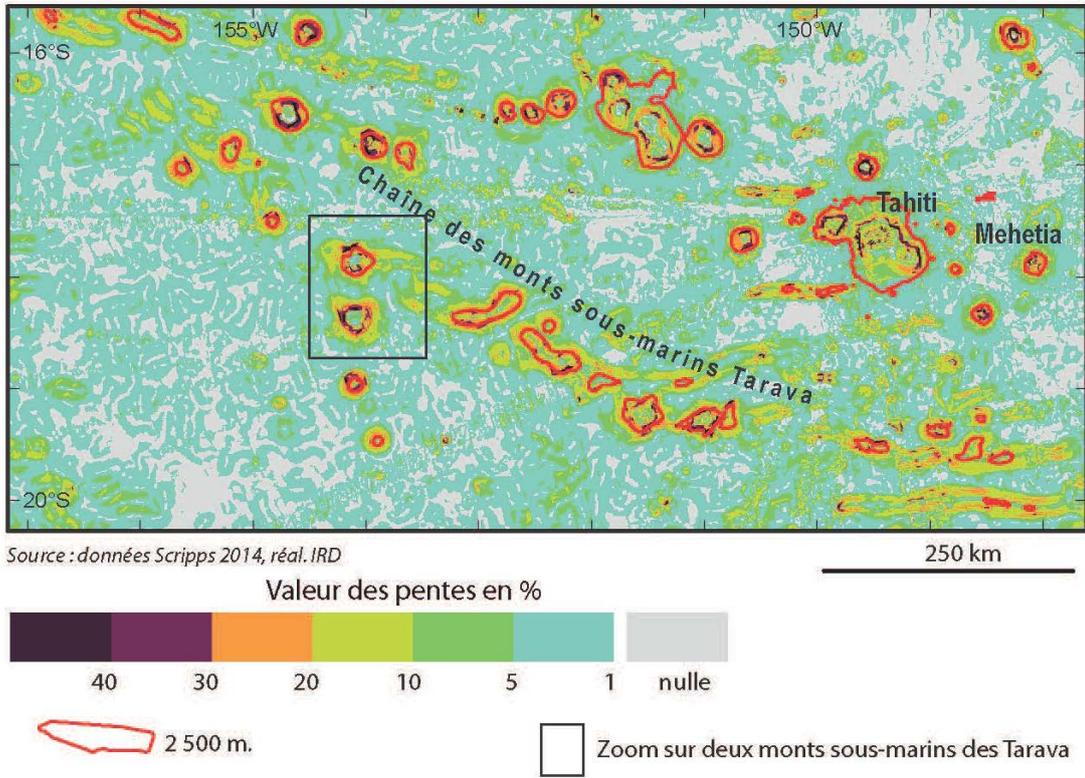


Figure 27 – Carte des pentes de la région des monts sous-marins Tarava et des îles de la Société

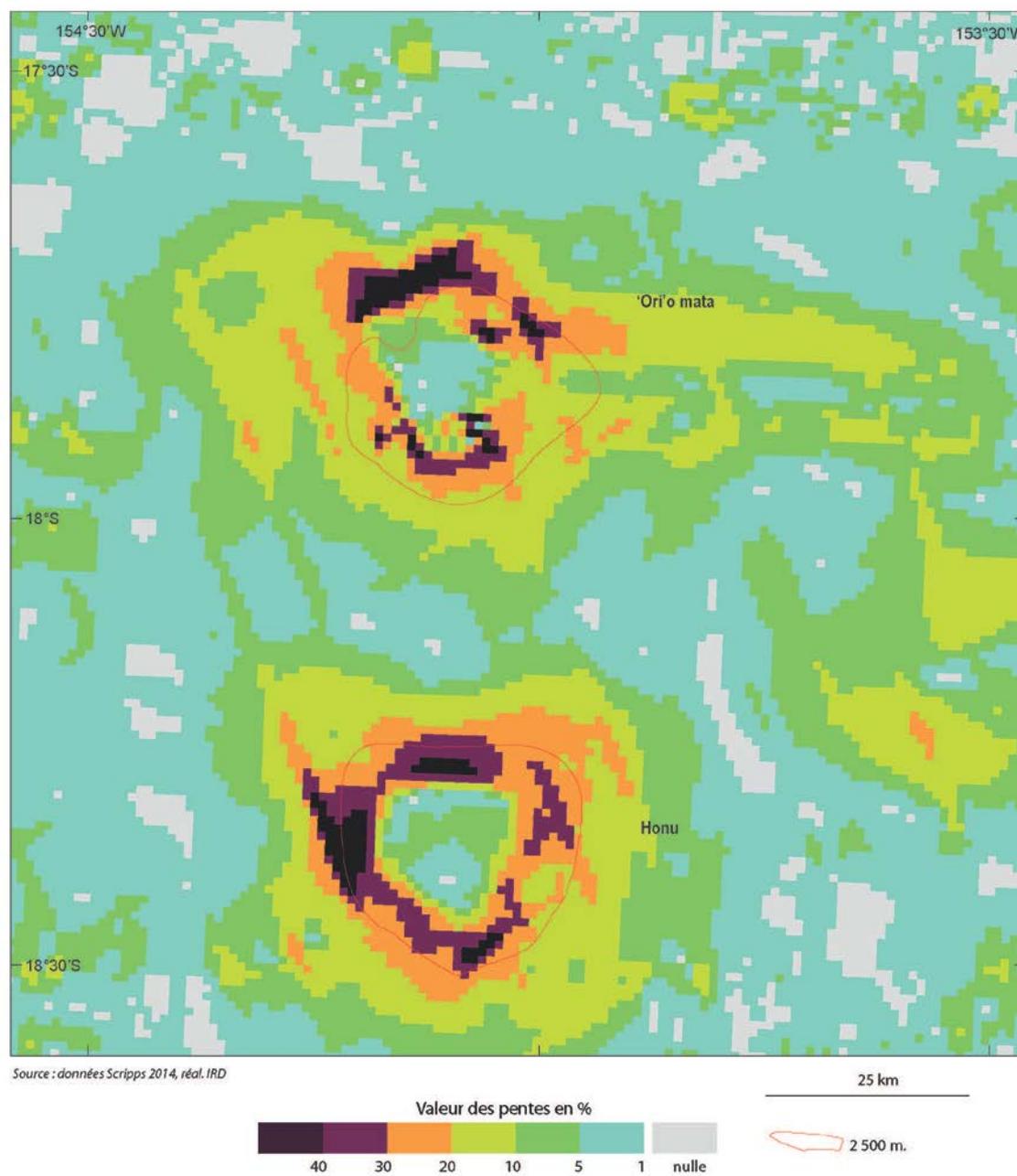
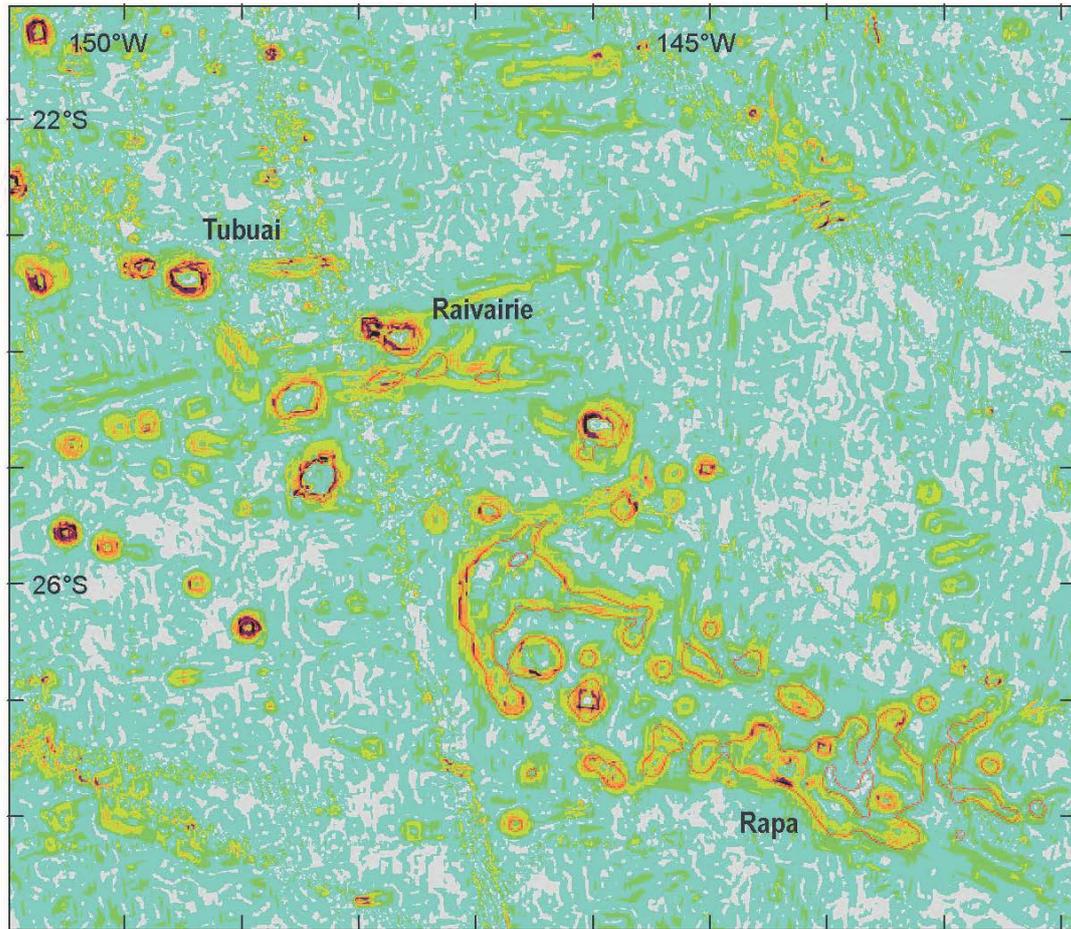


Figure 28 – Carte des pentes des monts sous-marins 'Ori'o mata et Honu (monts Tarava)



Source : données Scripps 2014, réal. IRD

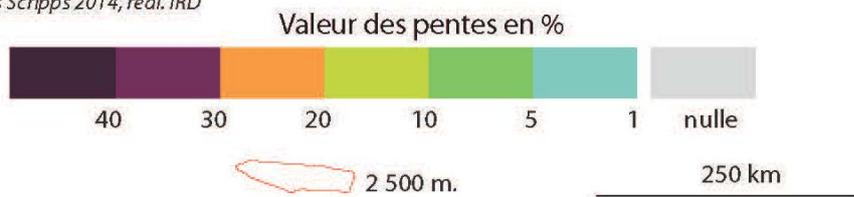


Figure 29 – Carte des pentes de la région des Australes

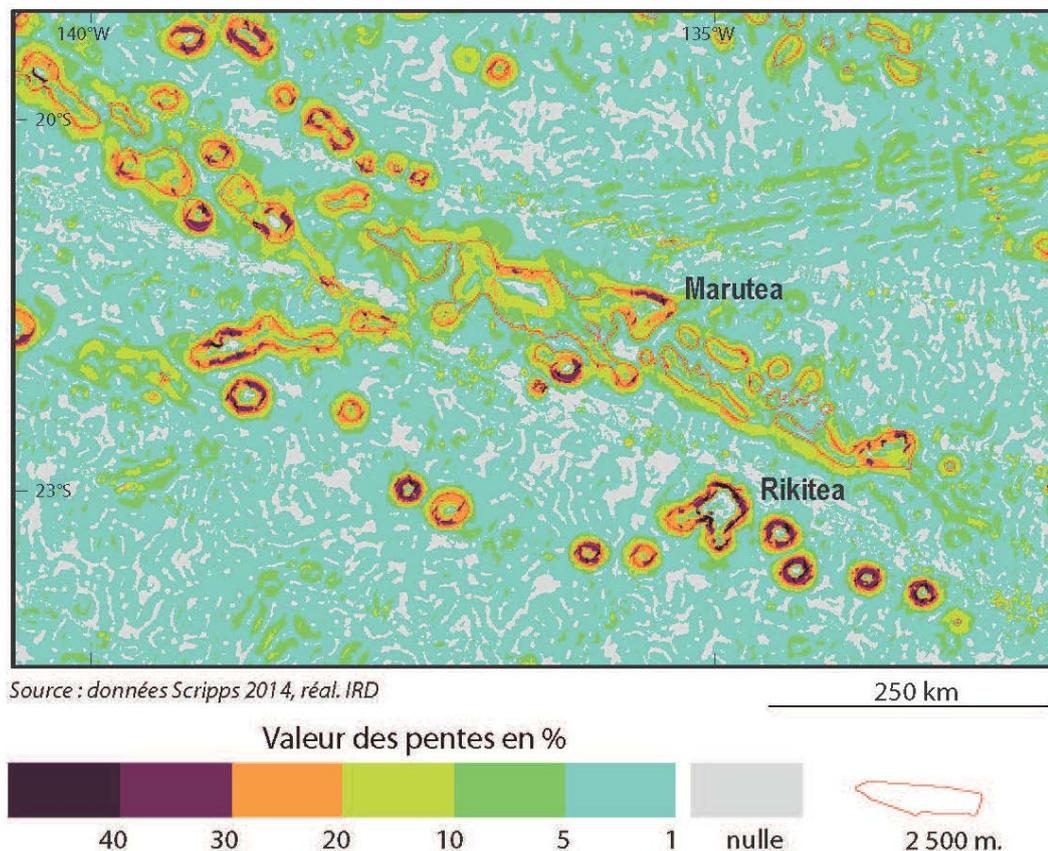


Figure 30 – Carte des pentes de la région des Gambier

- 3) *Une absence de sédiments.* La présence de sédiments empêche la formation d'encroûtements cobaltifères. L'absence de sédiments est indiquée par les données de réflectivité qui enregistrent la présence de fonds durs (tableau 1; Bonneville 2002). L'action de forts courants qui remontent le long des flancs des monts sous-marins peut empêcher le dépôt de sédiments. C'est pourquoi la direction et la force des courants doivent être prises en compte lorsqu'on étudie les sites probables d'encroûtements cobaltifères.
- 4) *Un âge élevé des édifices volcaniques.* Un résumé des âges des unités volcaniques connues pour la Polynésie française est présenté sur la figure 31. Ces informations sont importantes car l'épaisseur des encroûtements cobaltifères augmente avec l'âge de la structure volcanique. Toutes les études géochronologiques ont porté sur les volcans relativement jeunes des archipels de la Société, des Australes et des Marquises et très peu d'informations sont

disponibles pour le plateau des Tuamotu. A partir des âges radiométriques, on observe que les volcans les plus récents se situent dans le sud-est de la Polynésie et les plus anciens, dans le nord-ouest, ce qui concorde avec le déplacement de la plaque du Pacifique vers le nord-ouest. Cependant, contrairement à la chaîne hawaïenne, la progression de l'âge n'est pas systématique et les volcans plus récents se superposent parfois à des plus anciens (exemple dans les Australes). Les âges les plus anciens sont indiqués par Clouard et Bonneville (2004) sur la base de quelques datations de roches draguées sur les monts sous-marins des Tarava (≈ 40 Ma), la partie nord-ouest du plateau des Tuamotu (≈ 40 Ma) et les monts sous-marins de Vaapiti (au sud des Îles de la Société) (≈ 70 Ma).

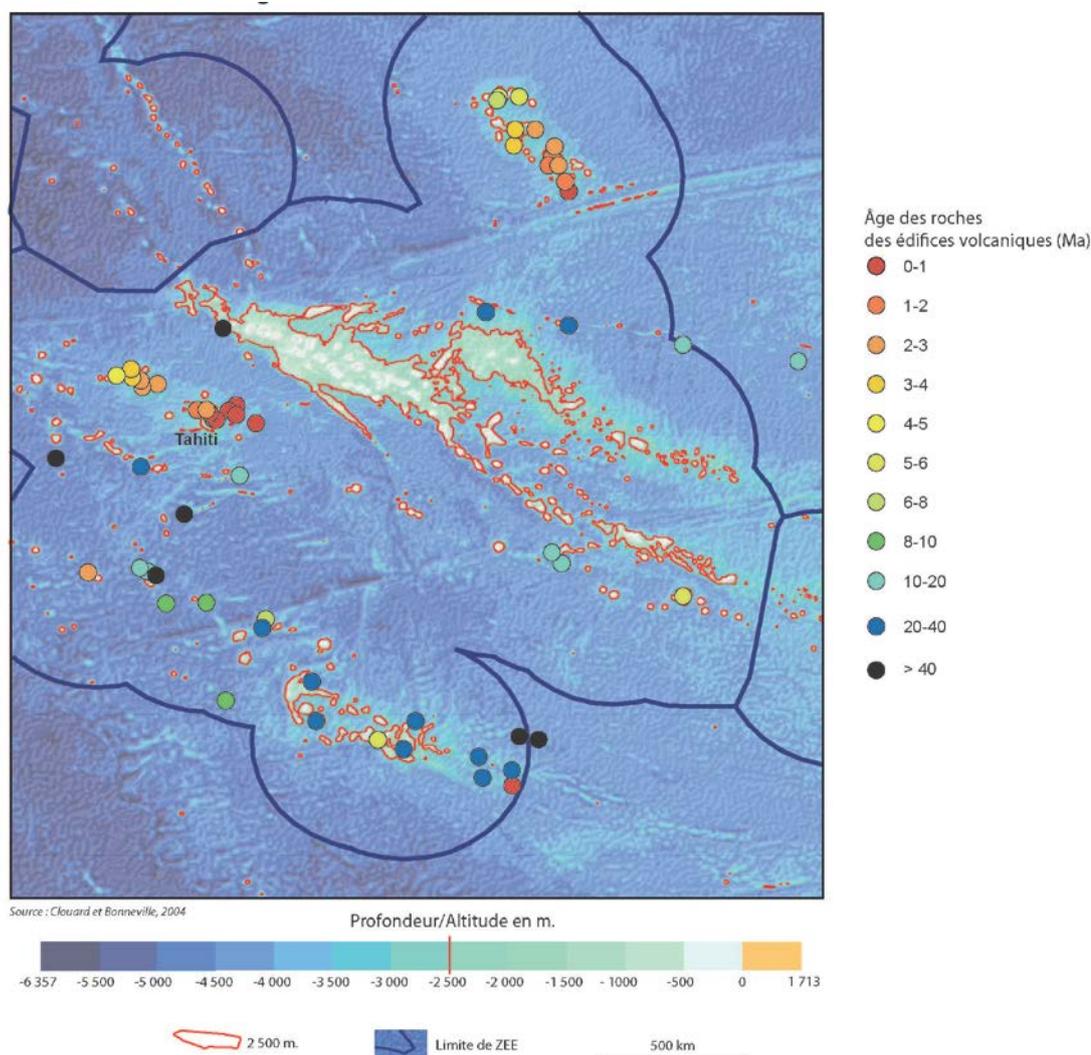


Figure 31 – Age des édifices volcaniques en Polynésie française (d'après Clouard et Bonneville, 2004)

Une indication de l'âge du plateau des Tuamotu est fournie par la morphologie des structures volcaniques. En effet, la plupart du plateau est composé de grands atolls plats qui témoignent d'une longue période d'érosion après la cessation de l'activité volcanique. Cette morphologie est en net contraste avec les volcans plus petits et plus raides des autres archipels. Notamment, un très grand plateau plat entoure les petits édifices abrupts des îles de Fangatau et Fakahina dans la partie nord-est du plateau (figure 19) ; cette structure est sans doute liée à une longue période d'érosion qui pré-date une activité volcanique plus récente qui a construit les petits édifices volcaniques.

3.2 Les sites les plus favorables

Sur la base des clés de compréhension présentées ci-dessus, on peut déduire que les surfaces immergées les plus anciennes de la ZEE de la Polynésie française, sont celles les plus susceptibles d'être couvertes par des encroûtements cobaltifères épais ; il semble qu'elles se trouveraient sur la partie centrale à nord-ouest et sur la partie nord-est du plateau des Tuamotu.

En plus des caractéristiques géologiques, d'autres facteurs doivent être pris en compte lors de l'établissement des zones les plus favorables pour l'exploitation éventuelle de ces ressources minières sous-marines. Notre connaissance de la géologie, de la nature du plancher océanique et de la répartition des encroûtements cobaltifères, est la plus complète pour la zone Kaukura et Niau, du plateau de l'archipel des Tuamotu et les monts Tarava. Toutefois, dans cette dernière région, les édifices volcaniques sont relativement petits et les surfaces situées à des profondeurs d'eau favorables et à faible pente sont relativement restreintes (figure 25 à 30).

D'autre part, les environs de la zone de Kaukura présentent plusieurs zones de populations, ainsi que des zones de tourisme et des zones de pêche et de perliculture. La commune de Fakarava est, de plus, une réserve de biosphère. La partie nord-est du plateau des Tuamotu, en revanche, est très peu peuplée et se trouve loin des centres d'activités économiques et culturelles. Cependant, il est possible que les encroûtements épais identifiés par Bougault et Saget (2011) dans le secteur de Kaukura et Niau, soient liés aux courants ascendants le long du flanc sud-ouest du plateau des Tuamotu et il n'y a aucune garantie que des encroûtements soient présents de manière similaire sur le reste du plateau, présentant des caractéristiques différentes. Seules des campagnes d'exploration pourront vérifier ces suppositions (voir contribution III-2)

Les avantages et les inconvénients de quatre sites possibles pour l'exploitation des encroûtements cobaltifères et le site de l'éventuelle exploitation de nodules polymétalliques sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 – Comparaison de quatre sites potentiels d'exploitation de ressources minérales sous-marines

	1. secteur de Kaukura (sud-ouest plateau Tuamotu)	2. monts sous-marins Tarava	3. nord-est plateau Tuamotu	4. extension nord-ouest de la ZEE
Caractéristiques du site	partie du plateau des Tuamotu	chaîne de monts sous-marins	partie du plateau des Tuamotus	plaine abyssale
Ressource potentielle	encroûtements cobaltifères	encroûtements cobaltifères	encroûtements cobaltifères ?	nodules
Preuves	zone de forte réflectivité ; dragage (13 échantillons); études détaillées de la topographie ; analyses géochimiques	zone de forte réflectivité; dragage (10 échantillons); études détaillées de la topographie; analyses géochimiques	contexte géologique similaire à la zone 1 (secteur Kaukura), mais exposé différemment aux courants) mais pas de preuve par dragage ou imagerie du fond	forte abondance de nodules enrichis en Ti dans la ZEE des Îles Cook
Avantages	– le site le mieux documenté ; existence d'une ressource démontrée; – fortes pentes en bordure sud du plateau peuvent favoriser les courants et empêcher la sédimentation	– site bien documenté; existence d'une ressource démontrée; – zone de productivité biologique moyenne – pas de terre (niches oiseaux, industrie, tourisme) – fortes pentes des monts sous-marins favorisent	– topographie favorable à l'exploitation (grand plateau, pentes faibles) – peu d'activités de pêche, tourisme, perliculture – peu de terre (niches oiseaux)	– forte abondance de nodules – concentrations assez élevés en Co, Ti, Mn, REE

		les courants et empêchent la sédimentation sur les sommets		
Inconvénients pour l'exploitation *	– proximité aux centres de population et activités industrielles et culturelles – réserve biosphère de Fakarava	– topographie peu favorable à l'exploitation (petites surfaces et fortes pentes)	– manque d'information sur la microtopographie ; aucun évidence directe de l'existence d'une ressource	– les abondances de nodules et les teneurs en métaux les plus importants se trouvent dans la ZEE des Îles Cook et pas dans la ZEE de Polynésie française
Références	Bougault et Saget (2011); Pichocki et Hoffert (1987)	Campagnes Tarasoc, Zepolyf, Polydrag		Hein <i>et al.</i> (2015)

* Du point de vue biologique : la différence entre monts sous-marins et plateau c'est surtout la diversité : comme il y a une plus grande gamme de profondeur représentée sur un mont sous-marin que sur un plateau, il y a une plus grande diversité ; mais pas forcément un plus grand endémisme. Par contre, de façon générale dans le Pacifique Sud, plus on s'éloigne du *Coral triangle* (Papouasie Nouvelle Guinée/Indonésie) vers l'est moins il y a de diversité et plus il y a d'endémisme (voir aussi la contribution IV-1).

Pour l'instant on a constaté autant d'endémisme sur le secteur de Kaukura et Niau que sur les sites des monts Tarava.

Par ailleurs, cet endémisme pourrait être dû en fait une spécialisation en lien avec la présence des encroûtements, de grande ou petite surface.

4. Bibliographie

- BINNS R A, 2004 – Eastern Manus Basin, Papua New Guinea: guides for volcanogenic massive sulfide exploration from a modern seafloor analogue, *CSIRO Explores*, 2, 59-80.
- BONNEVILLE A., 2002 – Dépôts à partir de l'eau de mer : croûtes cobaltifères et platinifères, *in Les Techniques de l'industrie minière*, n° 15
- BOUGAULT ET SAGET, 2011 – *Les Encroûtements Cobaltifères de Polynésie Française*. Mines et Carrières 6 Industrie Minière – oct 2011- n° 185 - Hors série p 70-85
- CLOUARD V., BONNEVILLE A., 2004 – Submarine Landslides in French Polynesia, *In Oceanic Hotspots: intraplate submarine magmatism and tectonism*, Eds R. Hekinian, P. Stoffers and J.-L. Cheminé, Springer-Verlag., pp 209-238. Cronan D. (2000). Handbook of marine mineral deposits, CRC Press London, 406 p.
- CRONAN D.S., 2006 – Processes in the formation of central Pacific manganese nodule deposits. *J. Mar. Sci. Environ.* C4, 41–48.
- DYMENT J., LALLIER F, LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P.-M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coord.), 2014 – Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective, Rapport, CNRS – Ifremer, 930 p. environ
- FOUQUET ET LACROIX, 2012 – *Les ressources minérales marines profondes, étude prospective à l'horizon 2030*. Versailles, Editions Quae, 175p
- FOUQUET Y., 2009 – *Les ressources minérales du futur sont-elles au fond des mers ?* Source : La chimie et la mer, coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Rose Agnès Jacquesy, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, 2009, isbn : 978-2-7598-0426-9, p. 55
- FOUQUET Y., 2002 – *Sulfures polymétalliques hydrothermaux océaniques*, *Les techniques de l'industrie minière*, 15: 51-65.
- GHOSH A., MUKHOPADHYAY R., 2000 – Mineral Wealth of the Ocean: a treatise on distribution, origin, exploration, mining, and management of sea floor non-living resource. Taylor & Francis Pp.200
- HANNINGTON M. D., JAMIESON J., MONECKE T., PETERSEN S., 2010 – Modern seafloor massive sulfides and base metal resources — towards a

- global estimate of seafloor massive sulfide potential. *Soc. Econ. Geol. Spec. Publ.* 15, 317–338.
- HAXEL G.B., HEDRICK J.B., ORRIS G.J., 2002 – Rare earth elements—critical resources Hein, J.R., Koschinsky, A., Bau, M., Manheim, F.T., Kang, J.-K. et Roberts, L. (2000). Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific. In: (Ed: Cronan, D.S.) *Handbook of marine minerals*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 239–279.
- HEIN J.R., SPINARDI F., OKAMOTO N., MIZELL K., THORBURN D., TAWAKE A., 2015 – Critical metals in manganese nodules from the Cook Islands EEZ, abundances and distributions. *Ore Geology Reviews* 07; 68.
DOI:10.1016/j.oregeorev.2014.12.011
- HEIN J.R., MIZELL K., KOSCHINSKY A., CONRAD T.A., 2013 – Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: Comparison with land-based resources. *Ore Geology Reviews* 51 (2013) 1–14
- HEIN J.R., 2012 – Prospects for rare earth elements from marine minerals. Briefing Paper 02/12, International Seabed Authority. (4 pp.).
- HOAGLAND P., BEAULIEU S., TIVEY M., EGGERT R., GERMAN C., GLOWKA L., LIN J., 2010 – Deep-sea mining of seafloor massive sulphides. *Marine Policy* 34:728-732
- HODKINSON R.A., CRONAN D.S., 1991 – Regional and depth variability in the composition of cobalt-rich ferromanganese crusts from the SOPAC area and adjacent parts of the central equatorial Pacific. *Mar. Geol.* 98, 437–447.
- HOFFERT M., 2008 – Les nodules polymétalliques dans les grands fonds océaniques, Société Géologique de France, Vuibert, 429 p.
- InterRidge, 2009 – <http://www.interridge.org/irvents/> et <http://www.pmel.noaa.gov/eoi/PlumeStudies/global-vents/index>.
<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=rare-earth-elements-ocean>
- ISA, 2010 – A geologic model of polymetallic nodule deposits in the Clarion Clipperton Fracture zone, Technical Study 6, International Seabed Authority, Kingston, Jamaica, 105pp,
<http://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Pubs/GeoMod-web>.
- JANKOWSKI L., 2006 – Independent Technical Assessment of Sea Floor Massive Sulfide Exploration Tenements in Papua New Guinea, Fiji and Tonga, Report prepared for Nautilus Minerals Inc, prepared by SRK Consulting, Document No. NAT002, December 2006.
- KATO Y., FUJINAGA K., NAKAMURA K., TAKAYA Y., KITAMURA K., OHTA J.,

- TODA R., NAKASHIMA T., IWAMORI H., 2011 – Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience*, 4: 535–539.
- KOSCHINSKY A., HEIN J.R., 2003 – Acquisition of elements from seawater by ferromanganese crusts: solid phase associations and seawater speciation. *Mar. Geol.* 198, 331–351.
- LE SUAVÉ R., PICHOCKI C., PAUTOT G., HOFFERT M., MOREL Y., VOISSET M., MONTI S., AMOSSÉ J., KOSAKEVITCH A., 1989 – Geological and mineralogical study of Co-rich ferromanganese crusts from a submerged atoll in the Tuamotu Archipelago (French Polynesia). *Mar. Geol.*, 87: 227-247.
- LE SUAVÉ R., PICHOCKI C., PAUTOT G., HOFFERT M., MOREL Y., VOISSET M., MONTI S., AMOSSÉ J., KOSAKEVITCH A., 1989 – Geological and mineralogical study of Co-rich ferromanganese crusts from a submerged atoll in the Tuamotu Archipelago (French Polynesia). *Mar. Geol.*, 87: 227-247.
- LIPTON I., 2008 – Mineral Resource Estimate Solwara 1 Project Bismarck Sea Papua New Guinea for Nautilus Minerals Inc, Golder Associates report.
- MATSON J., 2011 – Experts Skeptical about Potential of Rare Earth Elements in Seafloor Mud: *Scientific American*.
- MORGAN C., 2000 – Resource estimates of the Clarion-Clipperton Mn-nodule deposits. In: Cronan, D. (Ed.) *Handbook of marine mineral deposits*. CRC, Boca Raton, pp 145–170.
- MORGAN C., 2012 – A geological model of polymetallic nodule deposits in the Clarion–Clipperton fracture zone, ISA Briefing Paper 1/12, International Seabed Authority, Kingston Jamaica, 12p.
- Nautilus Minerals, 2011 – Solwara 1 Project – high grade copper and gold, Nautilus Mining Company, Toronto, Canada, 2p.
- Nautilus Minerals : Inc <http://www.nautilusminerals.com/s/Projects-Solwara.asp>
- PICHOCKI C., HOFFERT M., 1987 – *Characteristics of co-rich ferromanganese nodules and crusts sampled in French Polynesia*. *Marine Geology*, 77 (1987) 109 119 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. p. 109-119
- SCHLANGER S. O., 1974 – "Hesting a hot-spot theory (Leg 33, Deep Sea Drilling Project)." *Geotimes* 19(3): 16-20.
- SCOTT S.D., 2001 – Deep Ocean Mining. *Geoscience Canada* , 28: 87-94.

USUI A., OKAMOTO N., Geophysical and geological exploration of cobalt-rich ferromanganese crusts: An Attempt of Small-Scale Mapping on a Micronesian Seamount. *Marine Georesources and Geotechnology* 28(3):192-206. DOI: 10.1080/10641190903521717

USUI A., SOMEYA M., 1997 – Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. In: Nicholson, K., Hein, J.R., Bühn, B., Dasgupta, S. (Eds.), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Geological Society of London Special Publication No. 119, London, pp. 177–198.

I-3. Opportunités économiques

P. CHRISTMANN, N. ARNDT ; P. COCHONAT, V. GERONIMI

Cette section présente le potentiel économique que pourraient représenter les encroûtements cobaltifères de Polynésie française, en le comparant aux données publiques disponibles sur les ressources « à terre ». Elle comprend aussi les caractéristiques les plus importantes des marchés des principaux¹ métaux qu'ils contiennent. Dans sa partie finale elle compare les opportunités que pourraient représenter leur exploitation par rapport à celle de gisements « à terre ».

Chacune des sous-sections ci-dessous présente une synthèse d'informations relatives au marché des principales matières premières, en termes de valeur, contenu dans les encroûtements cobaltifères : cobalt, manganèse, nickel et titane.

Pour chacune de ces matières premières, un graphe représente l'évolution historique des cours moyens annuels en US \$ constants, valeur 1998 (source des données : Kelly et Matos, 2015). La base 100 est fixée en 1998, le coefficient déflateur choisi étant le « *Consumer Price Index* » (index des prix à la consommation) des États-Unis.

Le tableau 1 ci-dessous indique les valeurs de ce coefficient depuis 1900 jusqu'à 2013.

Note importante : la rédaction de cette section tient compte des conditions économiques prévalant sur les marchés des matières premières minérales en août 2015. Ces marchés sont fortement baissiers et les cours de nombreuses matières premières minérales sont actuellement à un niveau très

¹ « principal » s'entendant pour un métal représentant au moins 5% de la valeur, aux conditions économiques prévalant en août 2015, d'un encroûtement cobaltifère moyen, tel que défini dans cette section.

bas, parfois inférieurs à ce qu'ils étaient avant le démarrage, en 2002, du super cycle haussier tiré par la très rapide croissance chinoise. Ce super cycle est affecté par le ralentissement de cette même croissance et les diverses incertitudes économiques pesant sur ce pays.

Cependant, cette photographie du marché à un moment déterminé ne peut pas remplacer une analyse de long terme. Le fort ralentissement de l'industrie minière observé depuis 2013 se traduit notamment par une forte baisse des dépenses d'exploration, les sociétés minières cherchant à réduire au maximum leurs coûts.

Dans un contexte mondial de croissance démographique continue, d'aspiration de franges croissantes de la population mondiale à davantage de bien-être matériel, les surcapacités de productions actuelles vont petit à petit être résorbées. Cela peut prendre quelques années, mais ensuite pourrait apparaître un déficit de capacité de production par rapport à la demande, entraînant la hausse des cours et relançant un nouveau cycle positif pour l'industrie minière mondiale. L'existence de nombreux instruments financiers permettant de spéculer sur les matières premières minérales, les mutations de plus en plus rapides des technologies consommatrices de matières premières minérales devraient continuer d'accélérer la volatilité des marchés dans les années à venir.

Les sous-sections consacrées au cobalt, au manganèse, au nickel et au titane comprennent des références au taux annuel de croissance moyen (TACM) glissant de la production. L'utilisation du terme « glissant » indique, par exemple, qu'au lieu de prendre l'année N et l'année N-10 comme bornes pour le calcul du TACM sur 10 ans (méthode classique de calcul), ce seront les moyennes entre des années N à N-2 et N-10 à N-12 respectivement qui seront prises en considération pour le calcul du TACM glissant. Le calcul du TACM étant déterminé par la valeur des bornes, l'utilisation de la moyenne glissante permet de réduire l'incidence d'une forte variation annuelle de la valeur de l'une de ces bornes.

Tableau 1 – Valeur du coefficient déflateur utilisé pour calculer les prix des matières premières minérales en US\$ constants, valeur 1998. Déflateur utilisé : « United States Consumer Price Index » - Colonne A: année, colonne B: valeur du coefficient. Source des données : <http://www.bls.gov/cpi/>

a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1900	20.00	1920	8.13	1940	11.65	1960	5.50	²	1.97	2000	0.95
1901	19.35	1921	9.09	1941	11.09	1961	5.47	1981	1.79	2001	0.92
1902	19.15	1922	9.71	1942	10.00	1962	5.40	1982	1.69	2002	0.91
1903	18.14	1923	9.52	1943	9.43	1963	5.32	1983	1.64	2003	0.89
1904	18.14	1924	9.53	1944	9.26	1964	5.26	1984	1.57	2004	0.86
1905	18.14	1925	9.34	1945	9.09	1965	5.18	1985	1.51	2005	0.84
1906	18.14	1926	9.17	1946	8.33	1966	5.02	1986	1.49	2006	0.81
1907	17.14	1927	9.35	1947	7.31	1967	4.88	1987	1.43	2007	0.79
1908	18.15	1928	9.52	1948	6.76	1968	4.69	1988	1.38	2008	0.76
1909	18.14	1929	9.52	1949	6.85	1969	4.44	1989	1.32	2009	0.76
1910	17.01	1930	9.81	1950	6.75	1970	4.19	1990	1.25	2010	0.72
1911	17.01	1931	10.71	1951	6.25	1971	4.03	1991	1.20	2011	0.73
1912	17.01	1932	11.90	1952	6.13	1972	3.92	1992	1.16	2012	0.71
1913	16.52	1933	12.53	1953	6.10	1973	3.68	1993	1.13	2013	0.70
1914	16.26	1934	12.16	1954	6.06	1974	3.31	1994	1.10		
1915	16.15	1935	11.90	1955	6.10	1975	3.03	1995	1.07		
1916	14.90	1936	11.72	1956	5.99	1976	2.86	1996	1.04		
1917	12.74	1937	11.32	1957	5.82	1977	2.68	1997	1.02		
1918	10.80	1938	11.57	1958	5.65	1978	2.51	1998	1.00		
1919	9.43	1939	11.72	1959	5.59	1979	2.25	1999	0.98		

1. Sources d'informations relatives aux matières premières minérales

Des informations plus détaillées sur les marchés des matières premières que ce qui est donné ci-dessous sont disponibles, notamment auprès des fédérations industrielles internationales mentionnées ci-dessous :

- **pour le cobalt** : chaque année Darton Commodities publie un panorama détaillé du marché du cobalt, très documenté avec de nombreuses données statistiques. Ce document est disponible gratuitement sur demande via le site Internet : <http://www.dartoncommodities.co.uk>. Le Cobalt Development Institute, fédération industrielle internationale du cobalt (<http://www.thecdi.com/cobaltnews.php>) publie une lettre d'information trimestrielle. Le BRGM (Audion et al., 2013) a publié une monographie très détaillée sur le marché du cobalt disponible en ligne (voir bibliographie),
- **pour le manganèse**, la fédération internationale est l'International Manganese Institute (<http://manganese.org>). Elle publie un rapport sur les principales applications du manganèse et leur importance socio-économique. Elle rend disponible sur son site internet les présentations faites lors de la conférence mondiale sur le manganèse qu'elle organise chaque année,
- **pour le nickel**, l'International Nickel Study Group (<http://www.insg.org>) est la fédération internationale des producteurs de nickel. Elle fournit de nombreux documents et statistiques sur le nickel, beaucoup étant payants,
- **pour le titane**, l'International Titanium Association (<http://www.titanium.org>) fournit de nombreuses données relatives aux marchés titane, dont des statistiques et l'accès aux présentations données lors de la conférence annuelle sur le titane organisé par cette fédération. L'**Association française du titane** (<http://www.titane.asso.fr>) fournit également nombre d'informations sur les marchés du titane.

En complément il existe des études spécialisées vendues par des cabinets de conseil spécialisés tels que CRU, Roskill ou Wood MacKenzie (anciennement Brook Hunt). Certaines de ces sociétés de conseil et d'intelligence économique se sont parfois spécialisées sur une seule ou un nombre très limité de matières premières, comme c'est le cas par exemple pour TZMI, société spécialisée dans l'étude du marché du titane et du zircon (www.tzmi.com). Ces études très détaillées, généralement régulièrement actualisées, comportent de nombreuses informations sur les marchés de ces métaux et leurs acteurs.

La Société Chimique de France publie sur son site Internet des fiches détaillées, riches en information, présentant notamment les procédés et filières de production de différents métaux et matériaux d'origine minérale :

- cobalt (2014):
- <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/co/cadco.htm>
- manganèse (2014):
- <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/mang/cadman.htm>
- nickel :
- <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/ni/cadni.htm>
- oxyde de titane (2013) :
- <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/mine/tio2/cadtio2.htm>
- titane métal (2014) :
- <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/ti/cadti.htm>

Le site d'informations minérales public français www.mineralinfo.fr fournit également l'accès à de nombreuses informations relatives aux matières premières minérales dont les monographies produites par le BRGM ainsi que des statistiques mondiales sur la production et consommation d'une gamme de métaux.

La Commission Européenne a, en 2014, publié sa seconde édition sur les métaux critiques pour l'Union Européenne (Ad-hoc working group on defining critical raw materials, 2014)

2. Composition moyenne et potentiel économique des encroûtements cobaltifères

Les analyses multi-éléments d'encroûtements cobaltifères de Polynésie française correspondant à 35 prélèvements réalisés en 1986, lors des campagnes NODCO 1 et 2, sur le plateau des Tuamotu (Martel-Jantin, 2001) (tableau 2) ainsi que 9 prélèvements de la campagne Polydrag et 25 prélèvements de la campagne Zepolyf 2 (voir le tableau 2).

Les échantillons ont été obtenus par dragage, chaque dragage pouvant représenter une surface de plus de 1 000 km². On est donc encore très loin de la précision nécessaire pour évaluer les ressources d'un gisement, qui nécessite une connaissance fine de la distribution des teneurs et de l'épaisseur des encroûtements. L'acquisition de cette connaissance nécessite le recours à des forages sous-marins courts (quelques dizaines de centimètres par forages suffiront), mais nombreux puisqu'une maille de 100 m par 100 m paraît être un minimum à envisager pour une première étape de l'exploration, maille qui serait à resserrer fortement par la suite si les résultats espérés sont au rendez-vous.

Les analyses réalisées sur les échantillons de la campagne NODCO comportent un nombre limité d'éléments mais celles des campagnes Polydrag et Zepolyf 2 comportent davantage d'éléments analysés. Afin de fournir un panorama le plus complet possible sur le potentiel économique des encroûtements cobaltifères, le tableau 2 ci-dessous intègre, lorsque les analyses de ces éléments ne figurent pas dans le rapport Martel-Jantin *et al.* (2011), les résultats analytiques moyens pour les encroûtements cobaltifères de la zone Pacifique Sud, publiés par Hein (2013).

Il ressort de ce tableau que 89 % de la valeur est contenue dans seulement cinq métaux, par ordre d'importance : manganèse, cobalt, titane, nickel et platine. La valeur « in-situ » totale d'un tel minerai est de 1 026 US\$/tonne, une valeur très élevée équivalente à environ un minerai de cuivre à 20 % Cu, soit une richesse absolument exceptionnelle, bien au-delà des environ 1 % de teneur en cuivre exploités, en moyenne à l'heure actuelle. Cette valeur ne pourra cependant être obtenue que si ces métaux purs sont produits. L'exemple du manganèse (voir note infrapaginale et la section 5, relative au marché du manganèse) illustre bien l'importance de ce point.

Tableau 1 - Composition moyenne des encroûtements cobaltifères du plateau des Tuamotu, (Polynésie Française, ligne avec la mention (b) dans la colonne « source des données ») et du Pacifique Sud (mention (a) dans la colonne « source des données ») et valeur des métaux contenus (cours au 21/08/2015) dans une tonne d'encroûtement sec, en US\$ – Source des analyses: Hein et al. (2013), source des prix : metal-pages.com

Encroûtements à Mn-Co du Pacifique Sud - Source des données : (a) Martel-Jantin et al., (b) 2011, Hein, 2013					
Élément	Source des données	Nombre d'échantillons analysés	Prix du métal contenu (en US\$/kg)	Teneur moyenne (en kg/t),	Valeur par tonne métrique d'encroûtement sec
Cérium	(b)	75	6,20	0,82	5,07
Cobalt	(a)	35	29,19	10,58	308,86
Cuivre	(a)	35	5,06	1,05	5,33
Dysprosium	(b)	30	323,00	0,04	13,15
Europium	(b)	75	445,00	0,02	7,79
Fer (fonte)	(b)	35	0,25	165,00	40,84
Manganèse	(a)	35	1,78	257,03	457,52 ²
Néodyme	(b)	67	54,50	0,18	10,03
Nickel	(a)	35	10,39	6,06	62,93
Oxyde de molybdène	(b)	67	12,78	0,63	8,01
Platine	(a)	35	32826	0,0008	24,62
Tellure	(b)	38	80,00	0,04	3,04
Terbium	(b)	53	767,20	0,01	4,59
Titane	(b)	230	5,72	11,20	64,06
Zirconium	(b)	46	13,75	0,75	10,37
Valeur totale contenue >>>					1 026,20

² Cette valeur ne serait cependant que de 56 \$/ tonne sur la base d'un prix de la *Dry Metric Tonne Unit* de manganèse de 2,18 US\$ par DMTU, s'il n'est possible de produire que du minerai de manganèse.

L'évaluation des prix figurant dans le tableau 2 est fondée sur les prix connus fin août 2015. Ces prix, à l'exception du cobalt, dont le prix est relativement stable, reflètent un marché fortement baissier, voire un plus bas depuis plusieurs décennies (voir détails dans les sous-sections consacrées aux principaux métaux présents dans les encroûtements). Il faut noter que ces prix sont ceux de métaux purs, pas du minerai. Ces prix ne représentent en aucun cas la valeur qui pourrait être générée par la mise en exploitation de cette ressource, ni les bénéfices qui pourraient en être retirés par telle ou telle partie prenante concernée par leur mise en valeur. Ils ne sont en aucun cas synonymes de la création d'une rente minière au profit de la Polynésie française.

Par rapport aux prix au 20 juin 2014, utilisés lors de la présentation faite à l'atelier initial de l'expertise collégiale, pour les métaux principaux, les variations sont :

- cobalt : - 3 %,
- manganèse : - 23 %
- nickel : - 42 %
- titane : - 9 %

L'évolution des prix moyens annuels est indiquée, en US \$ constants, dans chaque sous-section consacrée à l'un de ces métaux. Elle est donnée pour deux périodes de référence, respectivement de 10 ans (2004 à 2013) et de 30 ans (1984 à 2013). Les prix de la première période sont fortement influencés par le super cycle de la croissance chinoise, la seconde période représente davantage l'évolution moyenne de l'économie mondiale. Un graphique présente l'évolution des prix depuis 1950, exprimée en moyenne annuelle.

3. Absence d'intérêt des terres rares contenues dans les boues sédimentaires

L'examen des données publiées par Kato *et al.* montre une grande hétérogénéité des teneurs en terres rares observées dans les 78 forages réalisés, la somme des terres rares contenues, en moyenne dans un forage, variant entre moins de 250 gr/t et 2 228 g/t (sondage 597 A, situé à l'est des îles Gambier, en dehors des limites de la ZEE de Polynésie française, coordonnées du sondage : 18°48.43'S, 129°46.22'W).

L'hétérogénéité est également grande dans un même sondage. Dans le sondage 597A, par exemple, la teneur en terres rares totales, analysée sur 54 passes de 2 cm varie entre 34 g/t et 2 228 g/t, la teneur moyenne du forage étant de 230 g/t. Deux passes seulement, consécutives, situées à 37 et 64 cm sous la surface du plancher océanique, dépassent les 2 000 g/t (0,2 %) de terres rares contenues, avec respectivement 107 et 106 g/t de dysprosium, 21 et 20 g/t d'europium (tableau 3)

Ces deux passes pourraient matérialiser une lentille enrichie de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur.

Tableau 3 – Analyses des terres rares contenues dans les deux meilleurs passes des 78 forages réalisés dans les boues sédimentaires du Pacifique (Kato *et al.*, 2011)

Référence du sondage	597A	597A
Intervalle (en cm)	37-39	64-66
Profondeur, en mètres sous le plancher océanique	0.38	0.65
La (g/t)	347	364
Ce	114	100
Pr	83.9	83.7
Nd	348	344
Sm	78.2	75.2
Eu	21.0	20.4
Gd	105	102
Tb	15.6	15.3
Dy	107	106
Ho	24.1	24.0
Er	72.2	72.8
Tm	10.00	10.0
Yb	62.6	62.8
Lu	9.83	9.89
Y	815	838
Teneur totale, en g/t >	2 213	2 228

Ces teneurs sont très modestes par rapport à celles observées dans de nombreux gisements « à terre ».

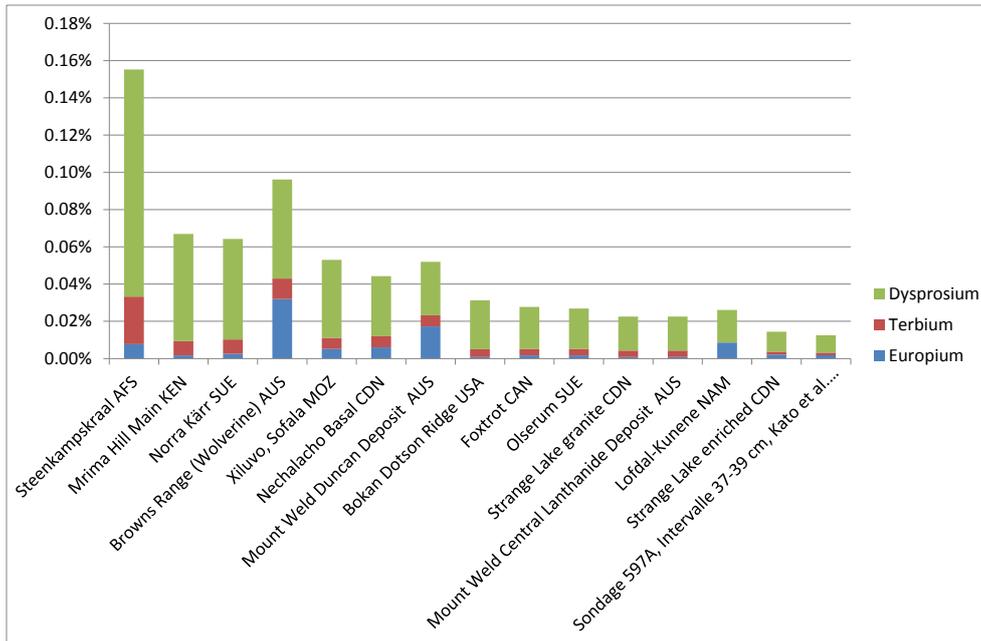


Figure 1 – Comparaison de la teneur en dysprosium, europium et terbium (les 3 terres rares les plus chères, les plus recherchées) dans la meilleure passe minéralisée observée par Kato et al. (2011) parmi 78 forages réalisés dans les boues sédimentaires abyssales du Pacifique, avec les gisements terrestres à teneurs supérieures.

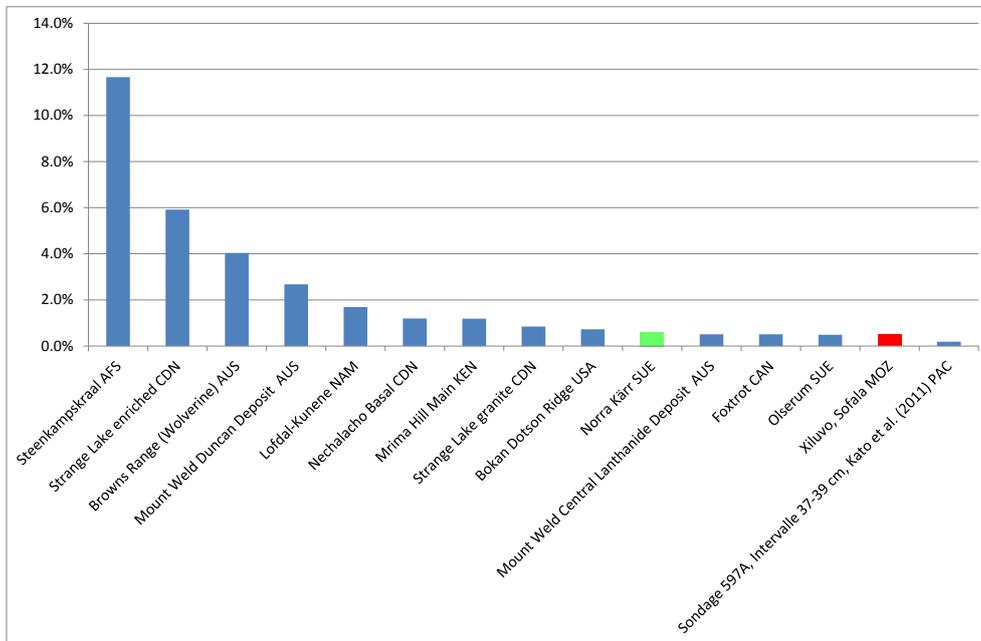


Figure 2 – Comparaison des teneurs totales en terres rares de la meilleure passe de Kato et al. (2011) avec les teneurs totales en terres rares des gisements de la figure 1.

Les figures 1 et 2, présentées lors de l’atelier initial, montrent qu’il existe de nombreux gisements à terre ayant de nettement meilleures teneurs en terres rares que celles observées dans les boues sédimentaires du Pacifique par Kato *et al.* Ces teneurs de gisements à terre sont solidement documentées par des études de type NI 43–101. Seul le gisement de Mount Weld (Australie) est actuellement exploité.

Le tableau 4 compile les teneurs moyennes en terres rares de 47 indices et gisements « à terre » pour lesquels les sociétés minières détentrices des droits d’exploration ou d’exploitation ont publié un calcul de ressources. La totalité de cette ressource représente environ 200 ans de consommation mondiale actuelle. Il présente une analyse comparative détaillée des teneurs en métaux du groupe des terres rares qui représentent aujourd’hui l’essentiel du marché de ces éléments (dysprosium, europium, terbium, déjà mentionnés, ainsi que le néodyme et le praséodyme, indispensables à la production des aimants permanents aux terres rares, les plus performants des aimants permanents connus actuellement). Les cellules surlignées représentent des valeurs inférieures aux meilleures passes observées par Kato *et al.* (2011), les cellules surlignées en vert représentent des teneurs supérieures.

Dans ces conditions, en l’état actuel des connaissances disponibles, il est peu probable qu’un investisseur se manifeste pour chercher à développer l’exploitation des terres rares contenues dans les boues sédimentaires.

Tableau 4 - Teneurs en terres rares de 47 gisements terrestres pour lesquels un calcul de ressources a été publié. Les teneurs surlignées en vert sont supérieures aux meilleures valeurs publiées par Kato *et al.* (2011) pour les boues sédimentaires du Pacifique. Les teneurs surlignées en rose sont inférieures.

Nom du gisement	Pays	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	TR totales
Araxa	Brésil	1.006	1.693	0.157	0.500	0.054	0.009	0.026	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	3.494
Ashram Main	Canada	0.422	0.720	0.075	0.269	0.034	0.008	0.018	0.002	0.007	0.001	0.002	-	0.001	-	0.024	1.582
Ashram MHREO	Canada	0.302	0.578	0.067	0.260	0.042	0.011	0.027	0.003	0.014	0.019	0.004	0.000	0.002	0.000	0.050	1.379
Bear Lodge	USA	0.635	0.972	0.113	0.425	0.072	0.016	0.039	0.003	0.010	0.001	0.002	-	0.001	-	0.028	2.318
Bokan Dotson Ridge	USA	0.060	0.138	0.017	0.072	0.019	0.002	0.020	0.003	0.023	0.005	0.012	0.002	0.009	0.001	0.124	0.507
Brockman	Australie	0.003	0.011	0.002	0.006	0.004	-	0.006	0.002	0.017	0.003	0.015	0.002	0.012	0.002	0.088	0.172
Browns Range (Wolverine)	Australie	0.015	0.036	0.005	0.024	0.014	0.003	0.036	0.008	0.053	0.012	0.034	0.005	0.028	0.004	0.320	0.597
Buckton	Canada	0.004	0.007	0.001	0.003	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.021
Charley Creek	Australie	0.004	0.009	0.001	0.003	0.001	-	0.001	-	0.001	-	-	-	-	-	0.003	0.023
Dubbo Zirconia Project	Australie	0.148	0.267	0.030	0.108	0.016	0.001	0.016	0.003	0.016	0.003	0.009	0.001	0.008	0.001	0.111	0.737
Eco Ridge	Canada	0.032	0.058	0.006	0.020	0.003	-	0.003	-	0.002	-	0.001	-	0.001	-	0.006	0.131
Elliot Lake Teasdale	Canada	0.041	0.072	0.007	0.024	0.004	-	0.003	-	0.002	-	0.001	-	0.001	-	0.006	0.160
Foxtrot	Canada	0.156	0.317	0.036	0.137	0.025	0.001	0.020	0.003	0.018	0.003	0.010	0.002	0.009	0.002	0.102	0.843
Glenover	Afrique du S.	0.306	0.778	0.101	0.406	0.065	0.016	0.037	0.003	0.014	0.002	0.003	-	0.002	-	0.043	1.776
Grande-Vallée	Canada	0.008	0.015	0.002	0.008	0.002	-	0.001	-	0.001	-	0.001	-	0.001	-	0.005	0.042
Hoidas Lake	Canada	0.419	0.912	0.118	0.424	0.056	0.011	0.026	0.003	0.007	-	0.005	-	0.001	-	0.022	2.003
Kangankunde	Malawi	1.076	1.717	0.165	0.509	0.039	0.007	0.013	0.003	0.003	-	0.001	-	-	-	-	3.532
Kipawa	Canada	0.050	0.097	0.012	0.047	0.011	0.001	0.010	0.002	0.013	0.003	0.009	0.001	0.008	0.001	0.074	0.340
Kutessay II	Kirghizie	0.038	0.042	0.008	0.019	0.009	0.001	0.008	0.003	0.014	0.001	0.008	0.001	0.008	0.001	0.055	0.216
Kvanefjeld	Groenland	0.248	0.361	0.036	0.117	0.015	0.001	0.010	0.002	0.010	0.002	0.005	0.001	0.004	0.002	0.064	0.878
La Paz	USA	0.007	0.014	0.002	0.006	0.001	-	0.001	-	0.001	-	-	-	-	-	0.004	0.035
Lavergne-Springer	Canada	0.265	0.436	0.046	0.159	0.019	0.004	0.010	0.001	0.004	0.001	0.002	-	0.001	-	0.020	0.969
Lofdal-Kunene	Namibie	0.018	0.032	0.003	0.014	0.006	0.005	0.023	0.006	0.042	0.010	0.027	0.004	0.025	0.004	0.269	0.487
Montviel	Canada	0.317	0.583	0.062	0.207	0.022	0.004	0.007	0.001	0.002	-	0.001	-	-	-	0.006	1.211

Mount Weld Central Lanthanide Deposit	Australia	1.981	3.765	0.416	1.512	0.204	0.045	0.092	0.008	0.021	0.003	0.005	0.001	0.003	-	0.058	8.113
Mount Weld Duncan Deposit	Australie	1.025	1.550	0.190	0.742	0.118	0.032	0.083	0.011	0.053	0.008	0.017	0.002	0.008	0.001	0.197	4.037
Mountain Pass	USA	1.859	2.625	0.233	0.676	0.046	0.006	0.011	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	5.471
Mrima Hill Main	Kenya	0.674	1.118	0.119	0.423	0.061	0.017	0.046	0.006	0.029	0.005	0.013	0.002	0.009	0.001	0.149	2.672
Nechalacho Basal	Canada	0.198	0.423	0.055	0.222	0.047	0.006	0.043	0.006	0.032	0.006	0.014	0.002	0.011	0.002	0.125	1.192
Nechalacho Upper Zone	Canada	0.218	0.462	0.059	0.243	0.056	0.007	0.053	0.009	0.049	0.009	0.024	0.004	0.019	0.003	0.198	1.412
Ngualla-Mbeya full deposit at 1% COGR	Tanzanie	0.108	1.182	0.118	0.421	0.043	0.009	0.020	0.002	0.004	0.001	0.002	-	0.000	-	0.011	1.921
Niobec	Canada	0.313	0.582	0.066	0.237	0.027	0.006	0.013	0.001	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.008	1.257
Nolans Bore	Australia	0.364	0.846	0.106	0.396	0.045	0.008	0.020	0.002	0.006	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.022	1.819
Norra Kärr	Suède	0.047	0.101	0.013	0.056	0.015	0.002	0.017	0.003	0.023	0.005	0.016	0.002	0.015	0.002	0.169	0.488
Olserum	Suède	0.071	0.154	0.019	0.077	0.018	0.001	0.018	0.003	0.018	0.003	0.010	0.002	0.010	0.002	0.102	0.509
Round Top	USA	0.002	0.007	0.001	0.003	0.001	-	0.001	-	0.003	0.001	0.003	0.001	0.005	0.001	0.022	0.051
Sarfartoq	Groenland	0.316	0.698	0.082	0.277	0.028	0.006	0.015	0.001	0.003	-	-	-	-	-	0.006	1.430
Serra Verde	Brasil	0.030	0.045	0.006	0.018	0.003	-	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002	-	0.002	-	0.020	0.132
Songwe Hill	Malawi	0.310	0.536	0.059	0.207	0.030	0.007	0.017	0.002	0.010	0.002	0.003	0.001	0.003	-	0.043	1.231
Steenkampskraal	Afrique du Sud	3.462	7.253	0.828	2.984	0.474	0.009	0.330	0.034	0.166	0.026	0.052	0.004	0.018	0.002	0.630	16.271
Storkwitz	Germany	0.106	0.179	0.019	0.055	0.005	0.001	0.004	0.001	0.001	-	0.001	-	0.001	-	0.005	0.377
Strange Lake enriched	Canada	0.128	0.293	0.032	0.120	0.031	0.002	0.034	0.008	0.058	0.013	0.043	0.007	0.045	0.006	0.370	1.189
Strange Lake granite	Canada	0.102	0.220	0.025	0.094	0.021	0.001	0.020	0.004	0.026	0.006	0.018	0.003	0.018	0.003	0.162	0.724
Tantalus/ Antsirabe	Madagascar	0.049	0.074	0.009	0.033	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.023	0.212
Xiluvo+ Sofala	Mozambique	0.375	0.765	0.083	0.300	0.043	0.009	0.026	-	0.017	-	0.009	-	-	-	0.063	1.690
Yangibana	Australie	0.266	0.593	0.076	0.265	0.032	0.007	0.016	0.001	0.003	-	0.001	-	-	-	0.006	1.267
Zandkopsdrift	Afrique du Sud	0.483	0.800	0.085	0.304	0.044	0.011	0.028	0.003	0.015	0.003	0.006	0.001	0.004	0.001	0.072	1.860

4. Le marché du cobalt (24 % de la valeur économique moyenne des encroûtements)

Dans un contexte 2015 très fortement baissier pour de nombreux métaux, notamment le fer et les métaux d'alliage du fer, dont les marchés sont très exposés au ralentissement de l'économie, les cours du cobalt font preuve d'une très bonne résistance.

Le marché du cobalt est très dynamique, sous-tendu par les nombreux usages du métal. Le segment qui connaît actuellement la plus forte croissance est celui de la production des batteries Li-ion, un secteur en très forte croissance avec un taux annuel de croissance moyen (TACM) actuel de 20 %. Le cobalt entre dans la composition de deux des quatre types de cathodes actuellement utilisées pour la production des batteries Li-ion : les cathodes lithium-oxyde de cobalt (LCO) et les cathodes lithium + oxydes de nickel-manganèse et cobalt (NMC). D'après le scénario sur l'évolution 2000-2025 des parts de marché des différents types de cathodes produites par la société de conseil spécialisée dans le marché mondial des batteries, Avicenne Consulting, les batteries Li-ion auraient nécessité un peu plus de 19 000 t de cobalt en 2013, soit 22 % de la production de cobalt. Le cobalt entre également dans la composition des batteries NiCd (1 à 5 % Co) et NiMh. Roskill (2014) estime qu'en 2013 le marché des batteries a absorbé 35 % de la production de cobalt. En 2025, le besoin en cobalt pour le seul segment des batteries Li-ion pourrait atteindre 72 800 t, un TACM de 10,8 %.

Le cobalt est également indispensable à d'autres applications de haute technologie telles que les superalliages utilisés notamment dans la partie chaude des turbines d'avion et des turbines à gaz pour la production d'électricité, placages pour protéger des alliages plus sensibles de la corrosion, des hautes températures, de l'érosion. Il entre également dans la composition d'alliages Co-Cr-Mo (Ni) pour la production de prothèses des hanches et des genoux. Le cobalt est également un élément de choix pour la production d'aimants (aimants AlNiCo, SmCo).

La substitution du cobalt dans les batteries Li-ion par d'autres chimies de la cathode ne peut se faire qu'au prix de performances plus faibles, en l'état actuel des technologies industrielles (baisse de la densité énergétique et donc de l'autonomie des véhicules). Le cobalt est difficilement substituable dans les superalliages sans baisse des performances, par contre

l'alliage NdFeB, sans cobalt, possède de bien meilleures propriétés magnétiques que les alliages à base de cobalt, qui demeurent cependant attractifs à cause de leurs coûts moindres.

Le prix spot moyen du cobalt observé en août 2015 est de 29 860 US \$/tonne pour des cathodes coupées, d'origine russe, titrant 99,3 % de Co. Ce prix est légèrement en-dessous des prix moyens sur 10 ans (2004 à 2013) : 30 700 US \$/tonne et sur 30 ans (1984 à 2013) : 32 707 US\$/ tonne. Exprimé en \$ US constants, valeur de 1998, il ne faudrait que 20 902 US\$/tonne, un niveau de prix comparable à ce qui était observé au début des années 1970. La figure 3 ci-dessous représente l'évolution du prix annuel moyen du cobalt depuis le milieu du XXe siècle. Malgré une forte envolée de la demande de la production, ces prix primaires en monnaie constante sont pratiquement inchangés depuis plus d'un demi-siècle, la croissance chinoise n'ayant pour le moment eu qu'un impact très temporaire sur la progression des cours du cobalt.

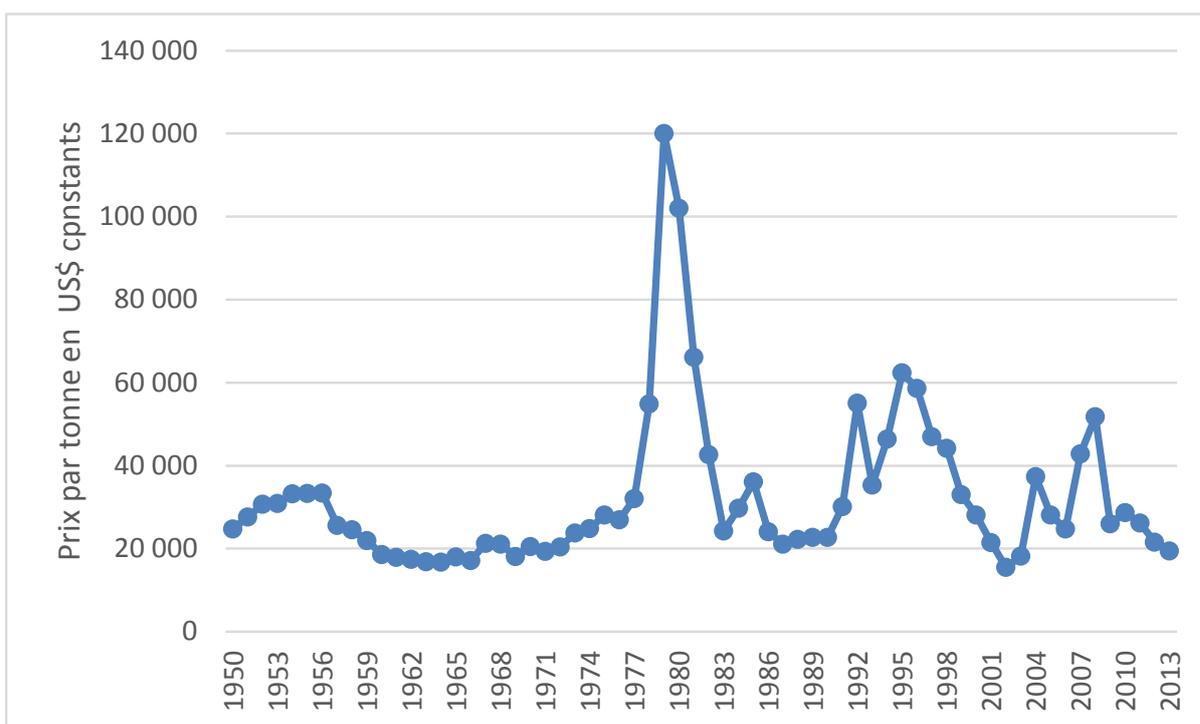


Figure 1 – Évolution de la moyenne annuelle des prix du cobalt en US \$ constants, valeur 1998 – source des données : USGS data series 140

Les prix du cobalt sont très volatils, la matérialisation d'événements d'ordre géopolitique en Chine ou en République démocratique du Congo pouvant entraîner une flambée rapide des cours. C'est déjà la situation

politique volatile en République démocratique du Congo qui a provoqué la crise du cobalt à la fin des années 1970, dont l'effet sur les prix est bien visible sur le diagramme ci-dessus (figure 3). De nouvelles flambées de prix comparables, ou encore plus accentuées du fait du développement rapide d'instruments financiers spéculatifs survenus entre temps, peuvent se reproduire tant que ce pays est en situation dominante pour la production minière de cobalt.

La demande en cobalt devrait demeurer soutenue dans les années à venir. Le TACM glissant sur 10 ans de la production minière de cobalt est de 6,7 % pour la période 2004-2013 (bornes incluses), l'un des plus élevés de tous les métaux. Il atteint environ 3,9 %/an pour la période de 30 ans de 1984 à 2013, là aussi un rythme de croissance important.

La production mondiale de cobalt 2013 contenu dans les minerais (production minière) a été de 110 000 tonnes, alors que la production mondiale de cobalt raffiné était de 86 298 tonnes, la différence entre les deux chiffres s'expliquant par des effets de stocks (non documentés) et par une récupération du cobalt à partir des produits intermédiaires inférieure à 100 %. Il s'agit donc d'un marché très étroit, ce qui a d'importantes implications pour un éventuel projet d'exploitation en Polynésie française. Un tel projet ne devrait pas viser une production sensiblement supérieure à 10 000 tonnes de cobalt métal par an afin de ne pas bouleverser le marché du cobalt. Et même à ce niveau de production, il faudra démontrer que les coûts de production à partir des encroûtements polynésiens, amortissements, impôts et taxes compris, sont compétitifs par rapport à ceux de la production de cobalt à partir des minerais de nickel latéritique ou de cuivre de la République démocratique du Congo ou de la Zambie. Une surproduction du cobalt à partir de la Polynésie française pourrait faire fortement baisser les cours du cobalt et affaiblir les perspectives de rentabilité du projet.

Cependant l'évolution rapide du marché du cobalt (+3,9 % par an au cours des 30 dernières années) pourrait offrir un créneau d'opportunités pour le développement de production de cobalt à partir des encroûtements polynésiens, du fait de la nature de sous-produit du nickel et du cuivre de la production de cobalt à terre. En effet la poursuite d'une forte augmentation de la demande en cobalt ne peut se faire que si la production de cuivre et/ou de nickel est en mesure de suivre au même rythme. Ceci est loin d'être sûr, et un déficit de l'offre en cobalt pourrait en résulter.

Le tableau 5 indique les 5 premiers pays producteurs en 2013 et leur quote-part dans la production minière mondiale.

Tableau 5 – Principaux pays producteurs miniers de cobalt en 2013 – Source des données : Kelly et Matos (2015)

	Production minière 2013, en t Co contenu	Part de la production minière mondiale
Rép. démocratique du Congo	58 792	54%
Chine	8 000	7%
Canada	6 916	6%
Australie	6 398	6%
Zambie	5 658	5%

Le cobalt est essentiellement un coproduit ou un sous-produit³ de la production de cuivre (principalement) ou de nickel. Un seul gisement est spécifiquement exploité pour le cobalt. Il s’agit de la mine de Bou Azzer, au Maroc. Sa production ne représente que 1 % de la production mondiale.

La production du cobalt se fait en plusieurs étapes :

1. L’extraction minière ;
2. La production d’un concentré de cuivre-cobalt, d’une matte de nickel-cobalt ou d’un alliage cuivre-cobalt ;
3. L’extraction métallurgique du cobalt et son raffinage à partir des produits intermédiaires de la seconde étape.

Si les étapes 1 et 2 ont généralement lieu au même endroit, ou à faible distance l’une de l’autre, l’étape 3 a généralement lieu dans un pays tiers, doté des installations métallurgiques correspondantes. La géographie de la métallurgie du cobalt est très différente de celle de la production minière (tableau 6)

Tableau 6 – Principaux pays producteurs de cobalt raffiné en 2013 – Source des données : Darton Commodities (2015)

	Production de cobalt raffiné 2013, en tonnes	Part de la production mondiale
Chine	37 100	43%
Finlande	10 010	12%
Zambie	5 000	6%
Norvège	3 400	4%
Canada	3 319	4%

³ Voir glossaire, article “coûts d’opération” pour la définition de ces termes.

Les réserves estimées par l'USGS (U.S. Geological Survey, 2015) représentent 84 années de la production mondiale. Sauf événements géopolitiques, manipulations de marché visant à restreindre l'accès au cobalt pour certains pays consommateurs ou événements imprévus affectant l'une des grandes mines productrices (grèves, problèmes d'approvisionnement en énergie), ce niveau de réserves est à considérer comme très élevé. Il ne devrait pas y avoir de problèmes d'approvisionnement du marché mondial en cobalt. Les 5 principaux pays détenteurs de réserves figurent dans le tableau 7 ci-dessous, La République démocratique du Congo détient près de la moitié des réserves mondiales.

Tableau 7 – Principaux pays détenteurs de réserves de cobalt – Source des données : Kelly et Matos (2015)

	Réserves en t Co contenu	Part des réserves mondiales
Rép. démocratique du Congo	3 400 000	47%
Australie	1 100 000	15%
Cuba	500 000	7%
Philippines	270 000	4%
Zambie	270 000	4%

Il y a donc peu à craindre en termes de disponibilité de la ressource, peu de pressions économiques pour rechercher en mer de nouvelles ressources de cobalt. Cependant des opérateurs pourraient être tentés par la mise en valeur de la ressource que représentent les encroûtements cobaltifères vu, d'un point de vue occidental, les risques géopolitiques importants existant du fait de la localisation d'une partie importante des activités de production (République démocratique du Congo) et de raffinage (Chine).

Le cobalt contenu dans les produits en fin de vie est largement recyclé, Gradel *et al.* (2011) estimant que ce taux de recyclage est supérieur à 50 %, ce qui contribue à la disponibilité de ce métal.

Malgré les risques géopolitiques, plusieurs arguments plaident en faveur de l'exploitation des ressources « à terre » :

- des teneurs en cobalt plus élevées dans les gisements de cuivre-cobalt de la République démocratique du Congo et de la Zambie que les teneurs observées jusqu'ici dans les encroûtements cobaltifères, des données étant disponibles dans les publications de plusieurs importants producteurs miniers. Ainsi la teneur en cobalt des réserves de la mine de Mutanda (République démocratique du

Congo) est-elle de 1,82 % (Production 2013 : 13 700 t de Co contenu). Celle de la mine de Tenke-Fungureme (également en République démocratique du Congo) atteint 3,27 % (Production 2013 : 12 751 t de Co contenu). A eux deux ces gisements produisent environ le quart de la production minière de cobalt, ce métal y étant un co-produit de l'exploitation du cuivre. Les teneurs en cobalt sont nettement plus faibles dans les gisements de nickel latéritique : 0,12 % à Moa Bay (Cuba), 0,11 % à Goro (Nouvelle-Calédonie), 0,07 % à Murrin-Murrin (Australie) et 0,1 % à Ramu (Papouasie-Nouvelle Guinée),

- des coûts de production minière nuls, car étant déjà supportés par le cuivre ou le nickel. Beaucoup de sociétés ne publient pas leurs coûts de production du cobalt, ce métal apparaissant dans les comptes comme un crédit (recette supplémentaire). La société snl.com⁴ a cependant pu analyser les coûts de production de sociétés représentant environ 25 % de la production minière mondiale. En 2013, les coûts d'exploitation minière (hors production de concentrés ou de mattes, hors transport et cout de la métallurgie) ont varié entre 1 130 et 16 270 US \$/ tonne de cobalt contenu.

Les seules données disponibles relatives à la ceinture à cuivre de République démocratique du Congo et de Zambie concernent le gisement de Tenke-Fungureme (plus de 10 % de la production minière mondiale de cobalt). Le coût de production 2013 d'une tonne de cobalt est le plus bas des 31 gisements en production pour lesquels ils ont été estimés. Il est estimé à 7 350 US \$/tonne de cobalt produit dont 2 895 US\$ pour l'extraction minière, 3 313 US \$ pour le traitement du minerai, 1 107 \$ pour le transport du produit intermédiaire, la métallurgie et le raffinage du cobalt et au titre des royalties perçues par la République démocratique du Congo.

⁴ Base de données propriétaire et protégée, uniquement accessible sur abonnement

5. Le marché du manganèse (51 % de la valeur économique moyenne des encroûtements)

Le marché du manganèse est étroitement lié à la sidérurgie mondiale, 91 % de la consommation de manganèse étant destinée à la production de l'acier et de superalliages.

Il est utilisé comme additif :

- pour la désoxydation et la désulfuration de l'acier au carbone, afin d'éviter la fissuration de l'acier et de permettre le travail à chaud de l'acier,
- en tant qu'élément d'alliage, il améliore les propriétés physiques de l'acier (solidité, dureté, usinabilité ; résistance aux chocs, à l'abrasion et à la corrosion).

La matière première des applications du manganèse en sidérurgie est le minerai de manganèse, pas le manganèse métal. Le minerai de manganèse est très généralement d'abord transformé en ferromanganèse et en silicomanganèse, produits intermédiaires largement utilisés en sidérurgie.

En moyenne, un acier au carbone contient 0,5 % Mn, cette teneur pouvant atteindre 1,8 % dans des aciers au carbone-manganèse, voire 8 % et davantage dans certains aciers enrichis en manganèse, ce qui leur confère une forte résistance à la traction.

La production mondiale d'acier était de 1,65 milliards de tonnes en 2013.

Les autres usages du manganèse sont :

- la production d'alliage aluminium–manganèse, qui représentait 4 % de la demande en manganèse en 2014. L'addition de 1,5 % de manganèse dans l'aluminium lui confère une résistance très élevée à la corrosion, cet alliage étant notamment utilisé pour la production de canettes de boisson,
- l'oxyde de manganèse MnO_2 est utilisé pour la production de piles électriques. Cet usage représente 3 % de la consommation de manganèse. Malgré l'avènement des piles au lithium, beaucoup plus performantes, les piles manganèse demeurent très populaires à cause de leur avantage en terme de prix,

- un ensemble d'usages diversifiés représente 2 % de la consommation de manganèse. Il est utilisé comme additif dans la production de carburant automobile à la place du plomb, comme oligo-élément dans les engrais.

Il n'existe pas de substitut pour l'usage du manganèse dans la sidérurgie. La chute continue du coût des batteries lithium-ion pourrait, d'ici quelques années, permettre à ces batteries de remplacer les piles au manganèse. Cependant, il entre également dans la composition de deux des quatre familles de cathodes actuellement utilisées pour la production des batteries lithium-ion :

- cathodes à l'oxyde de nickel, cobalt et manganèse [$\text{Li}(\text{Ni}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33})\text{O}_2$], batteries NMC,
- cathodes en spinelle lithium manganèse [LiMn_2O_4], batteries LMO.

En 2013, ces deux types de cathodes représentaient 53 % du marché des batteries lithium-ion, avec un taux annuel de croissance moyen (TACM) qui pourrait atteindre 12,6 % / an d'ici 2025 pour les batteries de type NMC et 6,9 % pour celles de type LMO (Pillot, 2014).

Le marché du manganèse est essentiellement un marché du minerai de manganèse, qui fait l'objet d'un important commerce international et un marché des deux produits intermédiaires que sont le ferromanganèse et le silicomanganèse. Le marché du manganèse métal est relativement marginal, ne représentant que quelques pour cent du total. La production de ferromanganèse et de silicomanganèse est largement localisée dans les pays à énergie abondante et bon marché.

Pour ces raisons, le prix du minerai de manganèse est important et devrait servir de référence à la Polynésie française tant qu'il n'aura pas été démontré qu'il est possible de produire du manganèse métal, en co-production du cobalt, à partir des encroûtements cobaltifères.

Le prix moyen spot du minerai de manganèse sud-africain à 37 % Mn, Franco à bord Port Elizabeth observé le 21 août 2015 est de 81 US \$/tonne (2,18 US \$ par Unité de Tonne Métrique à Sec, « *Dry Metric Tonne Unit, DMTU* »⁵, en anglais, une unité internationalement utilisée pour les minerais de fer et de manganèse), un niveau de cours qui correspond au coût en numéraire de la production dans les mines sud-africaines, qui était estimé à

⁵ Source : MetalBulletin, accessible uniquement par abonnement

79 US \$ en juin 2015⁶. Un tel niveau de prix menace la viabilité de l'ensemble de l'industrie minière du manganèse et dans ces conditions économiques il paraît douteux que des investisseurs industriels puissent s'intéresser aux nodules manganésifères. Le manganèse métal vaut beaucoup plus. En août 2015, sa valeur moyenne s'établissait à 1682,5 US \$.

L'évolution des cours du manganèse métal sur la période 1950 à 2013, en US \$ constants, valeur 1998, est représentée par la figure 4, ci-dessous. Elle montre l'envolée des cours résultant de la rapide croissance de la demande chinoise à partir de 2002. Ces cours sont revenus à un niveau historiquement bas suite au relatif ralentissement de l'économie chinoise et à la chute généralisée de la plupart des prix des matières premières, engagée depuis 2014.

La demande en manganèse continuera d'évoluer parallèlement à la demande en acier. Le TACM glissant sur 10 ans de la production minière de manganèse est de 6,2 % pour la période 2004-2013 (bornes incluses), niveau très élevé reflétant la croissance de la sidérurgie chinoise. Sur une période de 30 ans (1984 à 2013), qui intègre une période d'une vingtaine d'années précédant l'envolée de la croissance chinoise, le TACM glissant n'est plus que de 2,2 %.

⁶ Source : The Australian Business Review, fil d'informations en ligne: <http://www.theaustralian.com.au/business/mining-energy/south32-blames-collapse-in-manganese-prices-for-writedowns/story-e6frg9df-1227390478281>. Dans son rapport annuel 2014-2015 (période se terminant le 30/06/2015, South32, premier producteur mondial de minerai de manganèse indique un coût en numéraire de 94 US \$/tonne.

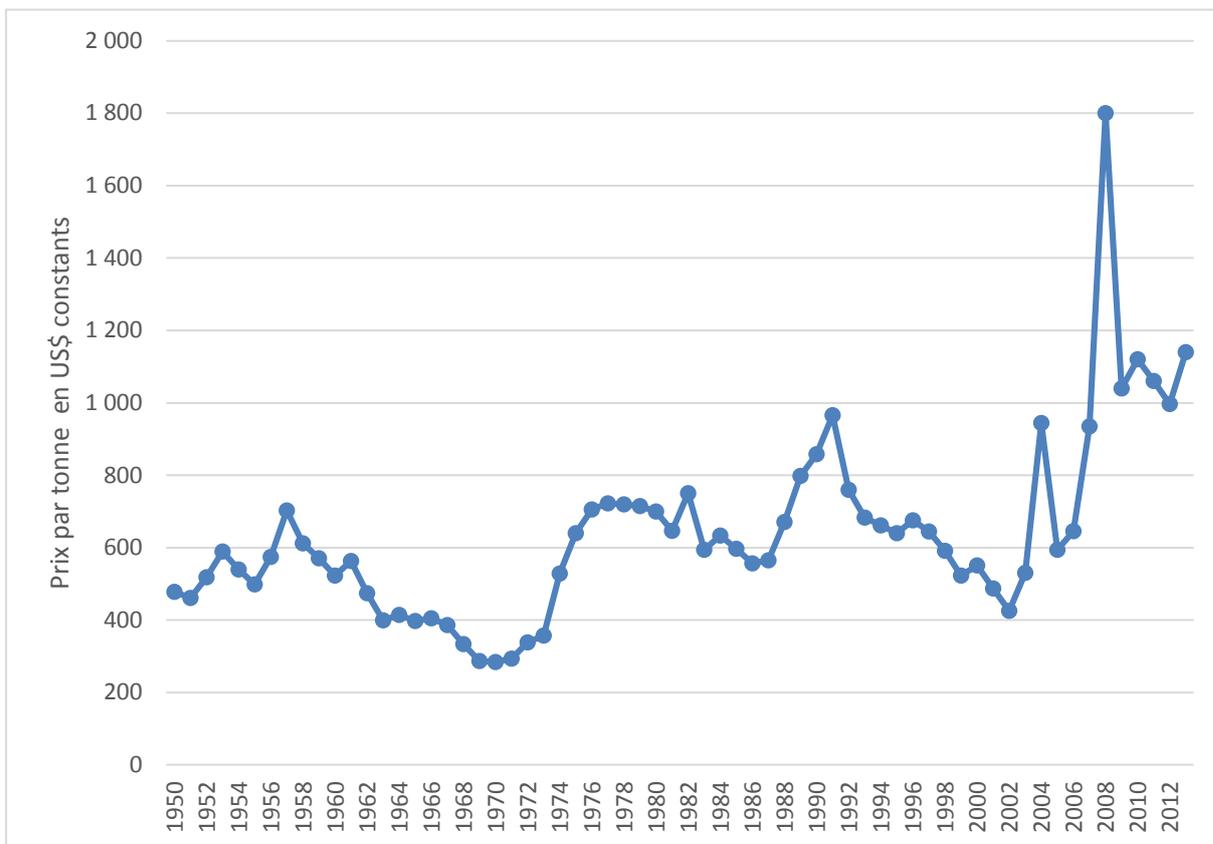


Figure 4 – Évolution de la moyenne annuelle des prix du manganèse en US \$ constants, valeur 1998 – Source des données : USGS data series 140.

La production mondiale de manganèse 2013 contenu dans les minerais (production minière) a été de 20 026 789 de tonnes selon Reichl *et al.* (2015).

Le tableau 8 indique les 5 premiers pays producteurs en 2013 et leur quote-part dans la production minière mondiale. Elle est géographiquement assez bien répartie.

Tableau 8 – Principaux pays producteurs miniers de manganèse en 2013 – Source des données: Reichl *et al.* (2015)

	Production minière 2013, en t Mn contenu	Part de la production minière mondiale
Afrique du Sud	4 821 140	24%
Chine	4 140 000	21%
Australie	3 574 700	18%
Gabon	2 102 360	10%
Brésil	1 180 000	6%

Les réserves estimées par l'USGS (U.S. Geological Survey, 2015) représentent 40 années de la production mondiale mais la moitié de ces réserves sont situées dans deux pays à risque géopolitique élevé : l'Afrique du Sud et l'Ukraine (tableau 9). Si l'évolution politique de l'Afrique du Sud fait peser de nombreuses incertitudes sur l'avenir économique de ce pays, la situation ukrainienne a d'ores et déjà conduit à la paralysie de la quasi-totalité de l'appareil industriel.

Tableau 9 – Principaux pays détenteurs de réserves de manganèse – Source des données : Kelly et Matos (2015)

	Réserves en t de manganèse contenu	Part des réserves mondiales
Afrique du Sud	150 000 000	26% ⁷
Ukraine	140 000 000	25%
Australie	97 000 000	17%
Brésil	54 000 000	9%
Inde	52 000 000	9%

Aujourd'hui l'industrie du manganèse repose sur l'exploitation de minerai riche titrant entre 40 et 50 pour cent environ de manganèse, la mine de Moanda au Gabon étant le gisement le plus riche actuellement connu, avec des teneurs comprises entre 48 et 52 pour cent de manganèse.

Il est probable qu'à terme l'économie du manganèse se trouvera affectée par une baisse graduelle des teneurs, la probabilité de trouver de nouveaux gisements riches semblant géologiquement assez faible. Cela pourrait stimuler les investissements de mise en exploitation des ressources marines en nodules manganésifères ou en encroûtements cobaltifères, surtout pour améliorer les techniques d'extraction du Mn des minerais. La teneur en Mn (21,7 %) est comparable à celle des gisements pauvres à terre, soit environ seulement la moitié des teneurs actuellement exploitées à terre (Renyi et Qin, date inconnue)⁸. Cependant, le Mn est le seul métal exploité dans ces gisements à terre et pas un sous-produit qui est le cas pour les minerais sous-marins.

⁷ L'essentiel de la production minière chinoise dépend de tels minerais pauvres

⁸ Voir également :

<http://dameng.citic/iwcm/zxdmkg/en/ns:LHQ6MzQzLGY6NjU0LGM6LHA6LGE6LG06/cannel.vsm1> au sujet des teneurs de minerai de manganèse chinois.

Le manganèse contenu dans les produits en fin de vie est largement recyclé, Gradel *et al.* (2011) estimant que ce taux de recyclage est supérieur à 50 %, ce qui contribue à la disponibilité de ce métal. Le recyclage se fait en même temps que celui de l'acier, auquel le manganèse demeure associé dans le processus de recyclage.

6. Le marché du nickel (6 % de la valeur économique moyenne des encroûtements)

Le nickel est un métal d'alliage notamment du fer. Il peut également former des alliages avec de nombreux autres métaux : cuivre, chrome, alu et de minium, plomb, cobalt, argent et or, mais son usage pour la production de nombreuses nuances d'acier inoxydable (66 % de la consommation de nickel selon Asian Metals) demeure de loin l'usage majeur. 8 à 10 % de nickel entre, en moyenne, dans la composition des aciers inoxydables austénitiques (série 300 ASTM), qui représentent environ la moitié de la production mondiale des inoxydables.

La production d'alliages entre le nickel et les métaux non ferreux représente 12 % des usages du nickel, le revêtement de différents objets 7 %. Le nickel entre également dans la composition de batteries au nickel-cadmium, ce qui représente 2 % des débouchés de ce métal. Comme le manganèse, l'économie du nickel étant très liée à celle du fer, la demande est très influencée par l'évolution du marché de l'acier, très fortement baissier en 2015.

La substitution du nickel dans les alliages dans lesquels il est utilisé paraît impossible sans perte de performances, qui seraient telles que l'alliage ne correspondrait plus aux spécifications industrielles demandées. Il est par contre possible qu'un nouveau type d'alliage puisse remplacer un alliage existant contenant du nickel. Ce type de substitution pourrait n'avoir qu'un impact assez faible sur la demande en nickel.

En 2012, la production mondiale de nickel contenu dans les minerais (production minière) a été de 2 548 742 tonnes selon Reichl *et al.* (2015).

Les prix du nickel sont à un niveau très bas, soit 9 470 US \$/tonne pour du nickel cash au London Metal Exchange, le 28/08/98. La valeur moyenne observée en août 2015 était de 10 367 US \$/tonne. En US \$ constants, valeur de 1998, ce cours serait que de 6 629 US \$/tonne, un niveau de cours

qui correspond au tout début du super-cycle chinois, en 1992. En un an le nickel a perdu environ la moitié de sa valeur.

La figure 5 ci-dessous représente l'évolution des prix du nickel depuis 1950 jusqu'en 2013, exprimée en US \$ constants, valeur 1998. Elle montre la très grande volatilité des cours, avec l'impact spectaculaire de la croissance de la demande en nickel par la croissance chinoise de la première décennie des années 2000, suivie d'une chute spectaculaire des cours liée au développement de surcapacités importantes en même temps que ralentit progressivement la croissance chinoise.

Le stock de nickel actuel disponible au London Metal Exchange est d'environ 454 000 tonnes, pour un stock mondial estimé à 2 549 000 tonnes environ en 2013 (Reichl et al., 2015). Il n'était que d'environ 320 000 tonnes en août 2014. Cette croissance des stocks, presque continu depuis début 2007, époque à laquelle ils étaient voisins de zéro, pèse fortement sur les cours, sans qu'il soit possible de prévoir quand les surcapacités de production existantes seront résorbées.

Le TACM glissant sur 10 ans de la production minière de nickel est de 5,2 % pour la période 2004-2013 (bornes incluses). Sur une période de 30 ans (1984 à 2013), le TACM est de 4 %. La production de nickel est largement dépendante de celle de l'acier inoxydable, qui inclut au rythme annuel moyen de 5,4 % par an entre 1980 et 2013 (International Stainless Steel Forum, 2015), la Chine étant le premier consommateur mondial d'acier inoxydable.

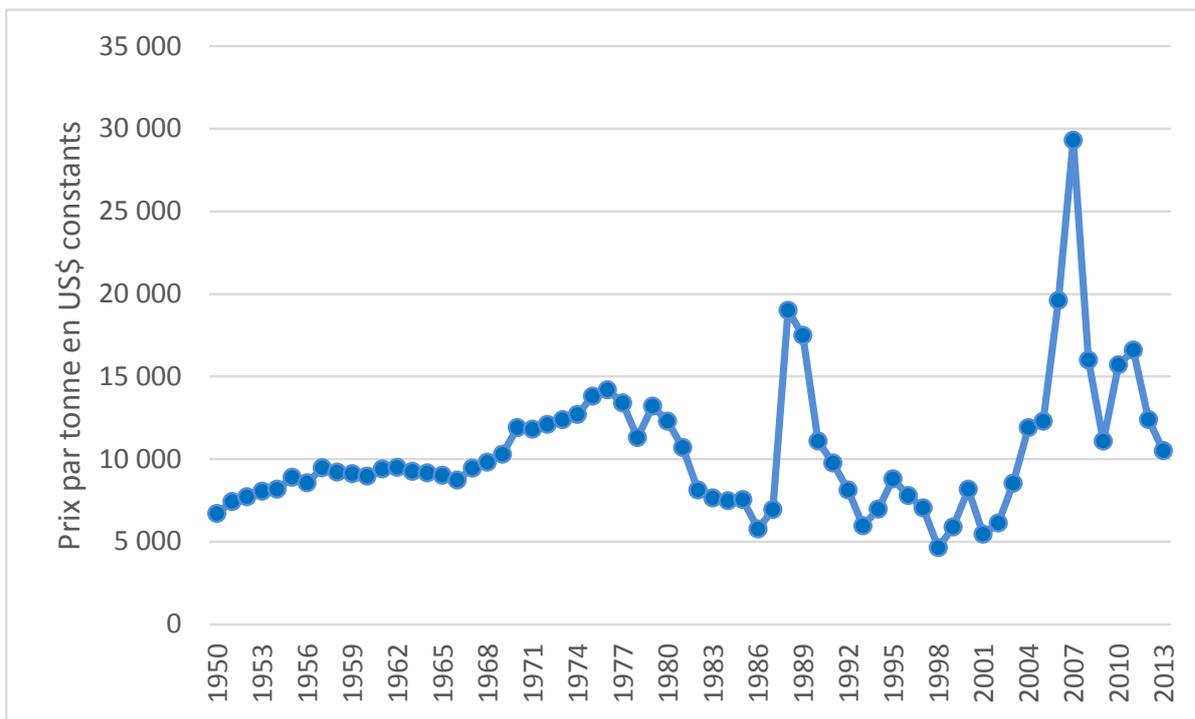


Figure 1 – Évolution de la moyenne annuelle des prix du nickel en US \$ constants, valeur 1998 – source des données : USGS data series 140.

En 2012, la production mondiale de nickel contenu dans les minerais (production minière) a été de 2 548 742 tonnes selon Reichl *et al.* (2015).

Le tableau 10 indique les 5 premiers pays producteurs en 2013 et leur quote-part dans la production minière mondiale. Elle est géographiquement assez bien répartie, mais des mesures restreignant les exportations de minerais de plusieurs des principaux producteurs mondiaux pourraient modifier la structure du marché du nickel.

En janvier 2014 le gouvernement indonésien a annoncé l'interdiction de l'exportation de ses minerais de nickel latéritique, afin de favoriser le développement de la métallurgie du nickel en Indonésie et de générer davantage de valeur ajoutée sur son territoire. La Chine, qui ne produit que 4 % de la production minière mondiale de nickel faute de ressources géologiques suffisantes, est le premier importateur de minerai de nickel latéritique, dont son industrie a besoin pour la production d'acier inoxydable.

Suite à l'annonce de l'interdiction des importations de minerai latéritique, 12 projets de construction de fonderies de nickel en Indonésie ont été annoncés, mais seulement cinq ou six nouvelles fonderies devraient

être opérationnelles d'ici la fin de l'année 2015, des projets étant susceptibles d'être différés vu la faiblesse actuelle des cours. L'une des annonces, datant de janvier 2015, est la construction par l'entreprise chinoise Virtue Dragon d'un investissement de 5 milliards US \$ pour la construction d'une usine de production de ferronickel.

Les Philippines, second producteur mondial, pourraient à leur tour interdire l'exportation de leurs latérites nickélifères. Un conflit a éclaté en Nouvelle-Calédonie, ayant pour enjeu l'exportation de latérites nickélifères vers la Chine.

Tableau 10 – Principaux pays producteurs miniers de nickel en 2013 – Source des données: Reichl et al. (2015)

	Production minière 2013, en t nickel contenu	Part de la production minière mondiale
Indonésie	834 200	33%
Philippines	315 633	12%
Australie	234 230	9%
Canada	218 026	9%
Nouvelle-Calédonie	164 406	6%

Malgré ces soubresauts les cours du nickel continuent de baisser.

Les réserves estimées par l'USGS (U.S. Geological Survey, 2015) représentent 31 années de la production mondiale au rythme observé en 2013. Les réserves sont géographiquement assez bien diversifiées. Le classement des pays détenteurs de réserves est assez différent de celui des pays producteurs actuels. Deux principaux types de gisements concourent à ses réserves :

- les gisements à nickel latéritique, où la concentration en nickel dépend de phénomènes d'altération superficielle en milieu tropical humide (latéritisation). La teneur en Ni y est, en moyenne, de l'ordre de 1,2 % Ni (et 0,05 % Co). Par comparaison, la teneur moyenne en nickel des encroûtements cobaltifères du Pacifique Sud (cf. tableau 2 ci-dessus) n'est que de 0,46 %,
- les gisements à sulfures nickélifères, dont les teneurs en nickel sont du même ordre de grandeur.

Les latérites nickélifères sont aujourd'hui la principale source de production de nickel (65 % Indonésie, Philippines, Nouvelle-Calédonie, Brésil,

Cuba...), les gisements magmatiques fournissent les 35% restants (Russie, Canada, Australie, Chine). L'épuisement progressif de ces ressources amènera à rechercher d'autres sources d'approvisionnement en nickel, ce qui pourrait être un facteur d'intérêt à terme aussi bien pour les encroûtements cobaltifères que pour les nodules à manganèse.

Le tableau 11 indique les cinq premiers pays détenteurs de réserves de nickel. Ces réserves sont géographiquement bien réparties.

Tableau 11 – Principaux pays détenteurs de réserves de nickel – Source des données : Kelly et Matos (2015)

	Production de nickel raffiné 2013, en t	Part de la production mondiale
Australie	19 000 000	23%
Nouvelle-Calédonie	12 000 000	15%
Brésil	9 200 000	11%
Russie	7 900 000	10%
Cuba	5 500 000	7%

L'acier inoxydable contenu dans les produits en fin de vie étant très largement recyclé, à plus de 90 %⁹, sans perte de qualité, 82% du nickel est ainsi recyclé. Le recyclage se fait en même temps que celui de l'acier, auquel le manganèse demeure associé dans le processus de recyclage.

Le niveau de recyclage élevé du nickel n'a qu'un impact relativement limité sur la demande en nickel primaire (production minière) car la plupart des applications du nickel ont un temps de résidence très long dans l'économie, qui peut atteindre plusieurs décennies dans le cas du nickel utilisé dans les aciers inoxydables pour la construction. Le nickel recyclé correspond donc à 82 % de la production minière d'il y a 10 ans, voire davantage. En 10 ans, par exemple, si la demande a crû à un taux moyen annuel de 5,4 % et avec un taux de recyclage 82 %, 51 % de la demande devrait encore être couverte par de la production minière.

En 2013, sur la base des coûts en numéraire de production du nickel disponible pour 70 gisements (base de données [snl.com](http://www.snl.com)¹⁰), le coût moyen de la production minière s'établissait à environ 3 900 US\$/ tonne de nickel contenu. Le coût total de production de la tonne de nickel, comprenant la

⁹ Source de l'information :

http://www.worldstainless.org/health_and_environment/recycling

¹⁰ accessible uniquement sur abonnement

production minière, le broyage du minerai, la production métallurgique et le raffinage du nickel ainsi que les royalties s'établissait, en moyenne à un peu moins de 12 600 US\$ par tonne de nickel, soit très nettement au-dessus des cours du métal fin août 2015 (9 850 \$ tonne). Si ces conditions économiques perdurent, de profondes restructurations de l'industrie du nickel sont à prévoir et il faudrait que la mise en valeur éventuelle des encroûtements cobaltifères de Polynésie française ait de sérieux arguments économiques à faire valoir pour susciter de l'intérêt.

7. Le marché du titane (8 % de la valeur théorique des encroûtements)

Le marché du titane comporte deux segments majeurs :

- La production de pigments à base d'oxyde de titane (TiO_2) pour la production de peintures, de charges colorantes pour l'industrie des matières plastiques et du papier. En volume il s'agit et de loin du premier usage du titane. L'oxyde de titane est produit à partir de deux minéraux différents : l'ilménite (FeTiO_3), contenant 31,6 % dans le cas de l'ilménite correspondant la formule théorique, et le rutile (TiO_2), dont la teneur en titane est de 60 %. Cette production ne nécessite pas de produire du titane métal, elle est beaucoup plus simple sur le plan technologique que la production de titane pur,
- la production de titane métal, est un processus complexe en plusieurs étapes :
 - production minière d'un concentré d'ilménite
 - traitement de l'ilménite par un procédé métallurgique complexe au chlore ou acide sulfurique, en fonction de la composition de l'ilménite (notamment de sa teneur en fer) pour l'obtention d'oxyde de titane (rutile synthétique) par le procédé Becher (Société Chimique de France, 2013-2014). L'oxyde de titane (rutile synthétique ou naturel) est ensuite carbochloré pour obtenir du chlorure de titane, dont le métal est extrait par une réduction magnésium (procédé Kroll), qui permet d'obtenir l'éponge de titane (métal pur), qui sera ensuite refondu pour faire des lingots.

Le titane métal a de nombreuses applications notamment dans le domaine de l'aéronautique, de la défense, du sport (club de golf), ou de la santé (prothèses, vu son excellente biocompatibilité). Dans sa brochure

d'information sur le titane, la fédération industrielle Titanium Association (2011) indique que la consommation de titane pour la production de réacteurs d'avions représente 42 % de la consommation de titane métal aux États-Unis et 37 % en Europe. Le F-22, avion de chasse américain furtif, considéré parmi les avions militaires les plus avancés au monde, contient un peu plus de 39 % de titane métal. L'alliage Ti 6Al-4V (6% aluminium, 4% vanadium, 90% titane), avec sa très haute résistance à la corrosion et sa légèreté, est utilisé pour fabriquer des tuyauteries résistantes à la corrosion, par exemple dans les usines de dessalement de l'eau de mer, dans le refroidissement par eau de mer de centrales électriques ou dans des usines chimiques.

Ces marchés sont très différents, tant par le volume de leur production que par la valeur des produits marchands concernés.

Selon l'U.S. Geological Survey (2015), en 2013 :

- la production mondiale d'ilménite a été de 6 730 000 t, ce qui représente environ 2 130 000 t de titane contenu,
- la production mondiale de rutil a été de 667 000 t, ce qui représente environ 400 000 t de titane contenu.

Le total mondial de titane contenu dans ces minerais s'établit donc à environ 2 530 000 t en 2013. Seule une petite proportion de ce titane contenu est effectivement transformée en éponge de titane métal, production évaluée à environ 204 000 t (environ 8 % du titane total contenu dans les minerais, cf. tableau 14). Cette production est en surcapacité par rapport à la demande mondiale actuelle. Selon McCoy (2015) la capacité de production chinoise en 2013 était de 157 000 t d'éponge de titane, pour une production réalisée de seulement 82 000 t (taux d'utilisation : 52 %). L'existence de surcapacité pèse de manière importante sur les cours du titane.

Les tableaux 12 à 14 représentent respectivement les principales productions mondiales d'ilménite, de rutil et d'éponges de titane. Comme pour le cobalt, la géographie des pays producteurs de minerais titanifères diffère fortement de celle des pays producteurs d'éponge de titane.

Tableau 12 – Principaux pays producteurs de rutile en 2013 – Source des données : Kelly et Matos (2015)

	Production minière 2013 de rutile (en t TiO2 contenu)	Part de la production minière mondiale
Australie	423 000	63%
Sierra Leone	81 000	12%
Afrique du Sud	59 000	9%
Ukraine	50 000	7%
Inde	24 000	4%

Production mondiale totale de rutile : 667 000 t

Tableau 13– Principaux pays producteurs d’ilménite en 2013 – Source des données : Kelly et Matos (2015)

	Production minière 2013 d’ilménite (en t TiO2 contenu)	Part de la production mondiale
Afrique du Sud	1 190 000	18%
Chine	1 020 000	15%
Australie	960 000	14%
Canada	770 000	11%
Vietnam	720 000	11%

Production mondiale totale d’ilménite : 6 730 000 t

Tableau 14 – Production mondiale, par pays producteurs, d’éponge de titane – Sources des données : a – McCoy, 2014 b – International Titanium Association

	Production métallurgique 2013 d’éponge de titane	Part de la production minière mondiale	Source de la donnée
Chine	82 000	55%	a
Japon	42 000	7%	b
Russie	44 254	6%	b
USA	14 000	13%	a
Kazakhstan	10 000	9%	b
Ukraine	10 000	9%	b

Production mondiale totale d’éponge de titane : 204 454 t

Le prix spot du rutile fin août 2015, pour de gros volumes de vrac australien, franco à bord, titrant 95 % TiO₂ est de 840 US \$/tonne¹¹, ce qui valoriserait le titane à 1 492 US \$/tonne (\$ courants).

Le prix spot de l'ilménite fin août 2015, pour de gros volumes de vrac australien, franco à bord, titrant 54% TiO₂ minimum est de 110 US \$/tonne¹², ce qui valoriserait le titane à 336 US \$/tonne (\$ courants). Cette faible valorisation est due au fait que l'ilménite est la moins noble des matières premières permettant la production du titane, nécessitant un ensemble de traitements complexes pour passer d'abord à l'oxyde de titane puis à l'éponge de titane métal. Il faut souligner que l'extraction de titane ou d'oxyde de titane à partir d'encroûtements ou de nodules n'a jamais été étudiée en détail. Les procédés développés pour le rutile ou l'ilménite ne seront pas bien adaptés. Il est possible, mais ceci est invérifiable à ce stade, que la purification de TiO₂ à partir des mélanges d'oxydes et hydroxydes qui constituent les minerais sous-marins seront plus faciles et valorisants que l'extraction de ce produit à partir de minerai traditionnel.

Le prix du pigment à l'oxyde de titane (minimum 80 % de TiO₂) est représenté par la figure 6 ci-dessous. Fin août 2015, le prix Spot incluant l'assurance et le fret (prix CAF) du pigment en vrac, origine États-Unis est de 2 750 US \$ la tonne (1 925 US \$/tonne en US \$ constants, valeur 1998). Sur la base d'une teneur de 80 % de TiO₂, le titane contenu, en US \$ courant est valorisé à 4 010 US\$/tonne, reflétant la création de valeur ajoutée liée aux traitements complexes nécessaires pour produire le pigment.

Le prix de l'éponge de titane pur, dont l'élaboration est encore plus complexe et maîtrisée par seulement une dizaine d'entreprises à l'échelle mondiale, est encore bien plus élevé, reflétant la valeur ajoutée apportée par la maîtrise de la technologie complexe nécessaire à sa production. Fin août 2015, en US \$ courant, le prix Spot de l'éponge de titane sur le marché libre européen était de 5 725 US \$/tonne.

¹¹ Sources des données relatives aux prix - Prix du rutile et de l'ilménite : Industrial Minerals (disponible uniquement sur abonnement), prix moyens annuels de l'éponge titane et du pigment à l'oxyde de titane : U.S. Geological Survey Data Series 140 (Kelly et Rosa, 2015).

¹² Sources des données relatives aux prix - Prix du rutile et de l'ilménite : Industrial Minerals (disponible uniquement sur abonnement), prix moyens annuels de l'éponge titane et du pigment à l'oxyde de titane : U.S. Geological Survey Data Series 140 (Kelly et Rosa, 2015), prix spot de l'éponge de titane sur le marché libre européen : Metal Pages (disponible uniquement sur abonnement)

L'U.S. Geological Survey (Kelly et Rosa, 2015) fournit des prix annuels moyens historiques pour le pigment (figure 6) et l'éponge de titane (figure 7).

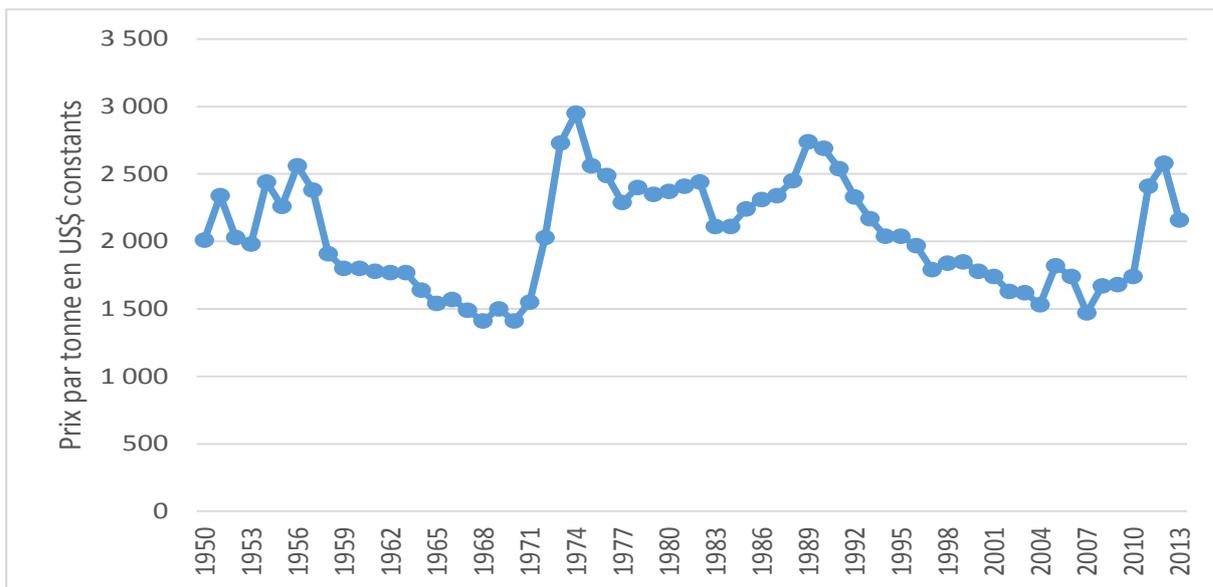


Figure 1 – Évolution de la moyenne annuelle des prix du pigment à l'oxyde de titane (80% TiO₂ minimum) en US \$ constants, valeur 1998 – Source des données : USGS data series 140

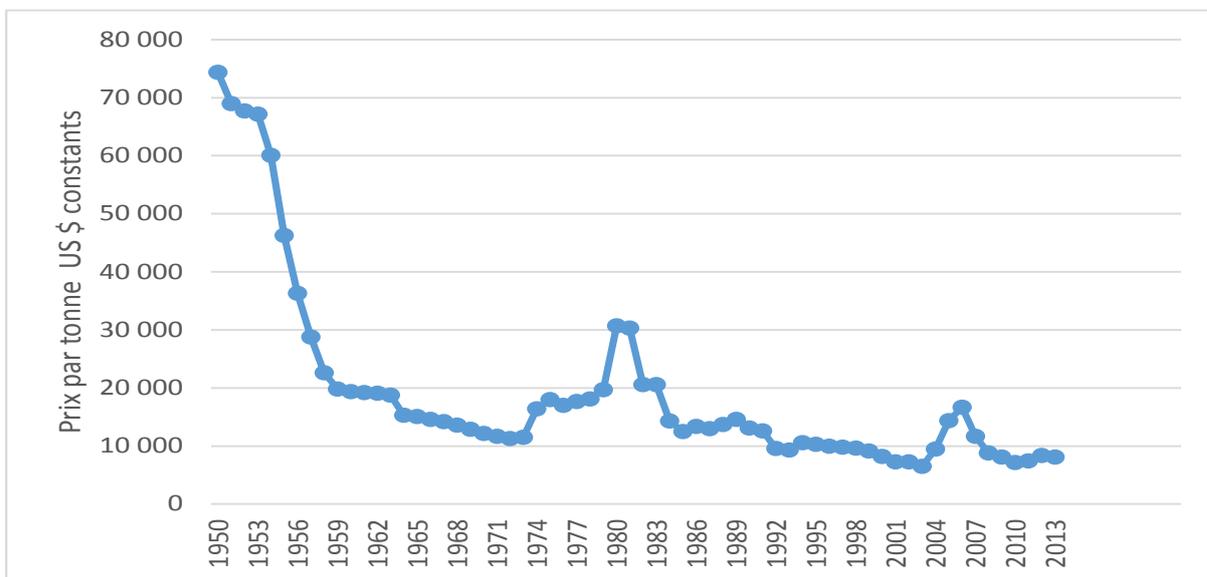


Figure 2 – Évolution de la moyenne annuelle des prix de l'éponge de titane en US \$ constants, valeur 1998 - source des données : USGS data series 140.

Les coûts en numéraire de la production minière de l'ilménite et du rutile sont bas lorsqu'ils sont produits par dragage de sables de plage : ils étaient de 197 \$/tonne au premier semestre pour l'exploitation de Kenmare au Nord Mozambique pour la production d'un concentré d'ilménite (93 %), rutile et zircon et compris entre 595 et 615 US \$/tonne pour la production de rutile, d'ilménite et de zircon par Sierra Rutile au Sierra Leone. Il est très difficile de comparer ces coûts de production, la composition des gisements étant différente : le gisement de Sierra Leone est beaucoup plus riche en rutile (88 % de la minéralisation), minéral à forte valeur à la tonne (Cf. ci-dessus) que celui du Mozambique.

La stabilité, voir le niveau relativement bas du prix de l'éponge titane masque cependant un épineux problème géostratégique pour l'approvisionnement de l'industrie aéronautique occidentale, dépendante d'importations de produits en titane forgé fourni par le producteur russe d'éponge de titane VSMPO-AVISMA, situé dans l'Oural. Cette entreprise est stratégique pour l'industrie aéronautique occidentale (Airbus Boeing, Embraer, Rolls Royce, Pratt & Whitney et d'autres encore), dont elle est le principal fournisseur de titane et de pièces en titane, vu ses équipements de pressage et de forgeage uniques au monde. Elle détient les certifications exigées par l'industrie aéronautique, très difficile et longues à obtenir.

VSPMO-AVISMA est, à son tour, dépendante d'importations d'ilménite ukrainienne produites par Vilnohorsk State Mining & Metallurgical Plant (VSMMP) and Irshansky GOK, ces deux entreprises étant – pour le moment ? - situées en dehors de la zone affectée par le conflit russo-ukrainien. Elles assurent 95 % de la production d'ilménite de la CEI.

Bien que la coopération entre les compagnies aéronautiques occidentales et VSPMO-AVISMA ne paraisse pas affectée par le conflit, des mesures de précaution ont été prises par les constructeurs. Boeing par exemple, a commencé à stocker du titane et des pièces en titane représentant environ 6 mois de production.

D'ici quelques années, un alliage d'aluminium et lithium, ALi (AirWare de Constellium) pourrait être substitué à l'usage du titane pour la fabrication de certains éléments de la charpente des avions. Cet alliage a le vent en poupe : en 2014, Constellium a décidé de lancer la construction d'une 3^{ème} unité de production d'Airware à Issoire, à peine plus d'un an après avoir inauguré le démarrage de la production de la première unité. Les matériaux composites peuvent également être substitués à certains usages du titane en aéronautique.

La recherche de gains de performance (meilleur rendement énergétique) dans la construction des réacteurs d'avions de ligne pourrait également réduire la demande en titane dans les années à venir. En effet les superalliages à base de nickel, cobalt, tantale et, selon les constructeurs, de rhénium, offrent de meilleures performances que le titane aux hautes températures observées à partie chaude des réacteurs d'avions, les matériaux sont soumis à des températures supérieures à 1 300° C. Dans le même temps, des nouvelles applications de Ti peuvent être développées.

Le titane est un métal qui se recycle très bien. Son taux de recyclage dans les produits en fin de vie dépasse actuellement les 50 %. Aux États-Unis le titane métal est recyclé à 91 % (Sibley, 2011).

En 2013, les réserves d'ilménite publiées par l'U.S. Geological Survey (2015) étaient estimées à 720 millions de tonnes, soit 107 ans au rythme de production de cette année-là. De leur côté, les réserves de rutile, le minerai « noble » de titane est de 47 millions de tonnes, soit 70 ans au rythme de production 2013. Aucune de ces valeurs ne représentent un signal qui pourrait encourager des investisseurs à s'intéresser au développement d'une production de titane à partir des ressources minérales marines profondes. Il est cependant à noter que les réserves de rutile sont concentrées dans trois pays seulement et comme pour les autres métaux, la production de Ti ou TiO₂ comme un sous-produit lors de l'exploitation des minerais sous-marins apportera potentiellement une valeur ajoutée à l'opération.

Les tableaux 15 et 16 indiquent les cinq principaux pays détenteurs de réserves respectivement d'ilménite et de rutile.

Tableau 15 – Principaux pays détenteurs de réserves d'ilménite en 2013 – Source des données : U.S. Geological Survey, 2015

Pays	Réserves d'ilménite, en milliers de tonnes	Part des réserves mondiales
Chine	200 000	28%
Australie	170 000	24%
Inde	85 000	12%
Afrique du Sud	63 000	9%
Brésil	43 000	6%
Total >>>	720 000	

Tableau 16 – Principaux pays détenteurs de réserves de rutile en 2013 – Source des données :
U.S. Geological Survey, 2015

Pays	Réserves de rutile, en milliers de tonnes	Part des réserves mondiales
Australie	28 000	60%
Afrique du Sud	8 300	18%
Inde	7 400	16%
Ukraine	2 500	5%
Autres pays	400	1%
Total >>>	46 600	

En conclusion, il n’y a pas de tensions concernant les ressources en titane. Elles sont très abondantes sur la planète et la présence de quelques pourcents de titane dans les encroûtements cobaltifères de Polynésie française ne devrait pas être considérée comme un atout particulier. À ce stade des connaissances, il est impossible de savoir si son éventuelle récupération métallurgique sera faisable, à des conditions économiques compétitives, en même temps que la récupération du cobalt, du manganèse et du nickel. Les exemples donnés ci-dessus démontrent que la génération de la valeur est essentiellement liée au processus métallurgique conduisant la production de cobalt. Des risques géopolitiques existent néanmoins en aval de la filière, au stade de la métallurgie et surtout du forgeage des pièces pour l’aéronautique. Ces tensions n’offrent pas d’opportunités pour l’industrie française, qui ne dispose pas de l’appareil industriel nécessaire pour la métallurgie du titane.

8. Conclusion générale relative aux opportunités économiques

Les encroûtements polymétalliques se distinguent à la fois par une valeur à la tonne élevée et, sur la base des données très limitées disponibles dans Bonneville (2002), Bougault et Saget (2011) et Martel-Jantin (2011), d'une exceptionnelle richesse en cobalt, métal en forte demande mondiale pour des applications de haute technologie. La teneur moyenne des 35 échantillons analysés en Polynésie française (1,07 %) est presque le double de la teneur moyenne observée dans les principaux gisements de cuivre-cobalt de la République démocratique du Congo (0,6 - 0,65 %), ce qui est un facteur d'attractivité certain pour les encroûtements polynésiens. Les industries des pays de l'OCDE consommatrices de cobalt sont aujourd'hui largement exposées aux risques géopolitiques liés au duopole République démocratique du Congo (production minière) et Chine (métallurgie). Des opérateurs industriels, éventuellement soutenus par leur gouvernement, pourraient être intéressés à diversifier leurs approvisionnements en réduisant leur exposition au risque géopolitique.

Cependant un tel investissement n'est à priori à la portée que d'un nombre limité d'acteurs vu les développements technologiques à réaliser pour développer un procédé économiquement viable, environnementalement et socialement satisfaisant de valorisation de la ressource. La co-valorisation d'un maximum des métaux contenus dans les encroûtements polymétalliques, si elle s'avérait technologiquement possible, sans augmentation démesurée de l'investissement en capital nécessaire pour une mise en production, ni des coûts opératoires de production, représente un facteur additionnel d'attractivité.

9. Bibliographie

Ad-hoc working group on defining critical raw materials - 2014 - Report on Critical raw materials for the EU - European Commission, DG Enterprise (Brussels, Belgium) - Disponible en ligne : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm,

AGARWAL B., HU P., PLACIDI M., SANTO H., ZHOU J.J., 2012 - Feasibility Study on Manganese Nodules Recovery in the Clarion-Clipperton Zone - Vol. 2 of the LRET Collegium 2012 Series - Lloyds Register Educational Trust (LRET)- University of Southampton - ISBN 978-0-854-32950-2 - Disponible en ligne : https://www.southampton.ac.uk/assets/imported/transforms/peripheral-block/UsefulDownloads_Download/8BC7B9645A8E4690A375D527F98D77EC/LRET%20Collegium%202012%20Volume%202.pdf

ANDREWS B. V., FLIPSE J. E., BROWN F. C., 1983 - The Economic Viability of a Four-Metal Pioneer Deep Ocean Mining Venture - Sea Grant College Program, Texas A&M University TAMU-SG-84-201, 219p. - Disponible en ligne: <http://texaseagrant.org/assets/uploads/publications/1984/84-201.pdf>

Anglo-American Platinum Ltd. – 2015 - Production report for the first quarter ended 31 march 2015 (rapport trimestriel de production) – Disponible en ligne: <http://www.angloamericanplatinum.com/~media/Files/A/Anglo-American-Platinum/quarterly-production-reporting/anglo-american-platinum-Q1-2015-production-report.pdf>

AUDION A.S., HOCQUARD C., LABBE J.F., 2013 – Panorama 2013 du marché du cobalt - Rapport BRGM RP 63626-FR, 156 pages - Disponible en ligne: <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63626-FR.pdf>

Autorité des Marchés Financiers du Québec - 2011 - Règlement 43-101 sur l'information concernant les projets miniers - Loi sur les valeurs mobilières (L.R.Q., c. V-1.1, a. 331.1) - Disponible en ligne: www.lautorite.qc.ca/files/pdf/reglementation/valeurs-mobilieres/43-101/2011-06-30/2011juin30-43-101-vofficielle-fr.pdf

BOUGAULT H., SAGET P., 2011 - Les encroûtements cobaltifères de Polynésie française - Société de l'Industrie Minérale - Disponible en ligne: <http://archimer.ifremer.fr/doc/00069/18029/15560.pdf>

BRU, K., CHRISTMANN P., LABBE J. F., LEFEBVRE G., 2015 - Panorama 2015 du marché des Terres Rares - Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM (à paraître)

BUCK B., ESPINACH L., SÖDERBERG S., 2014 - Lignes directrices G4 du GRI et ISO 26000 pour une utilisation conjointe des lignes directrices G4 du GRI et de l'ISO 26000 - Rapport conjoint de l'Organisation Internationale des Standards (ISO) et de la Global Reporting Initiative (GRI) - Disponible en ligne

Centre for Excellence in Mining Innovation (CEMI) - 2015 - MineDesignWiki - Ressource Internet décrivant les phases du projet minier - Disponible en ligne:
http://www.minewiki.org/index.php/MDW_Policy:Table_of_contents

CHARLES, C. *et al.*, 1990 – Views on future nodule technologies based on Ifremer–Gemonod studies. *Materials Society* 14(3/4), pp. 299-326

CHRISTMANN P., AUDION, A. S., BARTHELEMY F., VARET J., 2012 – Vers une gouvernance des ressources minérales - *Géosciences* n° 15 - (BRGM, Paris, France)

CHRISTMANN P., 2015 - Les petits métaux : des « vitamines » essentielles aux industries de haute technologie – Chapitre XXX de « Les marchés mondiaux - Cyclope 2015 » - Philippe Chalmin, éditeur -, Editions Economica.

CLARK M. R., HEYDON R., HEIN J. R., PETERSEN S., SMITH S., BAKER E., BEAUDOIN Y., 2013 - Deep Sea Minerals: Cobalt-rich Ferromanganese Crusts, a physical, biological, environmental, and technical review. Baker, E. and Beaudoin, Y. (Eds.) - Vol. 1C - Secretariat of the Pacific Community - Disponible en ligne.

Consortium Extraplac – 2014 - Rapport d'étape Extraplac Le plateau continental français Informations préliminaires – La Polynésie française et les îles Wallis et Futuna

COOK B., non daté – The Terrible Truth of Gold Mining Cost Reporting - Disponible en ligne :
<https://www.explorationinsights.com/pebble.asp?reid=3443>

CREOCEAN - 2012 - Etude prospective globale des activités liées à l'exploration et à l'exploitation des ressources minérales océaniques

profondes de la Polynésie Française - Phase 3 : Synthèse générale et recommandations - Dossier 1 - 11096 - G

Darton Commodities Limited – 2015 - Cobalt market review 2014-2015 - Panorama annuel du marché du cobalt

DUPUY J.-J., BLANC C., PRIAN J.-P., SAVE M., AUDION A.-S., HOCQUARD C., 2014 – Etat des lieux des ressources minières terrestres de Polynésie française. Rapport final. BRGM/RP- 63 747 -FR, 220 p., 2 annexes

DUKE J. M., 2013 - Government geoscience to support mineral exploration: public policy rationale and impact - Prospectors and Developers Association of Canada (Toronto, Canada) - Disponible en ligne : <http://www.pdac.ca/docs/default-source/public-affairs/geoscience---reports.pdf?sfvrsn=6>

DYMENT J., LALLIER F., LAMARE S., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P.-M., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coordinateurs), 2014 - Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes - Rapport d'expertise scientifique collective, Coumert C., Morineaux M., Tourolle J. (Editeurs) - CNRS et IFREMER – Disponible en ligne : <http://wwz.ifremer.fr/L-institut/Actualites/ESCO-les-impacts-environnementaux-de-l-exploration-et-de-l-exploitation-des-ressources-minerales-profondes>

EGGERT R. G., 2010 - Mineral exploration and development: risk and reward - Paper Prepared for the International Conference on Mining, “Staking a Claim for Cambodia,” Phnom Penh, Cambodia, 26-27 May 2010 - Disponible en ligne: http://www.miningnorth.com/_rsc/site-content/library/education/Mineral_Exploration_&_Development_Roderick_Eggert_Eng.pdf

FOUQUET, Y., LACROIX D., 2012 - Les ressources minérales marines profondes: étude prospective à l'horizon 2030, Editions Quae.

FOUQUET Y. *et al.* – 2013a - Ressources Minérales Marines. Proposition pour un programme d'exploration sur 10 ans – Rapport interne Document de travail - Ifremer/REM/GM – sept. 2013K

FOUQUET Y., 2013b - Les ressources minérales marines : État des connaissances sur l'importance des dépôts - Annales des Mines – Responsabilité et environnement n°70 –

Freeport McMoRan – 2015 – Annual report 2014 – Disponible en ligne : www.fcx.com/2014_Annual%20Report.pdf

FULP M. - 2015 - The Real Cost of Mining Gold - Disponible en ligne : <http://www.kitco.com/ind/fulp/2015-02-04-The-Real-Cost-of-Mining-Gold.html>

Global Reporting Initiative (GRI) – 2013a - Lignes directrices pour le reporting développement durable - Vol. 1 : Principes de reporting et éléments d'information; Vol. 2: Guide de mise en œuvre - Disponible en ligne: www.globalreporting.org

Global Reporting Initiative - 2013b - G4 Sector disclosures, Mining and Metals - Disponible en ligne : www.globalreporting.org

GOTO K., YAMAZAKI T., NAKATANI N., ARAI R., 2010 - Preliminary Economic Feasibility Analysis of Cobalt-Rich Manganese Crust Mining for Rare Metal Recovery - Proceedings ASME 2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering Offshore and Arctic Engineering: Volume 3

GRAEDEL T.E., ALLWOOD J., BIRAT J.-P., RECK B.K., SIBLEY S.F., SONNEMANN G., BUCHERT M., HAGELÜKEN C., 2011 - Recycling rates of metals -Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE - rapport du Groupe International pour les Ressources - Disponible en ligne : <http://www.unep.org/resourcepanel-old/Publications/Recyclingratesofmetals/tabid/56073/Default.aspx>

HAMMOND T. G., 2012 - Resolving Hybrid Conflicts: The Bougainville Story - Foreign Policy Journal. Disponible en ligne : <http://www.foreignpolicyjournal.com/2012/12/22/resolving-hybrid-conflicts-the-bougainville-story/>

HEIN, J.R.; MIZELL, K.; KOSCHINSKY, A.; CONRAD, T.A., 2013 - Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: Comparison with land-based resources - 2013 - Ore Geol. Rev. 2013, 51, 1–14.

HILLMAN C.T., GOSLING B. B., 1985 - Mining Deep Ocean Manganese Nodules. Description and Economic Analysis of a Potential Venture - U. S. Bureau of Mines Information Circular 9015 - Disponible en ligne : <https://ia700705.us.archive.org/25/items/miningocanmanga00hill/miningocanmanga00hill.pdf> Chung J. S.,

HUGHES D. J., SHIMMIELD T. M., BLACK K. D., HOWE J. A., 2015 - Ecological impacts of large-scale disposal of mining waste in the deep sea - Nature, Scientific Reports 5, Article number: 9985 (2015), doi:10.1038/srep09985 - Disponible en ligne : <http://www.nature.com/articles/srep09985>

Institut Canadien des Mines, de la Métallurgie et du Pétrole (ICM) - 2014 - CIM Definition standards for Mineral Resources and Mineral Reserves - Disponible en ligne : http://www.cim.org/~media/Files/PDF/Subsites/CIM_DEFINITION_STANDARDARDS_20142

International Seabed Authority (ISA) - 2006 - Mining cobalt-rich ferromanganese crusts and polymetallic sulphides deposits: technological and economic considerations - Proceedings of the International Seabed Authority's Workshop held in Kingston, Jamaica, 31 July - 4 August 2006 - Disponible en ligne: <http://www.isa.jm/files/documents/EN/Workshops/Jul06/2006SulpCrusts-web.pdf>

International Stainless Steel Forum - Stainless Steel in Figures 2015 - 2015 - Disponible en ligne : http://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2015_English.pdf

International Titanium Association - 2011 - Titanium facts - Brochure d'informations générales disponible en ligne: <http://www.titanium.org/resource/resmgr/Docs/TiFacts.pdf>

JANKOWSKI P., HEYMANN E., CHWASTIAK P., SEE A. , MUNRO P., LIPTON I., 2010 - Offshore Production System Definition and Cost Study - Etude SRK coordonnée par Blackburn J. , réalisée pour Nautilus Minerals - Disponible en ligne : http://www.nautilusminerals.com/i/pdf/NAT005_Solwara_1_Offshore_Production_System_Definition_and_Cost_Study_Rev_3_21_June2010.pdf

KATO Y. , FUJINAGA K., NAKAMURA K., TAKAYA Y., KITAMURA K., OHTA J., TODA R., NAKASHIMA T., IWAMORI H., 2011 - Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements - Nature Geoscience Letters published online: 3 July 2011- DOI: 10.1038/NCEO1185 - Disponible en ligne: <http://www.nature.com/ngeo/journal/v4/n8/full/ngeo1185.html>

KELLY K. M., 1988 - The Effects of mass wasting on the development of cobalt-rich ferromanganese crusts on cross seamount, Hawaii - Thesis (M.S.)--University of Hawaii at Manoa - Disponible en ligne: <http://nsgl.gso.uri.edu/hawau/hawauy88010.pdf>

KELLY T. D., MATOS G. R., 2015 - Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States - United States Geological Survey - Data Series 140 - Reston, Virginia, USA - <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/>

LIPTON I., 2012 - Mineral resource estimate Solwara Project, Bismarck Sea, PNG - Technical Report compiled under NI 43-101 - Golder Associates. Disponible en ligne : http://www.nautilusminerals.com/i/pdf/SL01-NSG-DEV-RPT-7020-001_Rev_1_Golder_Resource_Report.pdf

MARTEL-JANTIN B., LAMOUILLE B., BOUGAULT H., LE SUAVE R., FOUQUET Y., BONNEVILLE A., TROLY G., 2002 - Evaluation stratégique et prospective préliminaire des encroûtements polymétalliques sous-marins de la ZEE de la Polynésie française. Rapport BRGM RP-50842-FR, accès réservé

MCCOY D., 2014 - The global titanium sponge market - Présentation de TZMI à la conférence Titanium USA 2014 – Disponible en ligne : <http://titanium.scholarlab.com/customer/titanium/resources/tieurope2014/McCoyDavidWorldTitaniumSupplyTrendsTiEU2014.pdf>

Mining, Minerals, and Sustainable Development Project - 2002 - Breaking New Ground, final report of the Mining Minerals and Sustainable Development project - EarthScan, (London, UK) – Disponible en ligne: <http://pubs.iied.org/pdfs/9084IIED.pdf>

PICHOKY C., 1987 - Les encroûtements ferromanganésifères enrichis en cobalt du Pacifique Sud : caractéristique, génèse et signification géodynamique. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentales, Bre

PILLOT C., 2014 - Battery Market Development for Consumer Electronics, Automotive, and Industrial: Materials Requirements and Trends - Presentation given at the Advanced Automotive Battery Conference 2014 - AVICENNE Energy (Paris, France) - Disponible en ligne : [http://www.avicenne.com/pdf/Battery Market Development for Consumer](http://www.avicenne.com/pdf/Battery%20Market%20Development%20for%20Consumer)

Electronics Automotive and Industrial Materials Requirements and Trends
C Pillot presentation at AABC 2014 Atlanta February 2014.pdf

PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement) – 2015 –
Human Development Report – Disponible en ligne :
<http://hdr.undp.org/en/data>

POSTLE M., NWAOGU T., UPSON S., CLARK C., HEINEVETTER A., 2015 -
Manganese ,The Global Picture – A Socio Economic Assessment - Rapport
préparé par Risk & Policy Analysts Ltd (RPA) pour l'Institut International
du Manganèse - Disponible en ligne: <http://www.manganese.org>

PROPARCO - 2011 - Le secteur minier, un levier de croissance pour
l'Afrique ? - Secteur privé & Développement, n° 8 - Disponible en ligne:
http://www.proparco.fr/jahia/webdav/site/proparco/shared/PORTAILS/Secteur_privé_developpement/PDF/SPD8/RevueSPD8_SecteurMinier_FR.pdf

PWC - 2014 - Digging deeper into all-in cost disclosure - Rapport public –
Disponible en ligne :
http://www.pwc.com/es_MX/mx/industrias/archivo/2015-02-mining-all-in-cost.pdf

REICHL C., SCHATZ M., ZSACK G., 2015 - World Mining Data 2015 -
Ministère fédéral de la Science, de la Recherche et de l'Economie - Vienne,
Autriche - Disponible en ligne :
<http://www.wmc.org.pl/sites/default/files/WMD2015.pdf>

Renyi C., Qin B. - Date de publication inconnue - The Manganese Ore
Resources in China and their Prospecting - Service Géologique de Chine -
Disponible en ligne:
http://dmtgeosciences.ca/images/uploads/original/china-chinese_manganese_1355436593.pdf

SHARP B., 2007 - Ok Tedi Case Study “If this were your village...?” -
Présentation donnée au symposium IAP2 Australasian (Association
Internationale pour la Participation Publique en Australasie) - Disponible en
ligne : <http://www.iap2.org.au/sitebuilder/resources/knowledge/files/166/sharpbarbara.pdf>

SHENGDONG W., XUNXIONG J., KAIXI J., YANQING F., LEI Z., 2009 - Study
on Continuous Leaching Hydrometallurgical Processes about Cobalt-rich
Crust - Proceedings of The Eighth (2009) ISOPE Ocean Mining
Symposium Chennai, India, September 20-24, 2009 -

SIBLEY S. F., 2011 - Overview of Flow Studies for Recycling Metal Commodities in the United States - U.S. Geological Survey Open-File report 1196-AA - Disponible en ligne: <http://pubs.usgs.gov/circ/circ1196-AA/pdf/circ1196-AA.pdf>

SOREIDE F., LUND T., MARKUSSEN J. M., 2001 - Deep Ocean Mining Reconsidered a Study of the Manganese Nodule Deposits in Cook Island - Proceedings of the Fourth (1001) Ocean Mining Symposium - Disponible en ligne : http://www.isopec.org/publications/proceedings/ISOPE_OMS/OMS%202001/Abstract%20pages/M01p088Soereide.pdf

STEVENS P., 2003 - Resource Impact-Curse or Blessing? A Literature Survey - The Journal of Energy Literature, Vol. IX Number 1, pp. 3-42 - Available online: http://graduateinstitute.ch/files/live/sites/iheid/files/sites/mia/users/Rachelle_Cloutier/public/International%20Energy/Stevens%20Resource%20Curse.pdf

SUTYRIN Y. E., 2006 - Efficient processing of the cobalt-manganese crusts of deep-sea ore deposits - Metallurgist Vol. 48, Nos 1-2 (traduit du russe) - <http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AMELL.0000027856.97259.5f#page-1>

WATLING H., 2015 - Review of Biohydrometallurgical Metals Extraction from Polymetallic Mineral Resources - Minerals 2015, 5, 1-60; doi:10.3390/min501000 - Disponible en ligne: www.mdpi.com/2075-163X/5/1/1/pdf

World Development Indicators – 2015 – Indicateurs mondiaux du développement de la Banque Mondiale – Disponible en ligne : <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>

I-4. Quels potentiels supplémentaires apporterait une extension du plateau continental juridique ?

P. COCHONAT

Experts consultés : B. LOUBRIEU, W. ROEST

1. La ZEE française – Potentiel de l’outre-mer

1.1 Introduction

Avec onze millions de kilomètres carrés de Zone Economique Exclusive, la France dispose du deuxième espace maritime mondial, après celui des États-Unis. Cet immense espace maritime, réparti dans tous les océans dote la France d’un potentiel d’une grande richesse en matière du potentiel de ressources dont l’inventaire reste, pour l’essentiel, à réaliser. Ce potentiel porte principalement sur les ressources minérales et la biodiversité.

Dans ce contexte la ZEE de Polynésie représente à elle seule 47,14 % de la ZEE française (figure 1). Elle est essentielle à l’économie locale, du fait des activités qui s’y pratiquent : pêche, aquaculture, tourisme. Cette ZEE présente aussi d’autres potentiels qui pourraient être développés, notamment la pêche hauturière ou l’exploitation des ressources minérales et des énergies renouvelables.

Les premières reconnaissances conduites lors des campagnes Nodco et Zepolyf ont en effet montré que la Polynésie française possède les encroûtements cobaltifères les plus riches actuellement connus dans les océans.

Le programme Extraplac, chargé d'instruire les dossiers de demandes d'extension du plateau continental juridique, offre l'opportunité de disposer de données nouvelles et pourra ainsi contribuer, à définir par ailleurs une stratégie d'inventaire des ressources potentielles de la ZEE et de son extension. (<http://www.extraplac.fr>). Cette stratégie se développera nécessairement dans le cadre de programmes de recherche futurs car l'aspect ressource minérale est indissociable de l'exploration scientifique et multidisciplinaire des grands fonds océaniques, comme cela a été rappelé à maintes reprises (Dyment *et al.*, 2014). Par sa surface et les premiers indices découverts, la ZEE polynésienne étendue est potentiellement l'une des zones les plus intéressantes.

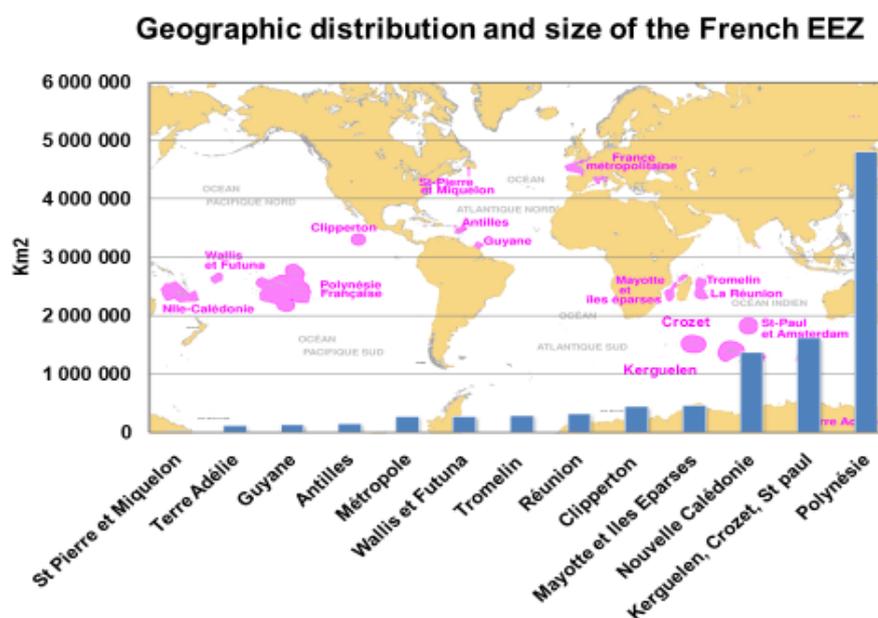


Figure 1 — Localisation et dimension des ZEE françaises Source : Y. Fouquet, 2013

1.2 Contexte géologique favorable aux ressources minérales en Polynésie française

La Zone Economique Exclusive de Polynésie française, avec une superficie de 4 804 000 km² (47,14 % de la surface totale des ZEE françaises (10 191 900 km²)) est le deuxième domaine maritime du Pacifique Sud après celui des Etats Unis, mais elle reste encore mal connue notamment en ce qui concerne la topographie de détail des fonds marins, leur nature et leurs âges. L'âge est un critère déterminant de l'épaisseur des encroûtements cobaltifères.

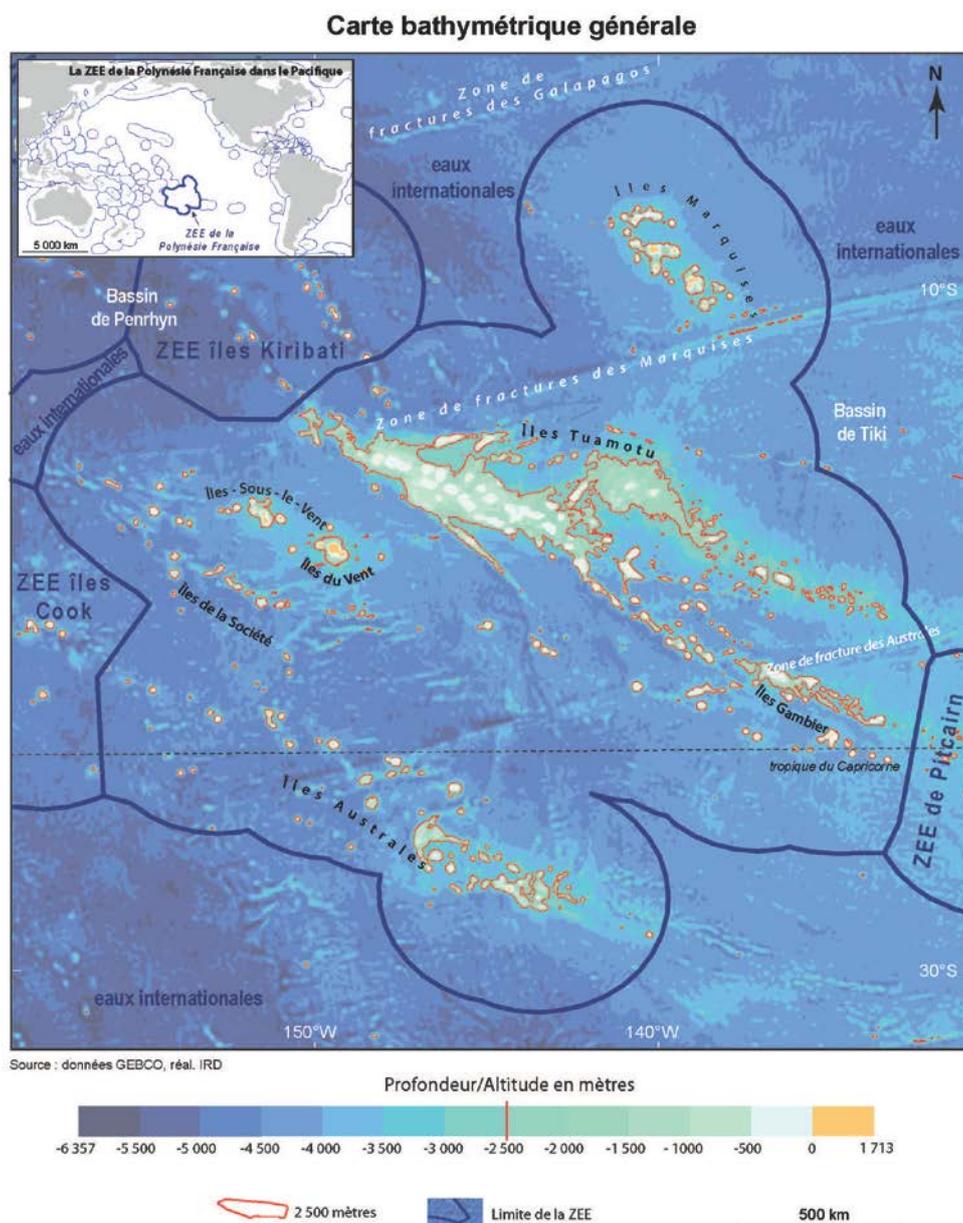


Figure 2 — ZEE de la Polynésie française : 4 804 000 km². Source : ©IRD/Service cartographie

La Polynésie française est composée d'archipels volcaniques d'environ 50 km de long, à relief émergé, parallèles et encadrant une unité géographique de 1 000 km de long, l'archipel des Tuamotu dont les atolls sont les seuls témoins émergés (figure 2). Les chaînes volcaniques sont les archipels de la Société (au Sud-Ouest), des Australes (au Sud), des Gambiers (au Sud-Est) et des Marquises (au Nord-Est)

Peu d'actions récentes ont été menées sur les ressources minérales de Polynésie, mais les premières explorations avaient permis d'identifier des indices dans divers contextes géologiques.

1.2.1 Les volcans actifs

Des explorations et plongées en submersible ont été menées dans les années 80 à Tahiti sur les volcans actifs. Des dépôts hydrothermaux principalement constitués d'oxyde de fer ont été découverts sur les volcans de Teahitia et Mehetia. Des émissions de gaz volcaniques et des dépôts d'oxyde de fer ont également été découverts plus à l'est sur le volcan de Mc Donald. Ce type de minéralisation ne présente pas de réel intérêt minier.

1.2.2 Les encroûtements cobaltifères

Les encroûtements de Polynésie française sont parmi les plus riches actuellement connus au niveau mondial. En Polynésie, les plus fortes concentrations en cobalt ont été trouvées près des Tuamotu et les encroûtements les plus riches en platine se situent sur les Îles Australes. Il existe peu de données sur la zone des Marquises. Dans la zone des Tuamotu, les croûtes forment un tapis plat et continu sur des formations sédimentaires indurées, favorable à leur excavation.

D'après Dymont *et al.* (2014) les concentrations les plus élevées (maximum de 1,9 % pour le cobalt et de 4,5 g/t de platine) sont situées en Polynésie française. Il semble plutôt raisonnable de s'accorder sur un ordre de grandeur de 1 % en Co, ce qui est conforme à différentes analyses (Pichoky, 1987 ; Jeantel-Martin, 2002 ; Bougault et Saget, 2011 ; Fouquet et Lacroix, 2012 ; rapport Créocéan, 2012 ; Fouquet *et al.*, 2013).

On estime que dans cette zone une surface de 100 km² de fond marin contient environ 10 millions de tonnes de croûtes polymétalliques, ce qui représente plus de 100 000 tonnes de cobalt et 10 tonnes de platine (pour des concentrations de 1 % en Co et de 1 g/t en Pt).

1.2.3 Les phosphates

Plusieurs indices de sédiments enrichis en phosphates sont connus sur des reliefs karstiques des lagons polynésiens, par faible profondeur d'eau. Ils ne rentrent pas dans les ressources minérales marines profondes.

1.2.4 Les nodules polymétalliques

A l'ouest de la ZEE de Polynésie française, dans le bassin de Penrhyn, des travaux récents (Hein *et al.*, 2015) ont montré l'existence de zones à nodules de manganèse dans la ZEE des Iles Cook, avec une possible extension de cette zone dans les eaux internationales jouxtant la ZEE de Polynésie française.

1.2.5 Cas particulier des terres rares

L'information de la découverte par des chercheurs japonais de stocks importants de terres rares dans des sédiments marins du Pacifique a fait l'objet de très nombreux articles dans la presse mondiale en 2011. Mais la conclusion de l'équipe japonaise qui indique qu'1 km² de sédiments de ces boues fournirait 1/5 de la consommation mondiale (1 377 tonnes en 2009) de terres rares paraît très prématurée (voir contribution I-2 sur la ressource)

2. La demande d'extension française en Polynésie

2.1 La notion de plateau continental juridique

Source utilisées : www.extraplac.fr

L'article 76 de la Convention du Droit de la mer fixe les règles qui permettent de déterminer si l'État côtier peut revendiquer un plateau continental, et d'en fixer les limites. Aux termes de cette convention, ratifiée par la France en 1996, les États côtiers ont la possibilité d'étendre les zones maritimes sous leur juridiction au-delà des 200 milles nautiques.

Ces délimitations vers la haute mer (350 milles) concernent les fonds marins et le sous-sol de la mer (à l'*exclusion des eaux surjacentes*). Les dossiers de revendication sont examinés par la Commission des Limites du Plateau Continental (CLPC).

Dans ces zones, les États côtiers disposeront de droits souverains pour l'exploitation des ressources naturelles (ressources minérales et fossiles, espèces vivant sur le fond). Il existe quand même des conditions d'exploitation :

- **Jusqu'à 200 milles**, 100 % du produit de l'exploitation revient à l'État côtier
- **Au-delà de 200 milles**, il y a un partage avec l'Autorité Internationale des Fonds Marins, qui gère les grands fonds pour le compte de l'humanité.

Pour définir la limite extérieure du plateau continental étendu conformément aux dispositions de l'article 76, il faut démontrer que sont réunies un certain nombre de conditions géologiques et morphologiques, qui argumentent le prolongement naturel du territoire terrestre et permettent de localiser le pied de la pente continentale et tracer au moins quatre lignes de référence :

Critères d'extensions :

- une ligne reliant des points fixes où l'épaisseur des roches sédimentaires est égale au centième au moins de la distance entre le point considéré et le pied de pente ;
- une ligne reliant des points situés à 60 milles du pied de pente.

Contraintes de délimitations :

- ligne située à une distance de 350 milles des lignes de base à partir desquelles la largeur de la mer territoriale est mesurée,
- ligne située à une distance de 100 milles de l'isobathe de 2500 mètres.

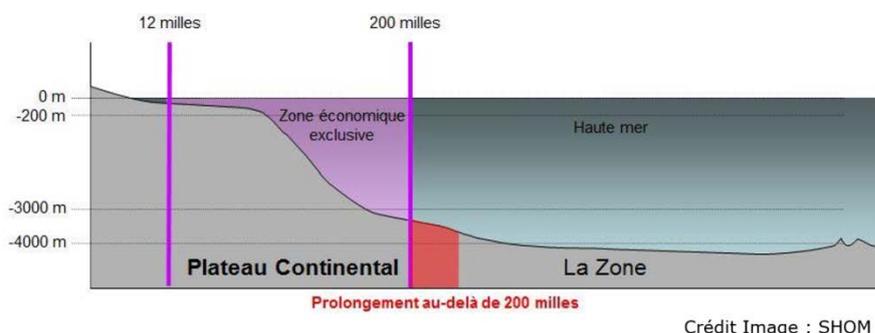


Figure 3 Coupe terre-mer représentant la morphologie des fonds marins et la définition du plateau continental juridique et son extension possible en haute mer, hors ZEE. Source : SHOM

2.2 Le programme Extraplac

Extraplac (EXTension RAisonnée du PLATEAU Continental) est le programme national pluriannuel d'extension du plateau continental, financé par l'État français. Ce programme est conduit par un consortium composé de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), maître d'œuvre du programme, du Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM), de l'Institut français du pétrole (IFPEN) et de l'Institut polaire français Paul Émile Victor (IPEV), sous la coordination du Secrétariat Général de la Mer (<http://www.extraplac.fr>).

Le projet Extraplac doit préparer les dossiers pour toutes les zones d'extension potentielle, sans faire d'études particulières sur les ressources halieutiques ou minérales. Il doit aussi dans la mesure du possible présenter des dossiers communs avec les autres États côtiers partageant le même plateau continental. La cartographie des ressources du sol et du sous-sol dans les zones revendiquées n'est pas un objectif direct du programme. Toutefois, les informations recueillies sont d'un grand intérêt pour l'élaboration de la revendication française.

Le consortium d'Extraplac travaille depuis 2003 sur l'ensemble des dossiers d'extension du plateau continental français. Ce programme permet à la France de demander auprès de la Commission des Limites du Plateau Continental de l'ONU des extensions de la ZEE française sur la base de dossiers argumentés en réponse aux critères établis par la CLPC. Pour cela plusieurs campagnes ont été conduites.

Dans le cadre du projet, une vingtaine de campagnes géophysiques ont été réalisées dans les différentes zones outre-mer dans les trois océans Pacifique, Atlantique et Indien.

Onze zones sont concernées par une demande de délimitation du plateau continental. Actuellement, la commission CLPC a examiné et émis les recommandations pour 5 d'entre elles (Golfe de Gascogne, Guyane, Antilles, Kerguelen, Nouvelle-Calédonie). Le dossier concernant l'archipel de Crozet (océan indien) est en cours d'examen. Les dossiers concernant La Réunion, Saint-Paul et Amsterdam, Wallis-et-Futuna, Saint-Pierre-et-Miquelon sont en attente auprès de la Commission

Le dossier Polynésie est le dernier dossier en cours de préparation.

Tableau 1 Estimation des surfaces d'extension du Plateau continental au delà des 200M (ces surfaces sont estimées selon les demandes soumises auprès de la CLPC sans préjuger de leur examen) Source : Consortium Extraplac 2014

Demandes proposées	Surface (Km2)	Recommandations CLPC	Remarques	Potentiel de ressources
Golfe de Gascogne	76000	2009	A partager avec l'Irlande, la Grande Bretagne et l'Espagne	?
Guyane	72000	2009		Hydrocarbures ?
Nouvelle-Calédonie-SW	76303	2009		Hydrocarbures ?
Nouvelle-Calédonie-SE	112407		Dossier retiré d'examen	Sulfures/encroûtements?
Antilles	8000	2011	(coupé par délimitation France / Barbade	?
Kerguelen	420000	2011		Encroûtements
Crozet	541288		Demande conjointe avec l'Afrique du Sud	?
St-Paul et Amsterdam	341852			Sulfures hydrothermaux ?
La Réunion	63798			?
Total demandes déposées	1711648			
Informations préliminaires				
St-Pierre-et-Miquelon	43135		(max. selon délimitation avec le Canada)	Hydrocarbures ?
Wallis-et-Futuna	17329		Demande conjointe avec le Tuvalu et le Tokelau	Sulfures hydrothermaux ?
Polynésie-française	Ma x 814842		Surface max. avec probabilité variable selon les zones d'extension et probabilité d'acceptation par la CLPC (100 000Km2 serait plus réaliste)	Encroûtements
Total Infos préliminaires	875306			

En ce qui concerne la Polynésie française, une étude théorique menée en 2003 a montré le bien fondé d'une demande française dans cette région. Le prolongement naturel de la masse terrestre s'étend potentiellement au delà des 200 milles marins dans 7 zones autour de la Polynésie française.

Le dossier concernant la Polynésie française et les îles Wallis et Futuna s'ajoute à une série de demandes partielles déjà déposées. Il s'agit des demandes déposées le 19 mai 2006. Nous venons d'apprendre (octobre 2015) que la France vient d'étendre sa juridiction sur quelque 500 000 km² de plateau continental au large de la Guyane, de la Nouvelle-Calédonie, des Antilles et des îles Kerguelen. Ainsi, en Guyane, la souveraineté française s'étend désormais à une centaine de milles au-delà de la limite des 200 milles de la zone économique exclusive (ZEE).

2.3 La demande française en Polynésie

Sources utilisées : Consortium Extraplac (2014) Rapport d'étape Extraplac Le plateau continental français Informations préliminaires – La Polynésie française et les îles Wallis et Futuna

Suite à l'étude théorique concernant la Polynésie française, l'équipe de projet a évalué les besoins en termes de données supplémentaires nécessaires pour l'instruction d'une demande complète. Il a été jugé nécessaire d'acquérir des données bathymétriques récentes et complémentaires sur des positions clés.

Une première campagne géophysique Polyplac s'est déroulée en 2012 dans une zone située au sud-est des îles Marquises. Une seconde campagne, Polyplac2, a été conduite en avril/mai 2015 dans la zone située à l'Est des Tuamotu.

A ces deux zones, s'ajoute une troisième zone à l'est des Australes qui a également été évaluée pertinente pour une demande de délimitation du plateau continental. Aucune campagne n'est actuellement programmée, toutefois le projet dispose de données géophysiques existantes sur cette zone. En conséquence, à la suite de la seconde campagne géophysique et en exploitant également les données existantes, le dépôt du dossier de demande de délimitation du Plateau Continental pour la Polynésie française pour les trois zones les plus pertinentes pourra être envisagé à moyen terme (horizon 2016).

Cependant, il ne peut pas être escompté un examen réel du dossier avant plusieurs années, en particulier du fait de la liste d'attente actuelle des dossiers reçus par la Commission.

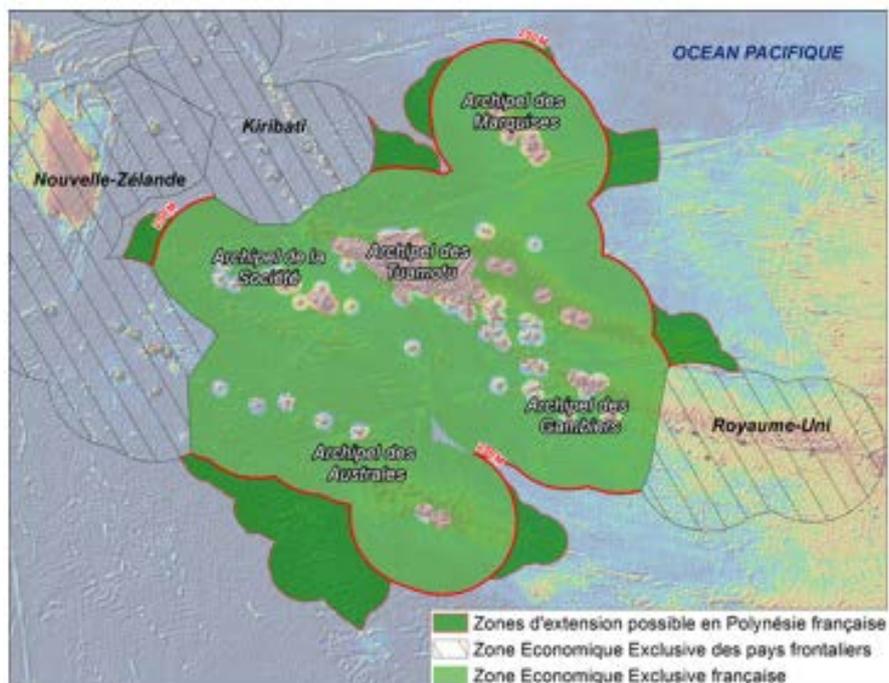


Figure 4 Position indicative de la limite extérieure du plateau continental au large de la Polynésie française en noir. En rouge (gras) la limite de 200 milles marins française. Les lignes rouges (fines) montrent les délimitations avec les pays voisins, ainsi que leurs limites indicatives de 200 milles marins (Projection : Mercator, bathymétrie satellitaire) Source : Consortium Extraplac 2014. Crédit image Ifremer

3. Sélection des zones intéressantes à explorer (Extraplac)

Les zones les plus intéressantes concernent les encroûtements cobaltifères. Elles sont associées aux élévations sous-marines intra plaques, monts sous-marins isolés, plateformes carbonatées ou alignements volcaniques ; ils caractérisent des zones dépourvues d'apports sédimentaires durant des périodes pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de Ma ; les encroûtements les plus riches semblent situés dans un intervalle bathymétrique situé approximativement entre 800 et 2 500 m.

D'après Dymont *et al.* (2014) on peut s'inspirer des travaux récents résultant de la volonté de l'AIFM de développer une réglementation (lancée en 2001 et adoptée en novembre 2012) pour l'exploration et l'exploitation des encroûtements de manganèse cobaltifères. Parmi les critères définis par

les différents auteurs pour identifier les zones les plus intéressantes, nombreux ont trait à la géomorphologie des fonds océaniques. La profondeur des monts sous-marins, leur forme et leurs dimensions, la densité de ces monts à l'échelle régionale, la présence d'atolls et la pente des flancs jouent un rôle majeur quant à la présence et/ou à l'accessibilité de la ressource. Ainsi, nous considérons comme prospectifs les groupes de monts sous-marins situés à moins de 2 500 m de profondeur présentant une forme de plateau, des pentes inférieures à 10-20°, un âge supérieur à 20 Ma. Restent à considérer les critères teneur de coupure (c.à.d. à la teneur minimale à partir de laquelle l'encroûtement sera considéré comme minéral potentiel) en cobalt, élément qui représente, pour le moment, la substance primaire d'un gisement d'encroûtement et l'épaisseur moyenne de l'encroûtement. Autant de critères qu'il convient de vérifier pour savoir où la ZEE de la Polynésie française présente tous les critères nécessaires au développement d'encroûtements potentiellement économiques.

Par exemple, parmi les zones étudiées de manière prioritaire par le programme Extraplac (au regard de l'article 76) la zone située dans le prolongement Est du plateau des Tuamotu (figure 6) s'avère très profonde et va très peu concerner de zones à substrat dur nécessaires au développement des encroûtements (voir vue 3D au large des Tuamotu de 3 000 à plus de 4 000m de profondeur, campagne Polyplac2 (2015).

D'autre part, le programme en l'état actuel, qui va bientôt arriver à son terme, n'envisage pas de demande d'extension vers l'ouest. Si un intérêt devait être porté sur les nodules existants dans cette zone, il conviendra d'y acquérir des données complémentaires sachant que la priorité pour l'étude des zones à nodules est actuellement mise sur l'entretien du permis dans la zone de Clarion Clipperton.

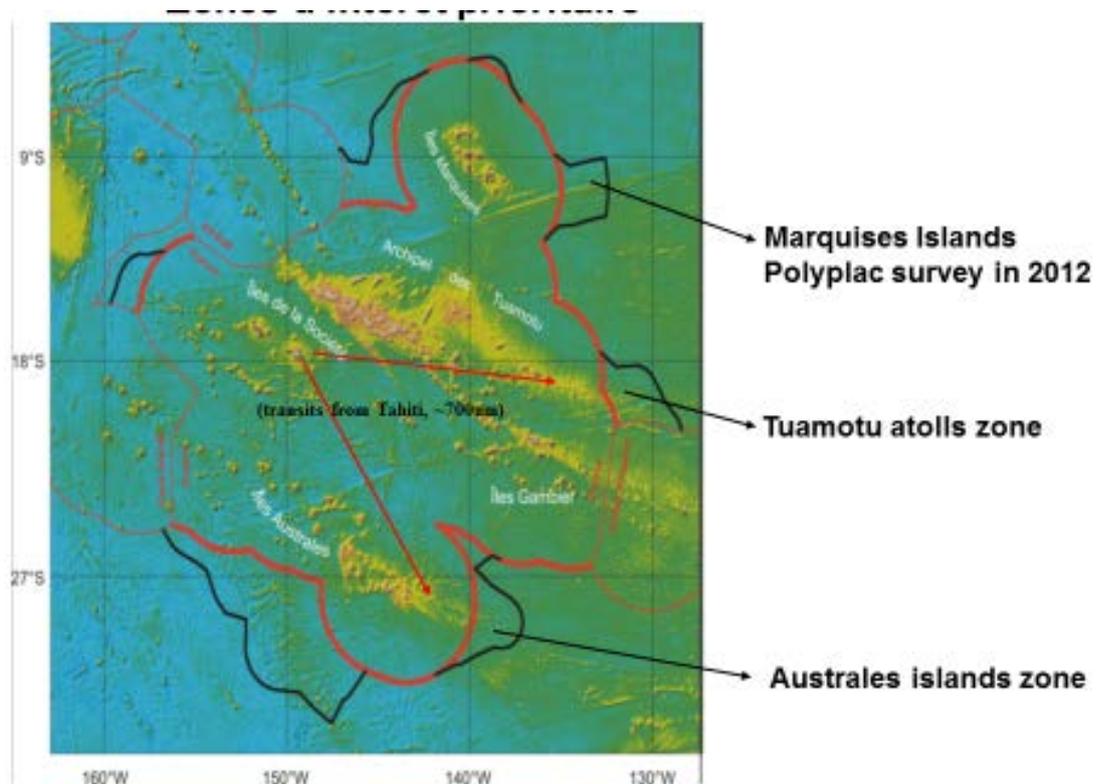


Figure 5 Zone d'intérêt prioritaire. Source : Consortium Extraplac 2014. Crédit image Ifremer

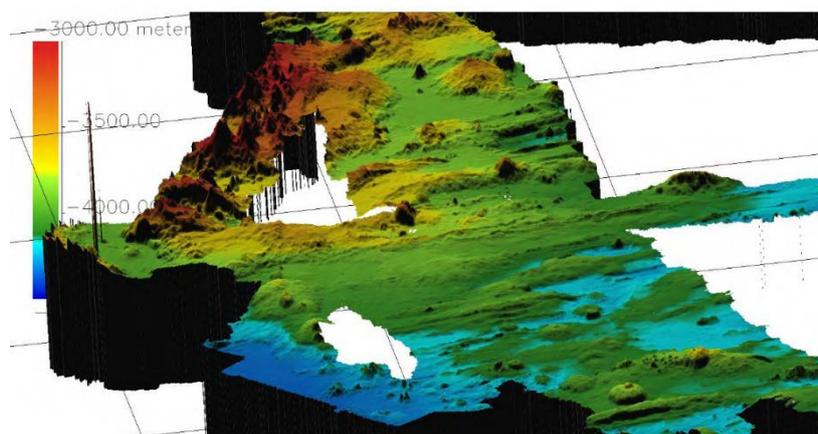


Figure 6 Vue 3D au large des Tuamotu, de 3 000 à plus de 4 000 mètres de profondeur. Source : Ifremer¹. Crédit image : Ifremer

¹ <http://wwz.ifremer.fr/cop/Polyplac2/Activite>

4. Conclusions

C'est grâce au programme Extraplac que l'extension du plateau continental sera (peut-être) obtenue, mais Extraplac n'est pas un programme d'exploration minière. Extraplac nous fournira des données préliminaires et parcellaires mais utiles pour préparer de nouvelles campagnes mettant en œuvre les moyens d'investigation adaptés pour cartographier et inventorier les ressources potentielles qui seront nécessaires pour déterminer le potentiel minier de ce domaine étendu. Il s'agira d'apporter conjointement les éléments d'évaluation des ressources et de préservation des environnements. Une solution possible pour mener à bien un tel projet serait de monter un programme du type service public post Extraplac. (voir contribution III-2, point 6 : Quel plan de campagnes pour l'exploration)

Bibliographie

BOUGAULT H., SAGET P., 2011 – Les Encroûtements Cobaltifères de Polynésie Française. Mines et Carrières 6 Industrie Minérale – oct 2011- n°185 - Hors série p 70-85

BRUNO M-J., LAMOUILLE B., (BRGM), BOUGAULT H., LE SUAVE R., FOUQUET Y., (Ifremer), BONNEVILLE (IPG Paris), TROLY (SIM), 2002 – Evaluation stratégique et prospective préliminaire des encroûtements polymétalliques sous-marins de la ZEE de la Polynésie française. Rapport confidentiel BRGM – Ifremer

Créocéan, 2012 – Etude prospective globale des activités liées à l'exploration et l'exploitation des ressources minérales océaniques profondes en Polynésie française. Rapport CREOCEAN pour le Ministère de l'Environnement de l'Energie et des Mines. Service de l'Energie et des Mines. Polynésie française.

Consortium Extraplac, 2014 – Rapport d'étape Extraplac Le plateau continental français Informations préliminaires – La Polynésie française et les îles Wallis et Futuna

DYMENT J., LALLIER F., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P.-M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coord.), 2014 – Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective, Rapport CNRS – Ifremer, 930 p. environ

FOUQUET Y., LACROIX D., 2012 – Les ressources minérales marines profondes : étude prospective à l'horizon 2030, Editions Quae.

FOUQUET Y., 2013 – "Les ressources minérales marines. État des connaissances sur l'importance des dépôts." Annales des Mines – Responsabilité et environnement n°70

Ifremer – 2011 – Synthèses des prospectives « Les ressources minérales marines profondes » et « Les énergies renouvelables, synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030 » <http://wwz.ifremer.fr/institut/Les-ressources-documentaires/Prospectives>

PICHOKY C., 1987 – Les encroûtements ferromanganésifères enrichis en cobalt du Pacifique Sud : caractéristique, génèse et signification géodynamique. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest

Site du programme Extraplac : <http://www.extraplac.fr>

Site de la campagne Polyplac2 : <http://wwz.ifremer.fr/cop/Polyplac2/Activites>

I-5. Scenarii économiques relatifs aux encroûtements cobaltifères

V. GERONIMI, P. CHRISTMANN ; P-Y. LEMEUR

1 Qu'est-ce qu'une rente économique ?

La présence d'une ressource minière n'est pas toujours synonyme de développement économique. Les nombreux débats relatifs à l'existence, ou non, d'une « malédiction des ressources » sont là pour en attester (Auty, 2007 ; Stevens, 2003). Effectivement les effets d'une rente minière sur la croissance économique, le développement humain dépendent étroitement de la gouvernance des parties prenantes au projet minier.

Concernant des activités extractives faiblement reliées au tissu économique local (le pétrole off-shore en étant l'exemple le plus poussé, l'exploitation des ressources minérales marines devrait être de même type, employant peu de ressources humaines¹), l'impact économique qui subsiste passe par le budget de l'Etat à travers le lien fiscal (impôts, taxes et redevances), à travers les politiques publiques rendues possibles grâce à ces recettes.

La rente économique est définie de façon opérationnelle comme la Valeur actualisée nette hors impôts et taxes (VAN), selon la définition du

¹ Le projet d'exploitation de l'amas sulfuré de Solwara-1 par Nautilus Minerals n'emploierait que 121 personnes (Jankowski *et al.*, 2010, tableau 19-19). Il s'agit des personnes qui travailleront sur le vaisseau de soutien à la production (PSV en anglais « Production Support Vessel »).

FMI (FMI, 2012). Une telle définition à l'avantage d'être en lien direct avec les analyses de rentabilité des projets.

Les conditions d'existence d'une rente minière dépendent de plusieurs facteurs majeurs, dont l'un est peu contrôlable par l'exploitant :

- Le cours des métaux commercialisables par l'exploitation. Ceux-ci dépendent largement des marchés mondiaux, où la volatilité des prix est la règle. Les entreprises peuvent cependant plus ou moins se protéger de cet aléa majeur par des mécanismes de couverture ;
- Les coûts de production, qui peuvent être optimisés de temps en temps, grâce à l'introduction de nouvelles technologies par exemple ;
- Les conditions-cadre applicables à l'exploitation, notamment les conditions fiscales.

Dans un calcul de rentabilité (valeur actualisée nette (VAN) – et taux de rendement interne²) la question de l'amortissement des dépenses d'exploration ainsi que des dépenses éventuelles de recherche et développement (pour développer un nouveau procédé, un nouveau type d'équipement par exemple) est un sujet particulièrement épineux, car l'investisseur va souhaiter récupérer cet investissement non inclus dans le calcul du coût en capital du projet. Dans divers grands pays miniers (Australie, Canada) les investissements en exploration ouvrent droit à réduction ou à crédit d'impôt, avec souvent un amortissement accéléré de cet investissement au cours des premières années du projet, ce qui réduit d'autant les recettes de l'État (et/ou les collectivités territoriales et locales concernées). L'absence d'un tel mécanisme est de nature à décourager les investissements en exploration minière.

Même pour des projets solidement documentés sur la base d'études de faisabilité répondant à une norme de type NI 43-101, les prévisions du niveau de rente espéré au cours de la vie du projet sont très fragiles, du fait des fluctuations importantes des cours des matières premières. Aujourd'hui, les connaissances disponibles sur les ressources minérales de Polynésie française, dont les encroûtements cobaltifères, sont trop fragmentaires pour pouvoir produire mieux qu'un scénario montrant les points clés qui, du point de vue économique, détermineront la future rentabilité du projet. Ces points clés dépendent de choix qui, en partie, nécessitent encore le

² Voir glossaire

développement de technologies adaptées. Il est rappelé ici qu'à ce jour il n'existe pas encore d'exploitations sous-marines profondes, et que les estimations de rentabilité ne s'appuient pas sur des études de faisabilité ou de pré-faisabilité au sens du NI 101-43.

Des questions extrêmement importantes relatives à l'exploitabilité et à la métallurgie des encroûtements cobaltifères sont aujourd'hui sans réponse, ce qui ne permet pas d'arrêter aujourd'hui une évaluation unique, même approximative, des coûts en capital que représenterait l'investissement en exploration, puis la mise en production d'un éventuel gisement, ni les coûts en numéraire de son exploitation, ni par conséquent le temps de récupération de l'investissement, la valeur actualisée nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI) du projet. Les estimations (scénarii) présentées ici se basent sur quelques études antérieures publiées, dont aucune n'a inclus un pilotage industriel, indispensable pour acquérir des paramètres économiques fiables. Les estimations fournies ici ne permettent que de montrer les axes de recherche et d'innovation nécessaires pour développer des technologies d'exploitation et de traitement du minerai, puis d'extraction métallurgique de tout ou partie des métaux contenus dans ces minerais polymétalliques complexes. Ces technologies n'auront de sens que si elles peuvent être mises en œuvre avec des performances environnementales et sociales satisfaisantes, discutées ailleurs dans ce rapport (voir contributions des axes II et IV).

Les potentialités économiques associées à l'exploitation des encroûtements dépendent de la rentabilité anticipée du projet, cette dernière dépendant de multiples facteurs que l'on peut regrouper en deux grandes catégories : la valorisation de la ressource (prix de vente espéré) et les coûts d'investissement et de production (dépendant de procédés, de technologies avec de nombreuses options ouvertes à ce stade préliminaire des études réalisées à l'échelle internationale). Les calculs de rentabilité économique présentés dans la littérature sont rassemblés dans la figure 1, qui permet de comparer les taux de rentabilité interne (TRI) des projets d'exploitation de nodules (les plus étudiés) avec les projets d'exploitation des encroûtements cobaltifères (deux sources : Yamazaki, 2002, 2006 et 2008 et DPED Hawaï 1987).

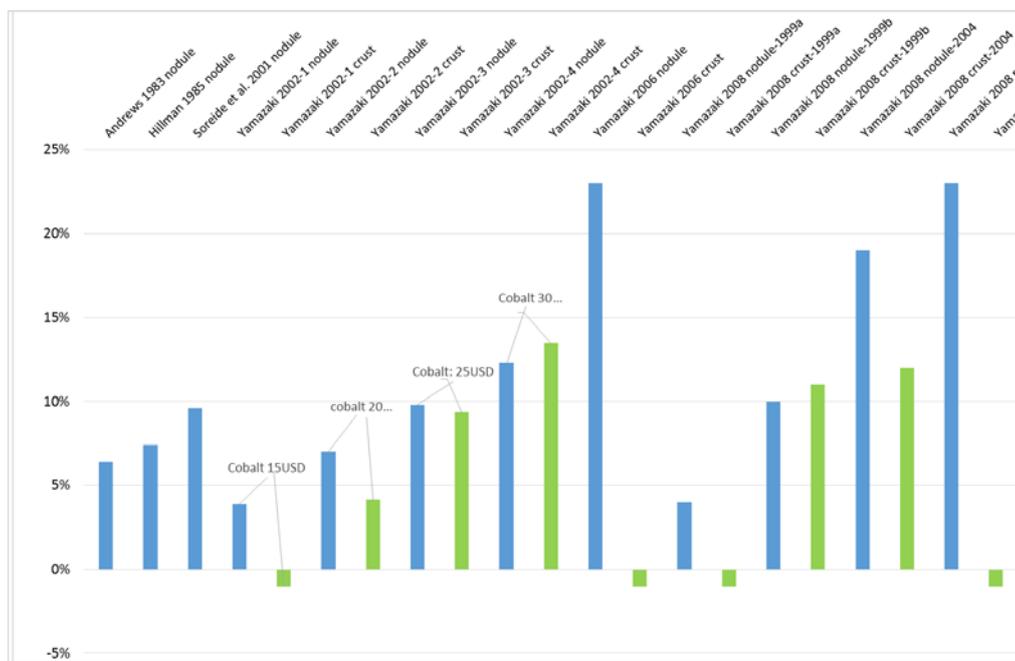


Figure 1 – Comparaison des TRI selon les auteurs, nodule et encroûtement. Source : données collectées à partir des publications de Andrews, 1983, Hilman 1985, Soreide et al., 2011, Yamazaki 2002, 2006, 2008 ; Agarwal 2012.

Comme on le voit dans la figure 1, les simulations de TRI donnent des résultats très contrastés selon les hypothèses retenues dans ces différentes études.

Les principaux facteurs expliquant ces différences d'estimation dans la rentabilité des projets d'exploitation (qu'il s'agisse de nodule ou d'encroûtement) renvoient aux hypothèses sur les prix des métaux et aux hypothèses technologiques, qui varient fortement d'un auteur (et d'une période) à l'autre. La variation est particulièrement forte selon le nombre de métaux valorisés par le scénario économique (Goto, 2010).

Ainsi, selon l'hypothèse de prix retenue, le même projet voit son TRI varier de 4 % à 23 % pour les nodules (Yamazaki, 2008) et de -1 % à 12 % pour les encroûtements (Yamazaki, 2008).

Sur l'ensemble de la littérature à laquelle nous avons eu accès, une seule configuration de prix fait apparaître le projet d'encroûtement supérieur à celui de nodules, lorsque le prix du cobalt atteint les 30 dollars américains (USD par la suite) par livre (Yamazaki, 2002). Selon le même auteur, dans différentes publications, et dans l'ensemble des autres analyses, les projets d'encroûtement sont moins rentables que les projets de nodules.

2 Eléments d'évaluation économique

Il n'existe pas aujourd'hui de référentiel solide (activités d'exploitation en cours publiant leurs paramètres techniques, économiques et leurs résultats ou, au moins, étude de faisabilité répondant à la norme NI 43-101) qui permette de formuler une estimation des paramètres économiques clés d'une éventuelle exploitation des encroûtements cobaltifères de Polynésie française. Ainsi, les éléments de calculs de rentabilité présents dans la littérature résultent de simulations basées sur des hypothèses, en envisageant, en règle générale, des scenarii alternatifs. Nous avons retenu une telle approche dans la simulation de taux de rentabilité interne selon deux scenarii, présentés plus bas (section 3).

Compte tenu du niveau d'incertitude élevé, les éléments d'évaluation économique disponibles sont limités. L'élément de comparaison le plus intéressant est l'étude sur l'exploitation des encroûtements cobaltifères situés au large de l'atoll de Johnston, situé à environ 1 300 km à l'ouest/sud-ouest d'Hawaii, étudiés pendant de nombreuses années par l'Université d'Hawaii (USA) (Zaiger, 1995 ; Loudat *et al.*, 1995, Wiltshire *et al.*, 1999). Les encroûtements y atteignent 15 cm d'épaisseur avec des teneurs en Co atteignant 1,5 %. Ces travaux n'ont pas été pris en compte ni dans la synthèse de Yamazaki (2008), ni dans celle de Goto *et al.* (2010), relatives à l'économie de l'exploitation des ressources minérales marines profondes.

Le second exemple est celui du projet d'exploitation de l'amas sulfuré de Solwara-I par Nautilus Minerals. Il apporte des éléments de comparaison économique relatifs à un projet minier en eau profonde, mais il s'agit là aussi d'une étude préliminaire.

2.1 Les leçons de Solwara

Le projet d'exploitation de l'amas sulfuré de Solwara-1, offre certains éléments de comparaison pour sa partie minière, encore très préliminaires, avec l'exploitation d'encroûtements cobaltifères en Polynésie française, une étude économique préliminaire (Jankowski *et al.*, 2010) ayant été publiée par la société Nautilus Minerals. Ces éléments sont encore très préliminaires et donc susceptibles d'être fortement révisés lorsque la réalité opérationnelle sera connue.

Solwara-1 est très différent des encroûtements cobaltifères. Il s'agit d'un amas sulfuré, lié à la présence de cheminées hydrothermales actives et fossiles, ce qui se traduit par une topographie accidentée, complexe, le

gisement se trouvant sur un bombement avec des pentes pouvant atteindre 30 % et de nombreuses cheminées hydrothermales, bien visibles sur une cartographie bathymétrique à haute résolution. La hauteur des cheminées varie entre 2 et 15 mètres. La couche minéralisée exploitable atteint, par endroits, une épaisseur minimum de 15 m.

Sur des bases paraissant technologiquement solidement argumentées, Jankowki *et al.* (2010) estiment que le coup de prélèvement des sulfures, de leur aspiration vers la surface, de leur essorage sur le bateau de collecte puis leur transport jusqu'à la terre ferme (Port de Rabaul, Papouasie-Nouvelle-Guinée) représenterait un coût en numéraire de 70,47 USD/t de minerai. Il s'agit certes d'une première estimation, non confirmée par une étude pilote susceptible d'être ajustée à la hausse comme à la baisse.

Afin de comparer des projets différents entre eux une pratique courante est de ramener les coûts et la valeur de la production à l'équivalent cuivre. Au 21/08/2015 la valeur de la tonne de minerai sec de Solwara-1 était de 569,08 USD/t, ce qui équivaut à un minerai de cuivre contenant 11.25 % de cuivre. Sur cette base les coûts en numéraire de la production minière de Solwara seraient de $70,47 \times (1/0,1125) = 626,31$ USD par tonne de cuivre.

Les coûts en numéraire de la production du cuivre sont bien documentés. Snl.com publie sur abonnement les coûts en numéraire de la partie « extraction minière » de la production, en 2013, de 170 gisements de cuivre, représentant 66 % de la production mondiale de ce métal. Le coût moyen de l'exploitation minière de ces gisements est de 2 651 USD par tonne de cuivre.

Le coût de production actuellement estimé pour Solwara-1 pourrait donc s'avérer extrêmement compétitif par rapport à l'exploitation de gisements terrestres. Toujours par comparaison avec l'exploitation des gisements de cuivre, il se situerait au 5^{ème} rang sur les 170 gisements de cuivre documentés dans la base de données snl.com. Si ce coût d'exploitation très bas est confirmé lors de l'exploitation, il ferait de ce type d'exploitation l'une des plus compétitives au monde, avant toute prise en compte des impacts environnementaux cependant.

Les encroûtements cobaltifères se trouvent souvent sur les sommets plats de guyots et sur le haut de leurs flancs. Les encroûtements présents sur les sommets ont des contrastes topographiques plus faibles que les amas sulfurés, pouvant offrir des surfaces exploitables relativement planes sur des dizaines de kilomètres carrés. Par contre, la couche minéralisée est beaucoup plus fine, entre quelques millimètres et 25 cm maximum, ce qui

peut rendre sa récupération plus délicate car il faut trouver le moyen de prélever le minerai sans prélever le substratum stérile sous-jacent, le prélèvement de ce dernier entraînant un effet de dilution et des inutiles. La microtopographie bosselée de la surface peut également poser problème pour l'efficacité de la récupération. Par contre l'exploitation de cette ressource ne devrait pas nécessiter, comme c'est le cas pour Solwara-1, deux systèmes d'excavation (« tailleurs » télécommandés).

Dans le cas de Solwara-1, à cause de la topographie accidentée du gisement, un tailleur auxiliaire doit d'abord aplanir le terrain et préparer des bancs d'exploitation, le tailleur principal n'intervenant qu'ensuite sur terrain aplani. Dans le cas des encroûtements cobaltifères sur sommets de guyots, seule l'utilisation d'un tailleur principal pourrait s'avérer nécessaire, ce qui réduirait d'autant les coûts d'investissement et les coûts opératoires, ce qui pourrait compenser en tout ou en partie la dilution du minerai par le substratum stérile.

À ce coût s'ajoutera celui des traitements du minerai à terre, nécessaire pour préparer la récupération métallurgique des métaux contenus, ainsi que le coût de ladite métallurgie.

En 2010, Jankowski *et al.* ont estimé que le coût en capital pour la partie exploitation minière, essorage et transport du minerai jusqu'à Rabaul était de 330 millions USD, incluant une marge d'imprévus de 17,5 %, hors coûts d'exploration et de recherche et développement n'entrant pas dans le calcul du coût en capital. La valeur contenue dans les ressources indiquées en métaux du gisement est 586,2 millions USD, sur la base des cours des métaux au 21/08/2015 utilisée dans ce rapport.

2.2 Les éléments disponibles d'évaluation économique dans la littérature

Diverses études existent sur le traitement métallurgique des encroûtements cobaltifères, avec des estimations préliminaires de coûts d'investissement et de coûts opératoires. A part les études de Yamazaki (voir figure 1 précédente), une seule autre publication présente des estimations de rentabilité (TRI de 7 % et VAN de 443 millions USD), celle de Goto *et al.* (2010, où on retrouve Yamazaki comme co-auteur). L'étude Ecorys 2014 retient un scénario d'absence de rentabilité des encroûtements cobaltifères (TRI négatif).

En tout état de cause les éléments présentés ici, à l'image de ceux donnés dans l'ensemble de la littérature portant sur la rentabilité de l'exploitation des encroûtements cobaltifères, tout comme des nodules, ne

peuvent être considérés que comme approximatifs et préliminaires, donnant des ordres de grandeur, en attendant qu'une étude de faisabilité au sens de la norme NI 43-101 permette de stabiliser les estimations des paramètres d'une éventuelle future exploitation.

Un ensemble de publications montre l'intérêt porté par des équipes de recherche, et à travers elles par des États ou des institutions régionales (Allemagne, Angleterre, Chine, Commission du Pacifique Sud, Corée du Sud, États-Unis, France, International Seabed Agency, Japon, Union Européenne...), à la mise en valeur des ressources minérales marines profondes, incluant notamment la valorisation des encroûtements cobaltifères, qui fait l'objet d'un important corpus de littérature scientifique et technico-économique (notamment Agarwal *et al.*, 2012 ; Charles *et al.*, 1990 ; Chung, 2005 ; Dymont *et al.*, 2014 ; Ecorys, 2014 ; Goto *et al.*, 2010 ; He *et al.*, 2011 ; Hillman et Gosling, 1985 ; Kojima, 1997 ; Martino et Parson, 2011 ; Park *et al.*, 2002 ; Soreide *et al.*, 2001 ; Yamazaki, 2006, 2008 ; Yamazaki et Tsurusaki, 1995 ; Zaiger, 1995). A nouveau, ces études concernent majoritairement les nodules polymétalliques.

2.3 Les principales questions demeurant ouvertes à ce jour

1. La localisation et les caractéristiques de la ressource potentiellement exploitable (surface couverte par les encroûtements, épaisseur des encroûtements, composition, densité *in situ* et à sec, variation en 3D de la composition et des épaisseurs),
2. La détermination économique et environnementale de la technique la plus performante pour récupérer sélectivement les encroûtements minéralisés en fonction de la topographie ;
3. Les taux de dilution et de récupération (métal récupéré après le traitement métallurgique de la ressource / métal contenu dans la ressource) qui en résulterait ;
4. Les rythmes de production (par jour, par an)
5. Les investissements en capital et les coûts en numéraire de la production.

La littérature disponible n'apporte que des éléments de réponse encore partiels à ces questions.

Les différents calculs de rentabilité que l'on trouve dans la littérature aboutissent à la conclusion que les projets d'encroûtement cobaltifère sont globalement peu rentables, et dans tous les cas de figure, moins rentables que les projets nodules, à l'exception d'une simulation effectuée par Yamazaki (Yamazaki 2008, voir figure 1 précédente).

L'intérêt de considérer les encroûtements cobaltifères dans la ZEE de la Polynésie française repose, non seulement sur les superficies importantes, mais aussi sur les teneurs plus élevées en cobalt des échantillons prélevés lors des différentes campagnes d'exploration, par rapport aux teneurs considérées dans les simulations de rentabilité effectuées dans la littérature (1,1 % de Co contre 0,63 % pris en considération par Yamazaki). On peut alors considérer que les caractéristiques des encroûtements cobaltifères en Polynésie française pourraient être susceptibles de montrer à terme un niveau de rentabilité suffisant pour motiver leur mise en exploitation.

Compte tenu du niveau élevé d'incertitude pesant sur les paramètres géologiques et économiques, qui explique aujourd'hui l'absence d'études de faisabilité (au sens du NI 101-43), ce point ne pourra être tranché qu'avec des informations supplémentaires, issues de futures campagnes d'exploration.

Pour illustrer les enjeux économiques d'un projet d'encroûtement cobaltifère, faute d'informations suffisantes, nous proposons alors une simulation de sa rentabilité et de ses impacts macroéconomiques. Pour mener à bien cette simulation nous discutons des hypothèses dans deux scénarii alternatifs, un scénario de base et un scénario favorable. Rappelons ici qu'un scénario n'est pas une prédiction ou une prévision. Il permet de repérer les variables clés, celles qui jouent un rôle déterminant dans la rentabilité du projet. Un tel scénario a l'avantage de préciser les ordres de grandeur vis-à-vis de l'économie de la Polynésie française.

3 Scénarii de mise en œuvre d'un projet minier

Compte tenu du niveau élevé de ces incertitudes, affectant le calcul de la rente, présenter des estimations de celle-ci pour la Polynésie française, ne peut s'envisager que sous la forme de scénarii visant à préciser les ordres de grandeurs et les enjeux économiques associés. Il ne s'agit donc pas de procéder à une étude de faisabilité ou de rentabilité, faute d'informations suffisantes³. Nous proposons ainsi deux scénarii interrogeant les conditions

³ De telles études supposent par ailleurs de disposer de moyens qui dépassent le cadre de la présente étude.

qui permettraient de réaliser une rentabilité suffisante pour un projet d'exploitation des encroûtements cobaltifères dans la ZEE de la Polynésie française.

Le premier scénario « scénario de base » est une adaptation directe des hypothèses retenues par Yamazaki, en adoptant les teneurs moyennes des encroûtements cobaltifères prélevés dans trois zones de la ZEE de la Polynésie française (Kaukura, Tarava, Tuamotu) et en corrigeant les coûts de production par les volumes traités.

Le deuxième scénario « scénario favorable » considère un volume de production plus important, correspondant à 10 % du marché mondial du cobalt en 2014, soit 10 000 tonnes (contre 4 500 tonnes dans le premier scénario).

Ces scénarii permettent de préciser les hypothèses clés et de disposer d'ordres de grandeur économique sur la rente, qui situent le projet dans la macro-économie de la Polynésie française.

3.1 Les scénarii : jeux d'hypothèses

3.1.1 Métaux exploités

Les métaux d'intérêt considérés dans les scénarii sont le cobalt, le nickel et le cuivre. Par rapport au raisonnement en termes de valeur *in situ*, qui prend aussi en compte la valeur liée, notamment, au manganèse, au titane et au platine, on considère dans la littérature simulant la rentabilité des projets miniers, que ces métaux ne feront pas l'objet de valorisation (à la notable exception de Goto *et al.* 2010)⁴. Deux sortes d'explications sont mobilisées pour expliquer cette non-valorisation. Les premières renvoient aux perspectives limitées sur le marché global pour ces métaux (voir I-3), les deuxièmes renvoient aux coûts associés à l'exploitation de ces autres métaux. Même si le coût marginal d'extraction de ces minerais est nul (car les encroûtements seraient déjà extraits), l'essentiel du surcoût découlerait de la phase de transformation métallurgique (phase qui représente plus de 50 % du coût total)⁵.

⁴ Dans l'article de Goto *et al.* (2010), le scénario de base produit un TRI négatif (-10 %) si on ne considère que les trois métaux, cobalt, cuivre, nickel. La prise en compte des autres métaux (manganèse, titane, platine, terres rares,...) peut améliorer la rentabilité du projet jusqu'à un TRI de 7 % dans la meilleure des configurations, ce qui reste insuffisant aujourd'hui pour susciter l'intérêt d'un investisseur potentiel. La teneur en cobalt considérée ici est deux fois inférieure à celle indiquée dans les échantillons prélevés en ZEE de la Polynésie française.

⁵ Ceci explique pourquoi l'intégration de métaux supplémentaires dans l'analyse de rentabilité peut conduire à une baisse de rentabilité (cf. Goto *et al.*, 2010).

3.1.2 Dimension et horizon temporel du projet

La durée classiquement envisagée dans la littérature est de 20 ans en phase de production. A cette durée d'exploitation, il faut ajouter la période de construction et de montée en puissance. Conformément aux paramètres retenus par Yamazaki, une période de 5 ans sans production est envisagée, avec une production à 50 % pour la sixième année.

Nous retenons par ailleurs un objectif de production correspondant à 4 500 tonnes de cobalt par an dans le scénario de base, et à 10 000 tonnes de cobalt par an (correspondant à 10 % de la production mondiale, voir I-3) dans le scénario favorable.

3.1.3 Localisation

Trois zones en ZEE ont fait l'objet de prélèvements montrant la présence d'encroûtements cobaltifères avec des teneurs importantes en cobalt (voir I-1) : Kaukura, Tarava, et Nord-Est Tuamotu.

3.1.4 Caractéristiques géologiques

Les informations présentées par Bonneville en 2002 ainsi que Bougault et Saget 2011, Hein 2013, montrent des teneurs assez élevées pour le cobalt (par rapport aux nodules et par rapport à d'autres zones) conduisant à retenir les paramètres présentés dans le tableau 1 pour les teneurs, l'épaisseur des encroûtements (He *et al.* 2011) et la densité. Nous retenons dans les deux scénarii les teneurs des minerais rapportés pour les Tuamotu, zone de Kaukura/Niau (Martel-Jantin *et al.*, 2011 ; reproduit dans le tableau 1 ci-dessous).

Tableau 1 – Hypothèses teneur (Source : Martel-Jantin *et al.* 2001 (35 échantillons))

Métaux	Hypothèses teneurs
Cobalt	1,06 %
Nickel	0,61 %
Cuivre	0,11 %

3.1.5 Processus industriel et taux de récupération

Il s'agit d'un point important de recherche concernant les procédés les plus adaptés, avec l'objectif d'amélioration des taux de récupération en fonction des recherches et développement. Le process proposé par Yamazaki (Yamazaki *et al.* 2002, Yamazaki 2008), est l'un des rares mobilisés dans l'étude économique des encroûtements cobaltifères dans la

littérature (figure 2). Les options restent ouvertes aujourd'hui. Par défaut, nous adaptons les paramètres retenus par Yamazaki aux caractéristiques de la ZEE de la Polynésie française.

Deux grandes options sont envisageables : soit une transformation métallurgique locale, soit un processus totalement off-shore. Pour la simulation de la rentabilité nous considérons ici un processus totalement off-shore (similaire à celui envisagé par Yamazaki). Le développement d'un processus on-shore (avec par exemple l'installation d'une usine de transformation métallurgique en Polynésie française), compte tenu des contraintes d'infrastructures et de coûts (énergie, main d'œuvre), paraît aujourd'hui une perspective peu probable, qui mériterait néanmoins des études plus poussées. Il serait effectivement nécessaire de disposer d'informations supplémentaires pour juger de l'opportunité d'envisager le développement d'une usine métallurgique en Polynésie française, et d'évaluer les possibilités de maximiser les retombées pour l'économie de la Polynésie française.

Pour tenir compte de l'impact de la hausse des quantités de cobalt traitées sur les coûts, nous avons appliqué la formule proposée par la JATEC (JATEC, 1993, cité par Yamazaki, 2008) avec rendements décroissants. D'autre part, nous avons actualisé les valeurs retenues (coûts et prix) à l'année 2006 pour la simulation économique (voir tableaux 2 et 3).

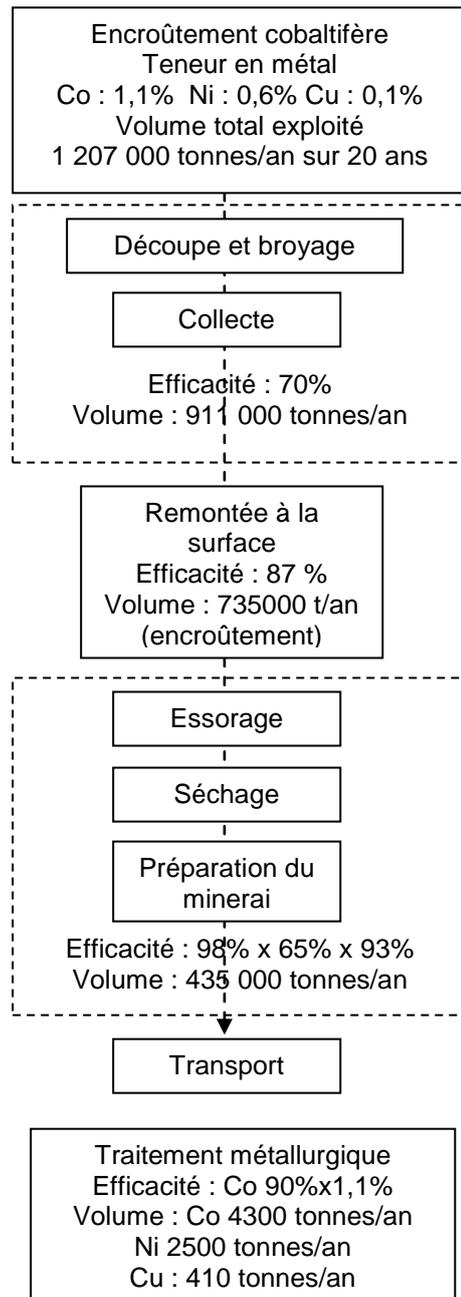


Figure 2 – Processus de valorisation des encroûtements (Yamazaki 2008), et scénario pour la Polynésie française (Kaukura) (Source : d'après Yamazaki et al. 2002, Yamazaki 2008, adapté selon les concentrations en métaux rapportées par Bougault et Saget 2011).

Tableau 2 – Total coût d'investissement encroûtement cobaltifère (Source : d'après Yamazaki 2008, et calculs auteurs)

Opérations	Yamazaki 2008		Scénario de base		Scénario favorable	
	Coût en capital	Operating cost	Coût en capital	Operating cost	Coût en capital	Operating cost
Extraction	107	31	107	31	107	31,2
Préparation du minerai	29	10	29	10	29	10,2
Transport	46	16	46	16	46	16
Traitement	224	30	275	37	457	61
Total	406	87	457	94	638	119
Continuing expenses	165		165		165	
Working capital	153		153		153	
Investissement total	724		775		956	

Note : Les valeurs ont été ajustées pour tenir compte de l'impact de la hausse des volumes de métaux produits sur les coûts de production, pour une même quantité de minerai extraite, en utilisant la formule de rendements d'échelles croissants proposée par le JATEC (utilisé par Yamazaki 2008 ; JATEC, 1993).

Les hypothèses concernant le financement du projet selon les deux scénarii envisagés sont rapportées dans le tableau suivant (tableau 3).

Tableau 3 – Hypothèses de financement (Source : d'après Yamazaki, ajusté pour l'augmentation des coûts dans le scénario retenu)

	Scénario de base	Scénario favorable
Capital emprunté (Mns USD)	542	674
Capitaux propres (Mns USD)	232	289
Taux d'intérêt	0,03	0,03
Période de remboursement (années)	12	12
Montant fixe de remboursement annuel (Mns USD)	-54	-68

3.1.6 Prix

Les fluctuations des cours des matières premières minérales sont importantes, et se traduisent par une forte incertitude dans la prévision des cours. Comme le montre une analyse rétrospective des prévisions de cours retenues dans les calculs de rentabilité des projets de nodule et d'encroûtement, les marges d'erreur sont importantes et affectent fortement les résultats.

Pour effectuer une simulation des revenus bruts, nous avons retenu la moyenne des prix des trois principaux métaux d'intérêt (cobalt, nickel et cuivre, tableau 4) sur les trente dernières années, selon l'hypothèse d'un super-cycle (Erten et Ocampo 2013)⁶. Compte tenu de la mauvaise visibilité de l'évolution des cours à moyen-long terme, nous présentons pour chacun des deux scénarios l'effet de différentes hypothèses de cours sur la rentabilité d'un projet d'encroûtements.

Tableau 4 – Hypothèses de prix (Source : USGS pour les prix constants 1998, prix déflatés pour 2006 en utilisant le CPI US.)

USD/tonne	Prix constant 1998	Prix déflatés 2006	Scénarii Prix déflatés 2006 +60%
Cobalt	32737	40514	64822
Nickel	10821	13392	13392
Cuivre	3284	4064	4064

Pour le scénario favorable, seul le prix du cobalt a été augmenté de 60%.

3.2 Le scénario de base : une rentabilité limitée

Pour le scénario de base, on obtient une simulation de la rentabilité, dans la lignée des travaux de Yamazaki, adaptée aux conditions géologiques des trois zones d'intérêt dans la ZEE de Polynésie. Il s'agit bien ici d'une simulation, car le degré d'incertitude affectant les paramètres géologiques est directement proportionnel au nombre limité de points effectivement échantillonnés.

⁶ Un super-cycle dans les prix est un cycle de longue période (supérieur à 15 ans en général) au cours duquel on trouve une période de hausse, de plafond, puis de baisse jusqu'à un plancher du prix.

Cette première simulation conduit à un TRI de 4 % trop faible⁷ pour envisager le démarrage d'un projet minier. (Tableau 5).

Tableau 5 – Sensibilité du TRI d'un projet encroûtement type Kaukura aux hypothèses de cours du cobalt

Hypothèses de prix USD/tonnes	Cobalt	Nickel	Cuivre	TRI
Moyenne 1984-2013 base 1998	32737	10821	3284	
Moyenne 1984-2013 base 2006 (2)	40514	13392	4064	4,0%
(2) + 10%	44565	"	"	5,4%
(2) +20%	48616	"	"	6,6%
(2) +30%	52668	"	"	7,7%
(2) +40%	56719	"	"	8,7%
(2) +50%	60770	"	"	9,7%
(2) +60%	64822	"	"	10,6%
(2) +70%	68873	"	"	11,4%
(2) +80%	72924	"	"	12,2%
(2) +90%	76976	"	"	13,0%
(2) +100%	81027	"	"	13,7%

Source: calculs des auteurs

A quelles conditions un projet de mise en exploitation des encroûtements cobaltifères pourrait-il devenir rentable ? La principale évolution qui serait susceptible d'assurer (sous réserve toujours du degré élevé d'incertitude affectant les données disponibles...)⁸ la rentabilité économique d'un tel projet tient à l'évolution des prix. Une simple étude rétrospective de l'estimation de TRI dans les projets nodules et d'encroûtement conduit ainsi à souligner la forte sensibilité des TRI aux hypothèses portant sur les prix des métaux (tableau 6).

⁷ On considère (FMI, Banque mondiale) qu'un TRI de 10 % est un minimum pour inciter les agents privés à investir dans un projet. Pour les projets miniers, les TRI moyens considérés sont souvent beaucoup plus élevés (de l'ordre de 30%).

⁸ Une autre possibilité envisageable serait d'intégrer le manganèse (mais effet attendu d'effondrement des cours) et le platine.

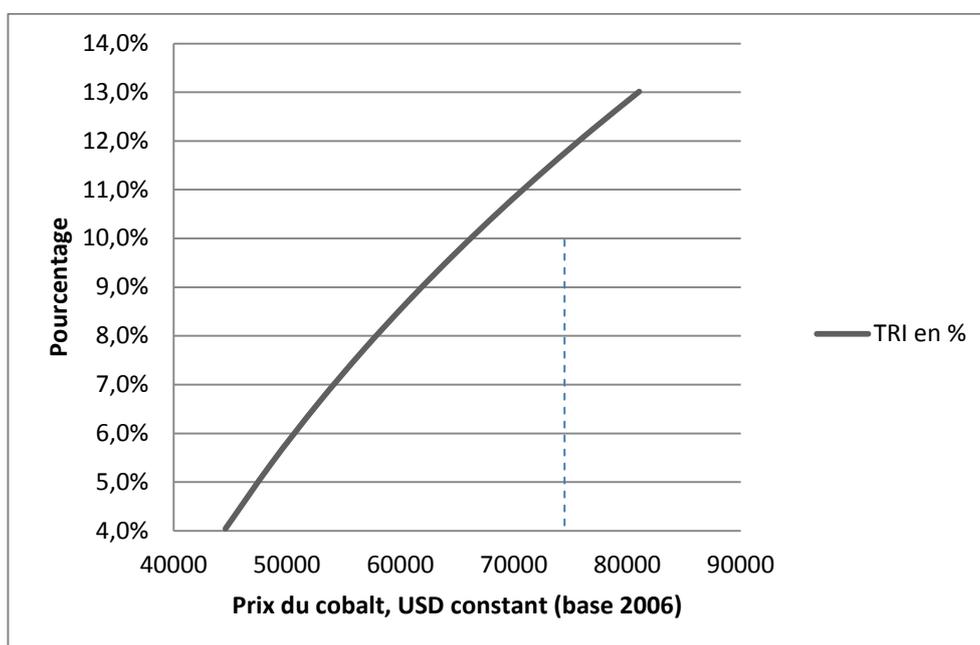
Tableau 6 – Comparaison des TRI obtenus dans la littérature selon les hypothèses de prix considérées (nodules et encroûtements).

Estimation prix USD/lb	Nickel	Cuivre	Cobalt	Manganèse	TRI
Andrews 1983 nodule	3,75	1,25	5,5	0,4	6%
Hillman 1985 nodule	3,62	1,17	8,53		7%
Soreide <i>et al.</i> 2001 nodule	3,33	1	20		10%
Yamazaki 2002-1 nodule	3,3	1	15		4%
<i>Yamazaki 2002-1 crust</i>	<i>3,3</i>	<i>1</i>	<i>15</i>		<i>-1%</i>
Yamazaki 2002-2 nodule	3,3	1	20		7%
<i>Yamazaki 2002-2 crust</i>	<i>3,3</i>	<i>1</i>	<i>20</i>		<i>4%</i>
Yamazaki 2002-3 nodule	3,3	1	25		10%
<i>Yamazaki 2002-3 crust</i>	<i>3,3</i>	<i>1</i>	<i>25</i>		<i>9%</i>
Yamazaki 2002-4 nodule	3,3	1	30		12%
<i>Yamazaki 2002-4 crust</i>	<i>3,3</i>	<i>1</i>	<i>30</i>		<i>13%</i>
Yamazaki 2006 nodule	9,9	2,97	15,84		23%
<i>Yamazaki 2006 crust</i>	<i>9,9</i>	<i>2,97</i>	<i>15,84</i>		<i>-1%</i>
Yamazaki 2008 nodule-1999a	3,30	1,00	15		4%
<i>Yamazaki 2008 crust-1999a</i>	<i>3,30</i>	<i>1,00</i>	<i>15</i>		<i>-1%</i>
Yamazaki 2008 nodule-1999b	3,30	1,00	25,00		10%
<i>Yamazaki 2008 crust-1999b</i>	<i>3,30</i>	<i>1,00</i>	<i>25,00</i>		<i>11%</i>
Yamazaki 2008 nodule-2004	6,28	1,26	26,8		19%
<i>Yamazaki 2008 crust-2004</i>	<i>6,28</i>	<i>1,26</i>	<i>26,8</i>		<i>12%</i>
Yamazaki 2008 nodule-2006	10,00	3,00	16		23%
<i>Yamazaki 2008 crust-2006</i>	<i>10,00</i>	<i>3,00</i>	<i>16</i>		<i>-1%</i>

(Sources : d'après Andrews 1983, Hillman 1985, Soreide *et al.* 2001, Yamazaki *et al.* 2002 et Yamazaki 2008. Notes : crust pour encroûtements, en italique dans le tableau)

Le tableau 6 et la figure 3 rapportent l'évolution du TRI dans le scénario de base en fonction des hypothèses de prix. On voit que pour qu'un projet d'encroûtement cobaltifère atteigne une rentabilité plancher de 10 %, il faut atteindre des niveaux de prix supérieurs de 60 % à celui atteint en moyenne sur la période 1984-2013.

Figure 3 – Sensibilité du TRI (scénario de base) aux hypothèses de prix



(Source : auteurs, tableau 6)

Dans le scénario de base, la perspective que s'engage une exploitation des encroûtements cobaltifères sur la ZEE de Polynésie française paraît très improbable à court et moyen terme. Cette perspective dépend notamment du niveau de prix du cobalt.

Dans un tel scénario, en retenant l'hypothèse d'un prix du cobalt supérieur de 60 % à son niveau moyen entre 1984 et 2013, les impacts macroéconomiques pour l'économie polynésienne seraient limités.

L'indicateur le plus pertinent pour mesurer la valeur du projet reste la VAN (FERDI 2013, FMI 2012). Celle-ci demeure la façon la plus simple d'estimer la rente économique (i.e. la différence entre les revenus et les dépenses liées à la production).

Nous avons calculé la VAN dans le scénario de base, avec l'hypothèse de prix du cobalt supérieur de 60 % à leur niveau moyen sur la période 1984-2013, ce qui permet de disposer d'un ordre de grandeur économique de la valeur actuelle du projet. Pour ce faire, nous avons envisagé un taux d'actualisation de 10 %, qui correspond à un niveau minimal. La VAN s'établirait à 58 millions USD. Il est intéressant de mettre en regard ce résultat avec le PIB, principal indicateur de l'activité économique de la Polynésie française. Pour ce faire, nous avons utilisé le PIB réel 2011 (base 2005), directement comparable avec les valeurs que nous avons simulées pour 2006 dans le scénario de base +60, et que nous avons converties en USD (tableau 7).

Tableau 7 – le PIB de la Polynésie française en 2011

Colonne1	2011
PIB prix courants (Mds F CFP)	532
PIB réel (Mds F CFP base 2005)	509
Taux de change USD-Euro 2006	1,3244
Taux de change Euro-F CFP	119
PIB réel (Mds USD base 2005)	5,665

Source : d'après ISPS.

Les résultats obtenus permettent de relativiser les revenus attendus dans un tel scénario.

Tableau 8 – Poids des revenus et coûts dans le PIB de la Polynésie française (scénario de base + 60)

Scénario Favorable	Part dans le PIB 2011
Revenu annuel brut	5,5%
Revenu annuel net	2,9%
Coût opérationnel	1,7%
Coût financier	1,0%
<i>Investissement total</i>	<i>13,7%</i>
<i>VAN (taux d'actualisation 10%)</i>	<i>1,0%</i>

Source : auteurs. Notes : les revenus nets positifs n'apparaissent qu'à partir de la 5^e année de démarrage du projet.

Sans préjuger de la répartition des coûts et revenus du projet entre les parties prenantes (au sein de la Polynésie française et avec les opérateurs internationaux), un tel projet dans le scénario de base apporterait des revenus nets annuels qui représenteraient 2,9 % du PIB sur les 20 ans de production effective de celui-ci, sans tenir compte des 5 premières années d'initialisation de celui-ci. La VAN permet alors de disposer d'une meilleure indication de la valeur économique du projet, qui ne représenterait que l'équivalent de 1 % du PIB de 2011 (rappelons que la VAN est une mesure de stock, alors que le PIB est une mesure de flux).

3.2.1 Simulation de la rente économique totale

Dans les simulations auxquelles nous avons procédé jusqu'ici, en suivant le modèle de Yamazaki, les impôts et taxes sont intégrées dans le calcul de la VAN, ce qui ne laisse apparaître que la rente économique qui serait captée par l'opérateur minier.

Il est alors intéressant de disposer d'une mesure de la VAN avant prélèvement des impôts et taxes. La VAN avant impôts et taxes est une mesure de la rente économique totale avant répartition entre les différentes parties prenantes.

A partir du scénario de base +60, nous avons procédé à une simulation de la VAN avant impôts et taxes. Pour ce faire, nous avons corrigé la simulation précédente des 30 % d'impôts sur le bénéfice intégré jusqu'alors (tableau 9).

Tableau 9 – Principaux éléments économiques du scénario de base +60 (hors impôts)

	Mns USD
Investissement total (Mns USD)	775
Operating cost (Mns USD)	94
Coût financier (Mns USD)	54
Revenus bruts (Mns USD)	314
<i>Revenus nets hors impôts (Mns USD)</i>	<i>215</i>
<i>VAN hors impôts (taux d'actualisation 10%)</i>	<i>334</i>
<i>TRI hors impôts</i>	<i>13,1%</i>

Source : auteurs à partir de Yamazaki 2008

La VAN hors impôts et taxes est multipliée par 6 par rapport à l'estimation précédente. Le poids de la VAN hors impôts représente désormais 6 % du PIB de 2011, soit un montant plus significatif, mais relativement faible.

Afin d'évaluer la part de la rente économique qui serait captée par l'État, nous avons simulé le Taux Effectif Moyen d'Imposition (TEMI) en tant qu'indicateur du partage de la rente (FMI 2012 ; FERDI 2013). La formule de calcul du TEMI est :

$$\text{TEMI} = \frac{\text{Valeur actualisée des impôts, droits et taxes prélevés sur le projet}}{\text{VAN du projet avant impôts, droits et taxes}}$$

Dans la simulation effectuée ici, on trouve un TEMI qui dépasserait les 100 % de la VAN hors impôt. Autrement dit, la fiscalité, grossièrement simulée ici, à travers un prélèvement d'un IS de 30 % viendrait réduire le rendement attendu pour les opérateurs du projet en-dessous du seuil plancher de 10 % (hypothèse initiale d'un taux d'actualisation de 10 %).

Au final, le scénario de base +60 à partir duquel nous avons procédé à des simulations de la rentabilité économique d'un projet d'encroûtement cobaltifère et de ses enjeux économiques appuie l'idée que les conditions de démarrage d'un tel projet ne sont pas encore réunies. On retrouve là une conclusion largement partagée dans la littérature (Ecorys 2012, ensemble des études de Yamazaki).

Au-delà du degré très élevé d'incertitude, qui découle d'un manque de données fiables sur les caractéristiques géologiques et les conditions techniques de mise en œuvre de tels projets, les simulations montrent que la rente économique associée au développement d'un tel projet, même selon une hypothèse de cours très favorable pour le cobalt, ne constituerait pas un apport de ressources fiscales significatifs pour la Polynésie française, sans risquer de remettre en cause l'incitation des opérateurs à participer à un tel projet. Ainsi, un IS de 30 % remettrait en cause la rentabilité du projet pour les opérateurs, pourtant supposée faible dans ce scénario (10 %). Non seulement, dans ce scénario de base, l'activité ne permettrait pas de dégager une rémunération pour l'accès à la ressource naturelle, de plus, elle devrait bénéficier d'un taux d'IS inférieur à celui pratiqué dans les autres secteurs productifs. Une leçon importante à retenir de ce scénario est qu'il n'y a pas d'intérêt, ni du point de vue de la Polynésie française, ni de celui des opérateurs privés, à précipiter le montage d'un projet d'encroûtement dès lors que les conditions minimales de rentabilité ne sont pas réalisées.

3.3 Un scénario favorable « F+60 »

A quelles conditions un projet d'encroûtement cobaltifère deviendrait-il rentable ? Il suffit de considérer une augmentation du volume de cobalt produit dans le projet jusqu'à 10 000 tonnes (soit 10 % du marché mondial) pour que change fortement la rentabilité d'un projet d'encroûtement. Un tel niveau de production permettrait à la Polynésie française de devenir un acteur de poids dans le marché mondial du cobalt tout en évitant un effet dépressif sur les prix. Cela supposerait toutefois, comme dans le scénario de base, un marché mondial du cobalt très porteur.

Le TRI simulé selon les hypothèses retenues dans ce scénario favorable atteindrait 14,5 %, en retenant les prix moyens du cobalt sur la période 1984-2013 (tableau 10).

Cette simulation basée sur un scénario favorable conduit donc à un TRI significativement plus important que dans le scénario de base, supérieur à la valeur plancher de 10 %. Il reste toutefois relativement faible par rapport aux TRI moyen des projets miniers terrestres, mais s'en rapproche⁹.

Le tableau 10 et le graphique 3 rapportent l'évolution du TRI pour un projet type encroûtement en fonction des hypothèses de prix dans le

⁹ On considère (FMI, Banque mondiale) qu'un TRI de 10 % est un minimum pour inciter les agents privés à investir dans un projet. Pour les projets miniers, les TRI moyens considérés sont souvent beaucoup plus élevés (de l'ordre de 30 %).

scénario favorable. On voit que pour qu'un projet d'encroûtement cobaltifère atteigne une rentabilité de 20 %, il faut atteindre des niveaux de prix supérieurs de 60 % à celui atteint en moyenne sur la période 1984-2013.

Tableau 10 – Sensibilité du TRI d'un projet encroûtement aux hypothèses de cours du cobalt (scénario favorable)

Hypothèses de prix USD/tonnes	Cobalt	Nickel	Cuivre	TRI
Moyenne 1984-2013 base 1998	32737	10821	3284	
Moyenne 1984-2013 base 2006				
(2)	40514	13392	4064	14,2%
(2) + 10%	44565	"	"	15,4%
(2) +20%	48616	"	"	16,6%
(2) +30%	52668	"	"	17,7%
(2) +40%	56719	"	"	18,7%
(2) +50%	60770	"	"	19,7%
(2) +60%	64822	"	"	20,6%
(2) +70%	68873	"	"	21,5%
(2) +80%	72924	"	"	22,4%
(2) +90%	76976	"	"	23,2%
(2) +100%	81027	"	"	24,0%

Source: calculs des auteurs

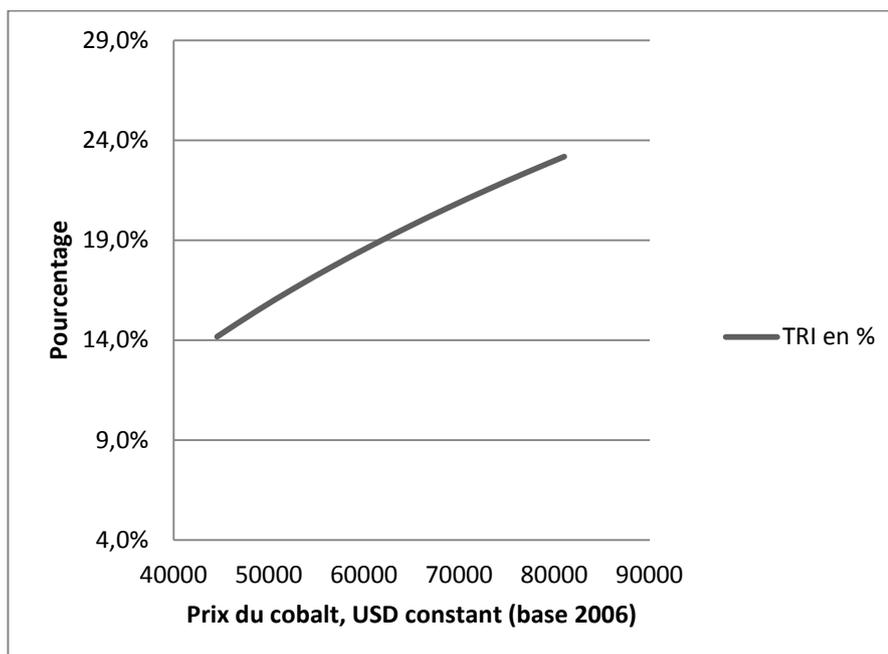


Figure 4 – Sensibilité du TRI (scénario favorable) aux hypothèses de prix
Source : auteurs, tableau 10.

A titre d'illustration, nous avons retenu dans le scénario favorable l'hypothèse d'un prix du cobalt supérieur de 60 % au prix moyen sur la période 1984-2013 (scénario favorable +60), qui permettrait d'atteindre un TRI de 20 % afin d'en présenter les enjeux économiques pour la Polynésie française. Là encore, il convient de rappeler qu'il s'agit d'un scénario hypothétique à portée essentiellement illustrative.

Les principales caractéristiques économiques du scénario « favorable + 60 » (F+60) sont présentées dans le tableau 11 ci-après.

Tableau 11 – Principales caractéristiques du scénario F+60

	Mns USD
Investissement total (Mns USD)	956
Operating cost (Mns USD)	119
Coût financier (Mns USD)	68
Revenus bruts (Mns USD)	735
Revenus nets (Mns USD)	548
VAN (taux d'actualisation 10%)	1787
TRI (%)	20,6%

Source : simulations auteurs. Notes : le projet s'étale sur 25 ans, la production ne commençant qu'au cours de la 6^e année.

Dans le scénario favorable +60, la VAN s'établit à 1 787 millions USD, soit 31,5 % du PIB 2011 de la Polynésie française (tableau 12). L'investissement nécessaire représenterait 956 millions d'euros, soit 17 % du PIB (à comparer avec un investissement de 775 millions d'USD et 13,7 % dans le scénario de base)¹⁰.

Tableau 12 – Poids des revenus et coûts dans le PIB de la Polynésie française (scénario F60)

Scénario Favorable+60	Part dans le PIB 2011
Revenu annuel brut	13,0%
Revenu annuel net	9,7%
Coût opérationnel	2,1%
Coût financier	1,2%
Investissement total	17,0%
VAN (taux d'actualisation 10%)	31,5%

Source : auteurs. Notes : les revenus nets positifs n'apparaissent qu'à partir de la 5^e année de démarrage du projet.

Afin de cerner la part de la valeur économique du projet captée directement par la Polynésie française dans ce scénario F+60, nous procédons à une simulation de ce que représenterait la rente économique totale.

3.3.1 Simulation de la rente économique totale

Dans le scénario favorable +60, nous avons procédé à une simulation de la VAN avant impôts et taxes. Pour ce faire, nous avons corrigé la simulation précédente des 30 % d'impôts sur le bénéfice intégré jusqu'alors (tableau 13).

Tableau 13 – Principaux éléments économiques du scénario F60 (hors impôts).
Source : auteurs à partir de Yamazaki 2008

	Mns USD
Investissement total (Mns USD)	956
Operating cost (Mns USD)	119
Coût financier (Mns USD)	68
Revenus bruts (Mns USD)	735
Revenus nets hors impôts (Mns USD)	712
VAN hors impôts (taux d'actualisation 10%)	2644
TRI hors impôts	24 %

Source : auteurs à partir de Yamazaki 2008

¹⁰ Rappelons que les deux dernières usines métallurgiques en Nouvelle-Calédonie (Goro et Koniambo) ont représenté chacune des investissements supérieurs à 5 milliards d'USD.

Le poids de la VAN hors impôts représente désormais 50 % du PIB de 2011, soit un montant très significatif. Dans un tel scénario, l'impact macroéconomique du projet devient majeur.

Le Taux Effectif Moyen d'Imposition (TEMI) en tant qu'indicateur du partage de la rente (FMI 2012 ; FERDI 2013) s'établit dans ce scénario à 18,6 %. Les TEMI calculés par le FMI se trouvent en moyenne dans une fourchette allant de 40 à 60 % (FMI 2012). Autrement dit, il y aurait une véritable marge de manœuvre pour mettre en œuvre, au-delà de l'IS, une fiscalité minière adaptée pour permettre au gouvernement de la Polynésie française de capter une part plus significative de la rente économique, selon ce scénario. Cette part serait toutefois réduite, quel que soit le scénario considéré, par la prise en compte des dépenses d'exploration et de rémunération du risque.

Au final, le scénario favorable à partir duquel nous avons procédé à des simulations de la rentabilité économique d'un projet d'encroûtement cobaltifère et de ses enjeux économiques appuie l'idée que si les conditions d'un démarrage d'un tel projet ne sont pas encore réunies, du fait d'un niveau très élevé d'incertitude, les enjeux économiques pour la Polynésie française sont potentiellement importants.

Par rapport au scénario de base, pour lequel les encroûtements, même avec une teneur élevée en cobalt, ne portent pas une rentabilité suffisante pour envisager un projet minier, le principal élément différenciant est la quantité totale de cobalt produit.

Dans le scénario de base +60, pour une quantité de 4 500 tonnes de cobalt produit, la rentabilité atteint un plancher de 10 % (en considérant des prix supérieurs de 60 % à leur niveau moyen de la période 1984-2013). Selon ce scénario, les revenus fiscaux issus de la mine seraient inférieurs à ceux correspondant à un niveau d'IS de 30 %.

Dans le scénario favorable +60, en considérant une production de 10 000 tonnes de cobalt (soit 10 % du marché mondial en 2014), le TRI atteindrait cette fois un niveau de 20 %, avec des conséquences importantes sur les recettes fiscales de la Polynésie française. Dans ce dernier scénario, les TRI simulés se rapprochent des niveaux de TRI des projets miniers terrestres (environ 30 %), sans toutefois les égaler.

Au final, les deux scénarii de rentabilité présentés ici amènent à la conclusion que si les perspectives de développement d'un projet d'encroûtements sont limitées à court et moyen terme, il est possible qu'un tel projet puisse représenter un apport très important à plus long terme.

Un tel développement ne pourra se produire que si les incertitudes technologiques et économiques sont levées, par l'acquisition de nouvelles

données sur les caractéristiques géologiques des encroûtements, les avancées permises par la R&D sur les technologies d'extraction et de traitement du minerai, et si les tendances favorables qui traversent le marché mondial du cobalt se confirment à moyen terme.

De ce fait, la Polynésie française devrait exercer une veille sur ces dimensions techniques et économiques, en participant et en favorisant aussi les programmes d'exploration.

4 Bibliographie

AGARWAL B., HU P., PLACIDI M., SANT H.O, ZHOU J.J., 2012 - *Feasibility Study on Manganese Nodules Recovery in the Clarion-Clipperton Zone, The LRET Collegium 2012 Series*, Volume 2, University of Southampton.

ANDREWS B., FILPSE J., BROWN F., 1983 - *The Economic Viability of a Four-Metal Pioneer Deep Ocean Mining Venture*, Texas A&M University, Octobre.

AUTY R., 2007 - Natural resources, capital accumulation and the resource curse, *Ecological Economics* 61, 627-634.

BOUGAULT H., SAGET P. 2011 - Les Encroûtements Cobaltifères De Polynésie Française. *Mines et Carrières* 6 Industrie Minérale – oct 2011-n°185 - Hors série p 70-85.

CHARLES C. et al., 1990 - Views on Future Nodule Technologies Based on Ifremer-Gemonod Studies, *Materials and Society*, Vol 14, pp 299-326.

CHUNG J.S., LIU S., 2005 - The proceedings of the Sixth (2005) ISOPE Ocean Mining Symposium : Changsha, Hunan, China.

DYMENT J., LALLIER F., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P.-M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coord.), 2014 – Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective, Rapport CNRS – Ifremer, 930 p. environ

ECORYS, 2014 - Study to investigate the state of knowledge of deep-sea mining, Final Report for the European Commission, Rotterdam/Brussels, 28 août.

ERTEN B., OCAMPO J. - 2013, Super Cycles of Commodity Prices Since the Mid-Nineteenth Century, *World Development*.

FMI, 2012 -, Régimes fiscaux des industries extractives: conception et application, préparé par le Département des finances publiques, approuvé par Carlo Cottarelli, 15 août.

GOTO K., YAMAZAKI T., NAKATANI N., ARAI R., 2010 - Preliminary Economic Feasibility Analysis Of Cobalt-Rich Manganese Crust Mining For Rare Metal Recovery, *Proceedings of the ASME 2010, 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* June 6-11, 2010, Shanghai, China

HE G., MA W., SONG C., YANG S., ZHU B., YAO H., JIANG X., CHENG Y., 2011 - Distribution characteristics of seamount cobalt-rich ferromanganese

crusts and the determination of the size of areas for exploration and exploitation, *Acta Oceanol. Sin.*, 2011, Vol. 30, No. 3, P. 63-75

HILLMAN C.T., GOSLING B.B., 1985 - Mining Deep Ocean Manganese Nodules: Description and Economic Analysis of a Potential Venture, US Bureau of Mines, IC 9015, 19p.

JANKOWSKI P., 2012 - NI43-101 Technical Report 2011: PNG, Tonga, Fiji, Solomon Islands, New Zealand, Vanuatu and the ISA (No. NAT008). Nautilus Minerals Inc., 121 pp.

KOJIMA K., 1997 - Review of Studies on Manganese Nodules Processing, *Proc 2nd ISOPE Ocean Mining Symp*, Seoul, pp 19-22.

MARTEL-JANTIN B., LAMOUILLE B., BOUGAULT H., LE SUAVE R., FOUQUET Y., BONNEVILLE A., TROLY G., 2002 - Evaluation stratégique et prospective préliminaire des encroûtements polymétalliques sous-marins de la ZEE de la Polynésie française. Rapport confidentiel BRGM/RP-50842-FR

MARTINO et PARSON, 2011 - A comparison between manganese nodules and cobalt crust economics in a scenario of mutual exclusivity. S Martino, LM Parson. *Marine Policy* 36 (3), 790-800.

PARK S.H, YANG H.C., 2009 - A Technical and Economic Evaluation of Cobalt-rich Manganese Crusts, *Ocean and Polar Research*, June, Vol. 31(2):167-176.

SOREIDE F. *et al.*, 2001 - Deep Ocean Mining Reconsidered a Study of the Manganese Nodule Deposits in Cook Island, *Proc 4th ISOPE Ocean Mining Symp*, Szczecin, pp 88-93.

STEVENS, 2003 - Resource Impact: Curse or Blessing? – A Literature Survey, *The Journal of Energy Literature*, Volume IX Number 1 June, pp 3-42.

YAMAZAKI T., PARK S.-H., SHIMADA S. YAMAMOTO T. 2002 - Development of Technical and Economical Examination Method for Cobalt-Rich Manganese Crusts, *Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu*, May 26–31, Japan.

YAMAZAKI T., 2008 - Model mining units of the 20th and the economies, *Technical paper for ISA Workshop on Polymetallic Nodule Mining Technology-Current Status and Challenges Ahead*-Feb. 18-22, Chennai, India.

YAMAZAKI T *et al.*, 1995 - Geotechnical Parameters and Distribution Characteristics of the Cobalt-Rich Manganese Crust for the Miner Design, *Int J Offshore and Polar Eng*, Vol 5, pp 75-79.

ZAIGER, 1995 - Solution mining of Johnston Island manganese crusts: An economic evaluation, OCEANS '95. MTS/IEEE. Challenges of Our Changing Global Environment. Conference Proceedings, 9-12 octobre.

I-6. Diffusion et répartition de la rente: enjeux de soutenabilité

V. GERONIMI, P.-Y. LE MEUR

Du point de vue de l'Etat, les mécanismes de répartition et de gestion d'une rente minière poursuivent en règle générale deux principaux objectifs souvent contradictoires. Le premier de ces objectifs est l'efficacité, jugée à la fois du point de vue de la préservation de l'incitation à produire la rente et du point de vue de la capacité à capter effectivement la part la plus importante possible (i.e. sans supprimer l'incitation à produire) de la rente économique. Le deuxième objectif est celui de l'équité, de la juste répartition de la rente entre les parties prenantes (firmes privées, Etat, population). Parmi les multiples critères d'équité, seuls deux critères sont mobilisés dans la suite de cette contribution. Le premier, utilisé par la Banque mondiale dans les calculs de rente repose sur la définition d'un « profit normal » ou « moyen » pour les opérateurs privés (10%)¹. Au-delà de ce taux, le profit deviendrait rente, et devrait logiquement être capté par les acteurs locaux (Etat et population locale). Une telle définition de la rente ne prend pas nécessairement en compte la rémunération d'éventuels risques exceptionnels (ce qui peut être le cas pour la phase d'exploration)². Nous considérons aussi, dans une section finale, un second critère basé sur la notion de soutenabilité. Effectivement, on retrouve dans l'objectif de soutenabilité, le principe de l'équité intergénérationnelle, au cœur de la définition du développement durable par la Commission Brundtland : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

¹ Cela correspond aussi au taux d'actualisation retenu par le FMI dans l'évaluation de la fiscalité minière (FMI 2012)

² Dans ce dernier cas il faudrait considérer le profit moyen réalisé par les entreprises dans les activités d'exploration.

1. Diffusion et répartition de la rente économique

On distingue trois grands types de mécanismes par lesquels la rente minière peut être diffusée, captée et redistribuée :

- De façon indirecte, par les liens technico-économiques, l'activité minière peut générer de l'emploi, des consommations intermédiaires amont et aval dont découlent des effets d'entraînement directs et indirects pour l'emploi et la valeur ajoutée. Si beaucoup d'activités minières se caractérisent par un caractère fortement enclavé, il n'en reste pas moins que les effets directs et indirects de ces activités via notamment l'emploi, le développement de compétences (capital humain) et d'infrastructures (capital physique), puis d'activités à forte valeur ajoutée en aval des chaînes industrielles de la valeur, peuvent impacter fortement l'économie. Il ne s'agit pas là à proprement parler d'une captation ou d'une redistribution de la rente, mais d'un effet d'entraînement sur l'activité économique ;
- Directement, par la fiscalité minière et les prises de participation de l'Etat. En l'absence d'effets d'entraînement importants, le lien fiscal, via le budget de l'Etat constitue souvent le principal vecteur de diffusion de la rente minière dans une économie. Par les prises de participation de l'Etat, qui correspondent aussi à une association aux risques spécifiques au projet minier, celui-là peut percevoir alors des dividendes, et éventuellement user de son statut d'actionnaire pour optimiser les retombées des activités minières sur le reste de l'économie³.
- A côté de ces mécanismes de répartition de la rente centrés sur l'Etat et les effets macroéconomiques, les groupes ou communautés ayants-droit sur le territoire concerné parviennent de plus en plus souvent à obtenir des paiements directs ou indirects, à divers titres, à bénéficier d'infrastructures et de services, à accéder à des opportunités d'emploi et de formation parfois inexistantes auparavant.

³ Le risque est cependant que des préoccupations politiques de court-terme conduisent l'Etat à prendre des décisions compromettant la viabilité de son industrie minière.

1.1 Définition de la rente économique

La rente économique désigne cette part de la valeur d'un produit qui dépasse ce qu'il a été nécessaire de dépenser pour assurer la production⁴. Ainsi, la rente économique recouvre ce qui reste de la valeur de la production une fois rémunérés l'ensemble des facteurs de production (travail et capital). Assimilée à un surplus ou à un surprofit, la rente économique peut provenir de différentes sources.

Pour l'exploitation d'une ressource non renouvelable, elle peut s'interpréter alternativement comme la valeur d'usage de la nature, ou l'expression d'un pouvoir de monopole et s'inscrire dans une stratégie de maximisation des revenus tirés de la mine sur l'horizon d'exploitation de celle-ci. On retrouve potentiellement ces différentes dimensions de la rente économique dans l'exploitation minière. Selon une approche en termes de soutenabilité (Pearce et Atkinson 1993, Hamilton et Clemens 1999, Banque mondiale 2006, 2011), la rente économique découlant de l'exploitation d'une ressource naturelle est le reflet de la valeur d'usage du capital naturel mobilisé. Ainsi, la valeur de la ressource exploitée est capturée à travers sa seule valeur d'usage. Si d'autres dimensions d'une ressource naturelle sont susceptibles d'être source de valeurs (voir figure 1), l'avantage d'adopter une telle approche est de permettre l'estimation de la rente économique en s'inscrivant dans un cadre comptable harmonisé, et de construire un indicateur de soutenabilité (l'épargne véritable, voir plus loin).

⁴ Le périmètre des dépenses doit intégrer l'exploration (recherche des gisements), la recherche et le développement éventuellement associés à la production.

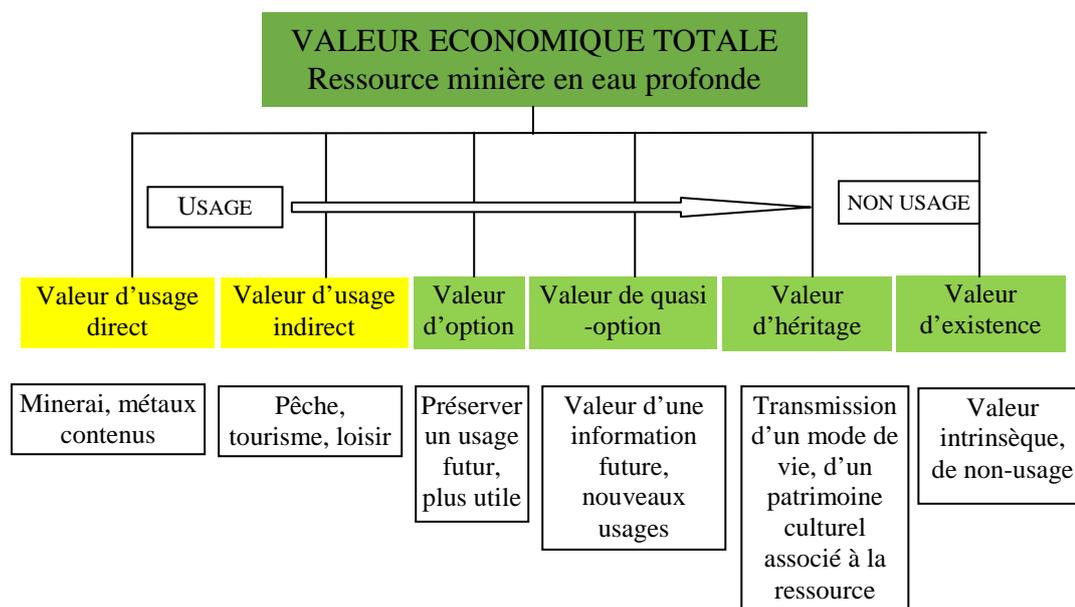


Figure 1 - Les différentes dimensions de la valeur d'une ressource naturelle selon une approche en termes de valeur économique totale (Source : d'après MEA 2005, Pearce and Warford 1993)

Dans les calculs de rentabilité et de faisabilité, les valeurs prises en compte sont monétaires, et s'appuient essentiellement sur les valeurs d'usage direct. Par le biais de la prise en compte des coûts associés à la restauration et à la compensation, notamment pour les populations locales, une partie des autres valeurs (d'option, de quasi-option et d'héritage) peuvent être partiellement intégrées. Ces valeurs sont plus incertaines, l'absence de marchés indiquant des prix rendant très fluctuante leur valorisation monétaire, qui dépend finalement des rapports de force entre les différentes parties prenantes : une partie de ces valeurs ne sont pas monétarisables par l'approche en termes de valeur économique totale. En l'absence d'une valorisation monétaire fiable de ces valeurs de non-usage, celles-ci sont souvent simplement ignorées dans l'évaluation, pour ressortir au moment des négociations autour des compensations pour les populations locales. Elles constituent une dimension essentielle de la valeur totale d'une ressource naturelle. On retrouve ici l'importance des représentations (voir contribution I-1), et par conséquent de la construction d'arènes de discussion et d'un savoir et de représentations communes quant aux différentes dimensions de la valeur d'une ressource naturelle.

Pour l'évaluation monétaire de la rente économique associée à l'exploitation d'une ressource naturelle, on devrait théoriquement utiliser la différence entre le revenu marginal et le coût marginal de l'exploitation minière, par référence à une stratégie de maximisation inter-temporelle du

profit. En pratique, pour évaluer la valeur du capital naturel non-renouvelable (i.e. la rente associée aux ressources minières), la Banque Mondiale utilise la différence entre le prix de vente mondial et le coût moyen (incluant un taux de profit « normal »). Ces dernières variables sont effectivement plus simples à estimer que des revenus et coûts marginaux.

Comment la rémunération des actionnaires, des propriétaires de la mine, est-elle intégrée dans le calcul de la rente ? Le risque apparent est de voir effectivement disparaître l'incitation à exploiter un gisement si la rémunération des actionnaires n'est pas assez élevée. Le principe appliqué est là aussi finalement assez simple, aux coûts moyens de production est ajouté un taux de profit moyen représentant une rémunération « normale », moyenne, du capital, suffisante pour inciter les firmes à exploiter la ressource minière⁵.

En appliquant cette méthode d'estimation de la rente économique, la Banque Mondiale a estimé la valeur des ressources naturelles non-renouvelables, à partir des taux de rente (rente rapportée au prix de vente), pour plus de 130 pays (Banque mondiale 2006, 2011). A titre d'exemple, la figure 2 ci-après permet de visualiser l'évolution du taux de rente économique issue du secteur du nickel entre 1970 et 2006, pour la Nouvelle-Calédonie, le Canada, l'Australie, et la moyenne mondiale.

⁵ Bolt et al., 2002 : “Cost data in most cases were the sum of mining costs, milling costs, smelting/refining/transportation costs, capital recovery (depreciation), and 15% Discounted Cash Flow Rate of Return, minus byproduct credit.”

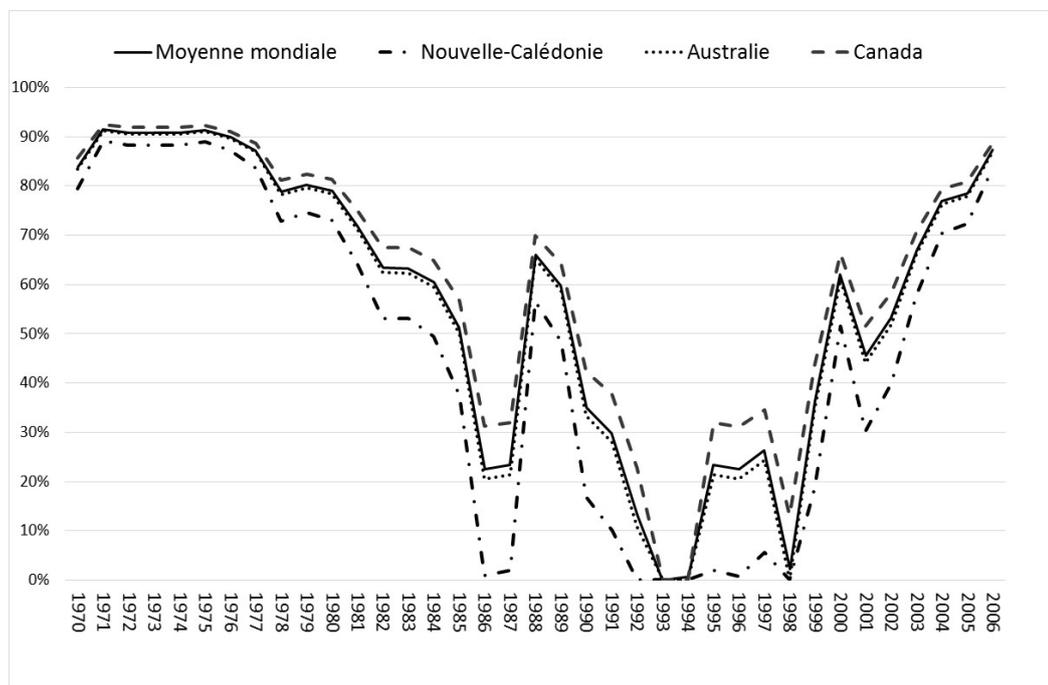


Figure 2 - Nickel : taux de rente unitaire (Nouvelle-Calédonie, Canada, Australie et moyenne mondiale 1970-2008) (Source : d'après Banque Mondiale).

L'exemple de l'exploitation du nickel est intéressant à un double titre. Comme on peut le voir sur la figure 2, la rente est extrêmement variable sur l'ensemble de la période : elle représente entre 0% et 91% du prix mondial⁶. De plus l'exemple du nickel permet de constater que la principale source d'instabilité du taux de rente est le prix mondial du nickel. Les variations des coûts sont elles-mêmes beaucoup moins importantes. Enfin, les différences de taux de rente entre les pays producteurs, qui peuvent représenter jusqu'à 30% du prix mondial (entre le Canada et la Nouvelle-Calédonie), sont très significatives.

Au-delà de l'exemple du nickel, la rente économique issue de l'exploitation minière est donc affectée d'une forte variabilité dans le temps et l'espace ce qui rend délicates l'extrapolation et l'anticipation. Cette même variabilité constitue l'une des difficultés associées à la définition de mécanismes permettant d'assurer la répartition de cette rente sans compromettre l'incitation à l'exploitation de la ressource minière.

Une approche pratique, compatible avec la définition retenue par la Banque mondiale, pour évaluer le montant de la rente économique est celle du FMI qui utilise la Valeur Actualisée Nette (VAN), hors impôt, pour définir de façon anticipée la rente associée à un projet minier ou pétrolier

⁶ Pour les années où la rente ainsi calculée est négative, la Banque mondiale estime le taux de rente à 0%.

(FMI, 2012). Nous utiliserons cette dernière mesure pour simuler la rente économique d'un projet d'exploitation d'encroûtement cobaltifère (scénario favorable, voir contribution I-5.).

La VAN⁷ a l'avantage de donner une évaluation de la valeur d'un projet en valeur de stock, soit l'équivalent d'une valeur de capital, selon la définition de Fisher (Fisher, 1906), ce qui permet aussi de faire le lien avec l'approche de la soutenabilité par les capitaux que nous présentons dans cette contribution.

Par ailleurs, la rente calculée ici recouvre l'ensemble du processus allant de l'extraction du minerai jusqu'à sa transformation en métal. La rente peut être captée à tous les échelons du processus de fabrication du métal. Les secteurs miniers sont souvent oligopolistiques, et pour certains verticalement intégrés, de la mine à la métallurgie et au raffinage des métaux qu'ils produisent. Ainsi, Les grande firmes multinationales de l'industrie minérale peuvent pratiquer des prix de transferts, impliquant parfois des paradis fiscaux, afin de faire apparaître et de capter des rentes aux étapes du processus de production qui leur semblent les plus propices, en fonction, par exemple du taux d'imposition sur les bénéfices pratiqués dans tel ou tel pays.

Il s'agit là d'un argument qui est employé pour justifier à la fois la prise de participation de l'État dans les secteurs miniers, ainsi que les stratégies de remontée aval dans les filières de production afin que les territoires concernés captent la plus grande part possible de la valeur ajoutée et de la rente.

1.2 Effets d'entraînement directs et indirects

La plupart des processus d'exploitation des ressources en eau profonde envisagés dans la littérature (nodules ou encroûtements) selon un angle économique reposent sur une extraction et un premier traitement à bord des navires sur site (essorage/ pré-séchage, séparation magnétique des encroûtements), puis le transport du minerai séché et trié jusqu'à un port industriel pour le traitement métallurgique (voir contribution I-5). Ainsi, l'exploitation du minerai pourrait rester totalement off-shore, sans aucun lien technique ou économique avec les îles de la zone. Le minerai extrait serait directement transporté de la Polynésie Française par exemple vers la Chine ou le Japon.

Ce schéma totalement enclavé resterait-il pertinent ? Dans l'état actuel des connaissances, il est probable que ce soit le cas. Les effets

⁷ Voir glossaire.

d'entraînement directs et indirects seraient alors fortement limités⁸. Dans l'éventualité du démarrage d'un projet minier, il conviendrait alors de définir une stratégie de maximisation des effets directs et indirects du projet sur les activités économiques. Une étude détaillée des opportunités économiques reste à mener, en fonction des potentialités existantes en Polynésie française.

Le schéma des moyens techniques utilisés pour l'exploitation en eau profonde proposé par l'étude Créocéan (2012) insiste notamment sur la nécessité d'infrastructures portuaires, non seulement pour le stockage du minerai mais aussi pour l'entretien des barges et des outils techniques mobilisés, ceci pouvant offrir une opportunité d'emplois indirects pour la Polynésie Française, sous réserve de disposer d'une offre en terme de compétences nécessaires (voir contribution III-5).

Le traitement du minerai nécessitera probablement de développer une usine de traitement du minerai adaptée aux caractéristiques physiques et chimiques de celui-ci. Une usine de traitement métallurgique nécessite à la fois des compétences technologiques, des équipements lourds, une logistique importante en terme d'approvisionnements en produits chimiques, en énergie et en eau, et la disponibilité de capacités de maintenance des équipements dans des délais très courts. Le coût de l'énergie est souvent le principal composant des coûts de production. Il est rare que le site d'exploitation minière réunisse les conditions de compétitivité nécessaires au succès des opérations métallurgiques, dont les installations sont souvent basées dans des bassins industriels existants.

L'argument de la proximité géographique (économie de temps et de moyen) pour les infrastructures et l'usine de traitement justifiant une éventuelle implantation sur le territoire polynésien ne semble pas a priori l'emporter sur le seul critère de rentabilité économique, mais pourrait se défendre, à l'horizon de plusieurs années, s'il y avait une volonté politique d'un développement polynésien⁹ permettant de réunir les conditions de compétitivité nécessaires.

Les distances entre les zones potentielles d'exploitation et les îles susceptibles d'accueillir ces infrastructures sont elles-mêmes relativement importantes, et l'extension des capacités portuaires nécessaires pourraient

⁸ A priori plus limités que d'autres projets d'exploitation des ressources naturelles, du type du projet aquacole de Hao, représentant un niveau d'investissement sur 15 ans de l'ordre de 1,5 milliards d'euros sur 10 ans.

⁹ Les perspectives d'accroissement de la production d'énergie par l'implantation d'une centrale à énergie thermique demeurent très incertaines aujourd'hui (voir Le marin, 21 août 2015).

nécessiter des investissements conséquents¹⁰. Les besoins en énergie pour une usine de traitement dépassent largement les capacités actuelles de production, sans qu'il soit possible, en l'état actuel des connaissances, de fournir une estimation des besoins futurs, le procédé même de traitement du minerai restant à définir, diverses options technologiques étant envisageables.

L'impact direct, sur le capital humain de la Polynésie française, serait vraisemblablement limité. Les entreprises minières ayant accès à un marché mondial pour l'accès à la main d'œuvre, l'utilisation de la main d'œuvre locale pour l'exploitation se fera essentiellement sur la base d'une comparaison coût/compétences. Au cours de ses premières années un projet d'exploitation fera certainement appel à la main-d'œuvre étrangère, une situation qui peut évoluer si le territoire accompagne le développement des activités minières par la mise en place d'une politique volontariste favorisant l'emploi local. Dans certains pays, les sociétés minières ont ainsi collaboré avec l'État pour développer des centres de formation professionnelle, permettant de développer une offre locale de compétences employables par l'industrie minière. Un tel partenariat gagnant-gagnant permet aux entreprises de réduire leurs coûts de production en développant l'emploi local, ce qui contribue à développer et à maintenir le permis social d'exploitation et permet à l'État d'afficher des résultats en matière de développement de l'emploi.

Cette stratégie peut cependant se révéler insuffisante dans les phases de pic de besoin de main d'œuvre, notamment pour la construction d'usines par exemple, voir le cas néo-calédonien à ce sujet. Il n'est pas certain que la main d'œuvre en Polynésie Française soit de ce point de vue mieux placée que la main d'œuvre d'autres pays (dont certains, comme les Philippines, se sont spécialisés comme fournisseurs de force de travail sur le marché mondial).

Il peut exister un effet de création d'emplois indirects, par exemple dans les domaines de l'approvisionnement alimentaire du navire d'exploitation et de la maintenance de certains équipements. Ceci dépend largement de l'offre locale en termes de capacités, de compétences et de coûts.

Enfin, l'État devra être attentif aux effets pervers que peut créer une redistribution importante de la rente minière, en cas de superprofits, cette rente pouvant créer des habitudes très difficiles à gérer en cas de chute des cours ou d'arrêt des activités d'exploitation.

¹⁰ Voir sur ce point le dossier spécial de *Le Marin*, 21 août 2015. Les navires de croisière qui sont à l'année en Polynésie française doivent se déplacer de 4000 km pour caréner (Siu, 2015).

1.3 Le lien fiscal : redevances et impôts miniers

La fiscalité sur les activités minières peut comporter diverses composantes, telles que :

- des redevances basées sur une unité de mesure physique (volume ou poids);
- des redevances ad valorem basées sur la valeur de la production;
- une redevance ou un impôt basé sur les bénéfices (impôt sur les sociétés minières);
- une redevance ou un impôt basé sur la rente économique;
- le partage de production ;
- des systèmes hybrides combinant une partie ou l'ensemble des dispositifs listés ci-dessus.

Le tableau suivant présente la définition et la fréquence des différents types de prélèvements fiscaux dans les activités extractives effectivement pratiquées aujourd'hui (à partir des informations issues de 57 pays).

Tableau 1 – Définition et prévalence des différentes modalités de la fiscalité sur les activités extractives (FMI, 2012)

Mécanisme	Description	Prévalence	
		Activités minières	Pétrole et gaz
Prime à la signature	Paiement immédiat pour l'acquisition de droits d'exploration, utilisation commune comme paramètre des adjudications (notamment pour le pétrole et le gaz sur le plateau continental des États-Unis)	1	16
Prime de production	Paiement fixe pour réalisation d'une certaine production cumulée ou d'un certain taux de production	Aucun	10
Redevances	Spécifiques (montant par unité de quantité produite)	2	1
	Ad-valorem (pourcentage de la valeur du produit)	17	31
	Ad-valorem, progressivité en fonction du prix	1	9
	Ad-valorem, progressivité en fonction de la production		8
	Ad-valorem, progressivité en fonction du bénéfice d'exploitation	3	1
IS au niveau de l'état, de la province et/ou local ¹	Redevances appliquées à la marge opérationnelle (redevances sur les bénéfices nets)	2	0
	Taux de l'impôt des bénéfices des sociétés au niveau étatique, provincial ou local en sus du niveau fédéral. Répandu au Canada et aux États-Unis en tant que taxe sur les ressources de la province/de l'état s'ajoutant à l'IS fédéral.	2	5
Impôt variable sur le revenu	IS dont le taux augmente en fonction du ratio revenu imposable/recettes entre un plancher et un plafond	3 ²	Aucun
Impôts sur les rentes tirées des ressources naturelles	Cash flow avec taux d'accumulation/suramortissement (<i>uplift</i>). Peut être calculé avant ou après l'IS.	5	5
	Cash flow avec déductibilité limitée des pertes (Royaume-Uni). (surtaxe sur le cash flow)	Aucun	2
	Abattement au titre des dépenses en capital des sociétés	Aucun	1 ³
	Abattement au titre des fonds propres	Aucun	1 ⁴
Autres impôts sur le revenu	Autres mécanismes d'imposition des bénéfices n'entrant dans aucune des catégories précitées	1	3
Partage de la production	Part fixe de la production	Aucun	5
	Production cumulée	Aucun	Aucun
	Facteur R: rapport entre recettes cumulées et coûts cumulés	Aucun	13
	Taux de rendement avant ou après impôts	Aucun	3
Participation de l'État	Niveau de production	Aucun	13
	Participation gratuite: l'État reçoit un pourcentage des dividendes sans rien verser.	2	Aucun
	Portage: les contributions de l'État sont financées par un investisseur et recouvrées par le versement de dividendes avec intérêt	3	8
	Participation versée: l'État paie sa part des charges	Aucun	19
Investissements sociaux/infrastructures	Les entreprises exploitant les ressources naturelles édifient des infrastructures ou font d'autres investissements sociaux (hôpitaux, écoles, etc.).	1	6
Nombre de pays		25	67

Source: base de données FARI du FMI.

¹ Outre le Canada et les États-Unis, l'Argentine, l'Italie et la Fédération de Russie imposent les bénéfices des sociétés au niveau provincial, local et étatique. Tous les pays de l'échantillon pratiquent l'impôt sur les bénéfices des sociétés (IS) sauf ceux qui utilisent un impôt variable sur les revenus.

² L'impôt variable sur les revenus existe au Botswana, en Afrique du sud (dans les mines d'or) et en Zambie.

³ Norvège.

⁴ Italie.

Le dispositif de prélèvement fiscal sur les activités extractives le plus répandu demeure aujourd’hui celui de la redevance (royalties), notamment sous la forme d’une taxe ad-valorem.

Théoriquement le meilleur dispositif de prélèvement fiscal est celui basé sur la rente économique. Une redevance basée sur la rente économique ne crée pas de distorsion sur la décision d’extraire le minéral.

Les avantages et les inconvénients de chaque modalité de prélèvement de la rente sont résumés dans la figure 3, selon sept critères (Guj, 2012).



Figure 3 : Avantages et inconvénients des modalités de prélèvement de la rente (Source : Guj, 2012).

De nombreuses études existent sur la complexe question de la fiscalité minière du partage de la rente. Des exemples récents sont : Commonwealth Secretariat, International Council on Mining & Metals (2009), Extractive Industries Transparency Initiative (2009) ; Gajigo *et al.* (2012), Guj P. (2012, dont provient la figure ci-dessus) ; KPMG Global Mining Institute (2014) ; PWC. Il ne s’agit que d’une sélection bibliographique dans un domaine où la littérature est abondante.

Une bonne fiscalité est celle qui réussit à trouver le meilleur compromis entre des intérêts divergents :

- celui de l'investisseur, qui souhaite limiter au maximum les risques auxquels ses projets sont exposés et faire fructifier au maximum son investissement. Les investisseurs sont particulièrement sensibles à un ensemble de paramètres comprenant la stabilité et la prévisibilité fiscales ; l'adaptation de la fiscalité au caractère cyclique de l'activité minière et des cours des métaux, la possibilité d'un amortissement rapide des investissements en capital préalables au démarrage de la production minière ;
- celui des Etats et des parties prenantes qu'il représente. Cela revient à rechercher la prévisibilité et la maximisation des gains.

Pour la Polynésie Française, les modalités de la fiscalité minière devraient avoir pour objectif de réaliser un Taux Effectif Moyen d'Imposition (TEMI) se situant dans la fourchette des TEMI aujourd'hui estimés par le FMI entre 40 et 60% de la VAN hors impôts, droits et taxes (avec un taux d'actualisation de 10%, FMI, 2012). Ces estimations ont été faites pour des projets portant un TRI moyen (avant impôts) de 30%, ce qui n'est pas encore envisageable pour la Polynésie, à moins de changements importants dans les conditions économiques et techniques.

Concernant la fiscalité portant sur la phase d'exploration/prospection, qui est d'actualité pour la ZEE de la Polynésie française, le principal risque associé à une fiscalité mal définie serait de décourager les opérateurs. Rappelons que les conditions géologiques jouent un rôle primordial dans la définition de l'attractivité de l'exploration. Les risques économiques associés à l'exploration doivent être pris en considération dans la fiscalité appliquée par l'autorité compétente en matière fiscale. A cet égard, l'autorité compétente peut jouer un rôle essentiel en participant à la production d'informations géologiques précises, et en les mettant à disposition des opérateurs intéressés (FMI, 2012).

Tableau 2 – Fiscalité minière : objectifs et indicateurs mesurables (FMI, 2012)

Objectifs des autorités	Indicateurs
Maximiser les recettes publiques : prélever la part maximum à partir de l'assiette la plus large	Taux effectif moyen d'imposition (part de la VAN avant impôt) Recettes publiques attendues en cas d'incertitude sur les cours
Progressivité en fonction des cours	Part du total des bénéfices (= VAN pour l'État/VAN des flux de trésorerie positifs du projet, hors investissement initial) : sensibilité aux cours ⁴³
Progressivité en fonction des coûts	Part du total des bénéfices : sensibilité aux coûts
Éviter les décisions d'investissement ou d'exploitation qui créent des distorsions (neutralité)	Taux effectif d'imposition marginal (TEIM) (part du rendement avant impôt revenant à l'État qui est juste viable pour l'investisseur après impôt) Cours d'équilibre des produits de base (nécessaire pour atteindre le rendement minimal) Probabilité d'une VAN négative en cas d'incertitude sur les cours Analyse du gonflement artificiel des coûts (voir infra)
Incitation suffisante à l'investissement	Taux de rendement interne après impôt pour l'investisseur (TRI) Délai de récupération actualisé, en années Coefficient de variation de la VAN et du TRI Probabilité d'une VAN négative en cas d'incertitudes sur les cours Valeur monétaire attendue (VMA) (VAN pondérée par le risque de prospection)
Gestion des risques par l'État	Calendrier des recettes Fraction des recettes totales perçues pendant les cinq premières années de production
Réduire au minimum les risques et les charges administratives	Complexité : sensibilité à la manipulation.

1.4 Les rentes, redevances et redistributions négociées localement

Du point de vue des populations locales, l'accès à la rente minière est souvent abordé sous l'angle de la « compensation », terme dont l'usage oscille entre une définition étroite et une définition large :

« The English word 'compensation' has a strict and narrow sense, in which it represents the cost of damage to one's self, one's body or one's property, and a broader, figurative sense, in which it can apply to almost any form of payment » (Filer, 1997 : 157).

Dans le secteur minier, la notion de compensation, en principe prévue pour dédommager des dégâts causés par cette activité, tend à inclure les royalties versées à des propriétaires fonciers (rente minière au sens strict de rente sur la ressource), des droits d'occupation du sol (rente foncière), et différents paiements prévus dans des accords locaux ou les cadres légaux nationaux. Cette vision large correspond à celle qui est privilégiée par les représentants des communautés locales dans leurs négociations avec les opérateurs miniers :

« For example, representatives of the Lihir Mining Area Landowner Association produced a 'position paper' (...) in which they distinguished four types of benefit: one called 'compensation' for 'destruction', and the other three called 'compensation' as 'development', 'security' and 'rehabilitation' » (Filer, 1997 : 158).

Ce point de vue large renvoie clairement à la négociation du partage de la rente minière, au-delà de la seule question des dégradations inhérentes aux activités d'extraction et de transformation. Cette négociation prend de plus en plus souvent la forme d'accords locaux signés entre populations locales (ou des représentations de celles-ci, à vocations diverses, autochtones, coutumières, syndicales, environnementales...), industriels de la mine et parfois institutions publiques, et qui portent de manière plus ou moins large ou spécifique sur les modalités de gestion de l'impact de l'activité minière et de partage de la rente minière, accords connus dans le monde anglophone sous le nom d'*impact and benefit agreement* ou IBA (O'Faircheallaigh, 2008) et d'entente sur les répercussions et les avantages (ERA) dans le monde francophone (Laforce *et al.*, 2012). L'analyse de ces accords localisés montre à quel point la production des politiques publiques, et en particulier de la politique minière, passe par des interactions entre échelles de gouvernance variées. En même temps, on peut interpréter ces accords, qui font désormais partie intégrante de la « boîte à outils » de la responsabilité sociale d'entreprise ou RSE (O'Faircheallaigh, 2013), sous différents angles (non exclusifs) : (1) comme des éléments de la stratégie néolibérale de « verdissement » (*green-washing*) du capital ou de reformulation de la non-durabilité intrinsèque de l'extraction minière dans la rhétorique du développement durable ; (2) comme des instruments d'autorégulation forgés par le secteur minier global, ou au moins ses plus gros représentants (Filer *et al.*, 2008 ; Dashwood, 2013), afin de se garder des intrusions réglementaires des Etats nationaux et des agences internationales ; (3) comme des éléments constitutifs d'une production « par le bas » de la politique minière, même s'ils paraissent a priori exclure les instances étatiques (voir Le Meur *et al.* 2013).

Dans le cadre d'une exploitation minière sous-marine, les droits de propriété du « foncier maritime » ne sont formellement pas « coutumiers » ou « communautaires » mais régis par des dispositifs étatiques (ZEE, DPM). Il existe néanmoins des revendications et des formes d'appropriation traditionnelles, fondées sur des usages, des récits et des savoirs spécifiques. Elles peuvent servir de base à des demandes de royalties ou de rentes foncières.

2. La gestion de la rente : enjeux de soutenabilité

A quelles conditions l'exploitation des ressources minières en eau profonde pourrait-elle être considérée comme soutenable pour l'économie de la Polynésie française ? A partir de la définition proposée dans le rapport Brundtland (Brundtland 1987)¹¹, on retrouve la dichotomie usuelle entre « soutenabilité faible » (Hartwick, 1977 ; Solow, 1993) et « soutenabilité forte » (Daly, 1990). Selon une conception de la soutenabilité dite faible, l'exploitation d'une ressource naturelle non-renouvelable est envisageable dès lors que les investissements réalisés à partir de la rente compensent la dégradation de la ressource naturelle. A l'opposé, les tenants de la soutenabilité forte considèrent que la destruction du capital naturel que représente l'exploitation d'une ressource non-renouvelable ne saurait être compensée par l'investissement dans d'autres capitaux. La notion qui est au centre du débat est celle de la substituabilité entre les différents capitaux (capital naturel critique), qui elle-même dépend du progrès technique (voir figure 4).

¹¹ « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. », Brundtland, 1987.

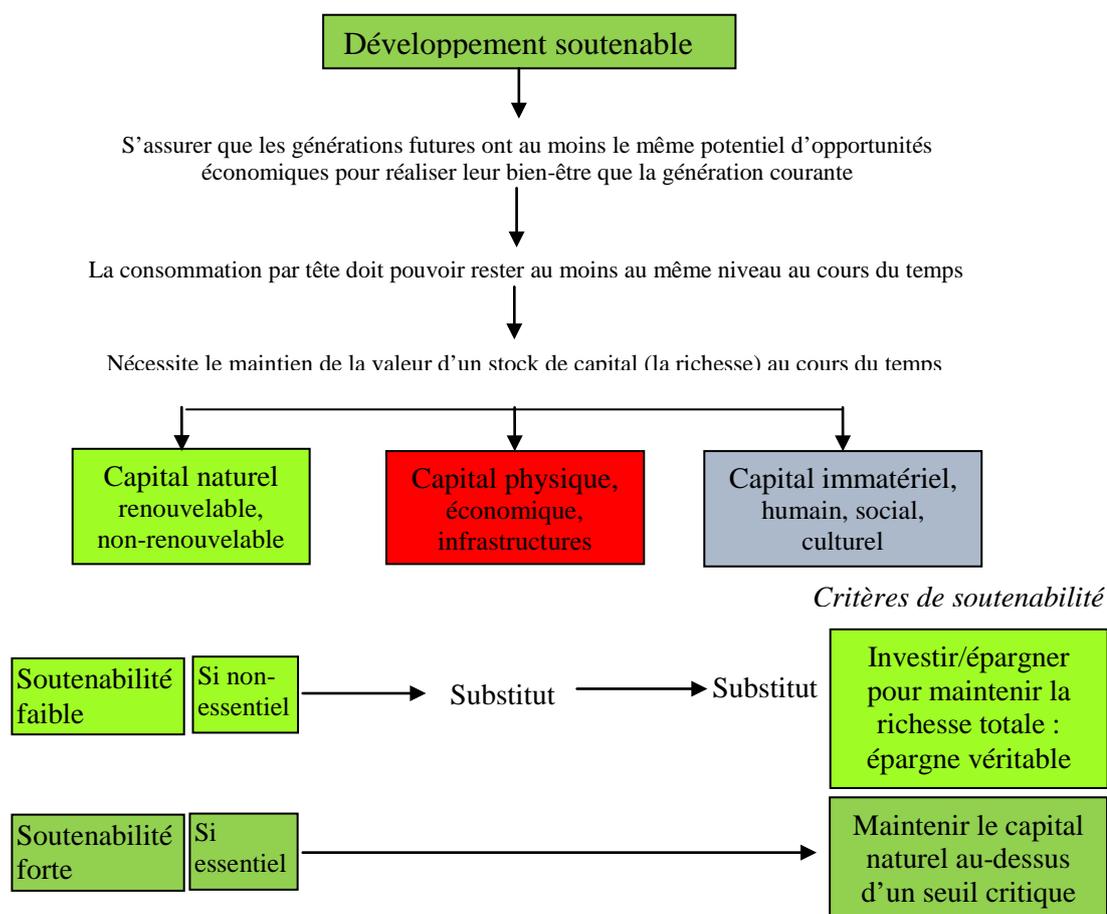


Figure 4 – La soutenabilité économique, sens fort et faible (Source : d'après Brelaud *et al.*, 1999).

Selon une approche par les capitaux, la soutenabilité au sens faible est assurée dès lors que l'on transmet aux générations futures le même potentiel d'opportunités économiques pour réaliser leur bien-être qu'à la génération courante. Dans une conception utilitariste, une telle situation serait obtenue dès lors que la transmission du stock de richesse total actuel serait garantie à un niveau au moins équivalent pour les générations futures. Effectivement, tous les revenus (flux) étant générés à partir d'une richesse (stock, capital), le maintien de cette richesse à un même niveau assurerait la possibilité aux générations futures de préserver leur possibilité d'atteindre un même niveau de revenu (flux) que la génération actuelle. Un indicateur de la soutenabilité (au sens faible) d'une économie découle directement de cette approche, basé sur la capacité à compenser les dégradations éventuelles de la richesse par de nouveaux investissements, l'équivalent d'un taux d'investissement net, (mal) dénommé « taux d'épargne véritable » (Geronimi, 2015).

La question de la composition de la richesse qu'il convient de transmettre aux générations futures est ici essentielle. Alors que l'on peut concevoir que l'enjeu est de transmettre la richesse au sens large (y compris la dimension patrimoniale, historique, culturelle...), les approches de la Banque mondiale, qui s'appuient sur les travaux de Hamilton (Banque mondiale, 2006, 2011 ; Hamilton 1994, Hamilton et Clemens 1999), reposent sur une conception, limitée au capital, de ce que recouvre la richesse totale d'une économie. Ainsi, trois dimensions de la richesse sont retenues : le capital physique, le capital humain (et immatériel) et le capital naturel¹².

Dans une acception « faible », la soutenabilité serait ainsi assurée dès lors que les investissements réalisés dans les différentes dimensions du capital (physique, naturel et immatériel) compenseraient au moins les dégradations (extraction des ressources naturelles non renouvelables, pollutions, obsolescence,...). Selon cette lecture en termes de « soutenabilité faible », la destruction d'une partie du capital naturel pourrait ainsi être compensée par un investissement dans le capital économique ou dans le capital immatériel. Pour la Polynésie Française par exemple, l'extraction de minerai en eau profonde serait soutenable dès lors qu'elle serait compensée par des investissements dans le capital physique ou dans le capital humain.

Cette approche présente des faiblesses importantes, notamment l'absence de prise en compte de seuils éventuels (capital naturel critique par exemple). Or dans un milieu insulaire sous pression du changement climatique, il est clair que les effets de seuil ont une dimension critique particulière, en lien avec des enjeux de déplacement des populations. Le raisonnement en termes de substituabilité des capitaux tend également à négliger la localisation de ces capitaux (cf. l'exemple de Nauru : extraction du capital naturel insulaire et investissement offshore, en Australie, du profit obtenu). L'approche par la soutenabilité faible peut toutefois avoir une certaine valeur pédagogique, car elle est susceptible d'informer les choix de politique publique, en ré-intégrant notamment la dimension environnementale (le capital naturel) dans l'évaluation de l'impact de ceux-ci, dans une approche autorisant la comparaison internationale. Une telle évaluation reste à effectuer pour la Polynésie Française.

¹² Pour la construction de l'indicateur de soutenabilité (épargne véritable, en termes de flux), seul le capital humain est pris en compte (dépenses courantes d'éducation). Pour l'évaluation des capitaux, il est calculé un capital immatériel, sous forme d'un résidu, qui recouvre l'essentiel de la richesse (environ 70% de la richesse totale des nations). Ce capital immatériel recouvre le capital social, culturel, géopolitique,... non compris dans l'estimation du capital économique et du capital naturel.

2.1. Consommer ou investir

Dans quelle proportion une rente issue de l'exploitation de ressources naturelles non renouvelables peut-elle être consommée sans remettre en cause la soutenabilité de la croissance d'une économie ? Considérant que la soutenabilité suppose la transmission au moins d'un même niveau de richesse (stock) aux générations futures, le critère de soutenabilité faible est satisfait dès lors que le capital naturel détruit par l'exploitation minière est remplacé par une autre source de richesse, grâce à l'investissement.

Ainsi, l'investissement dans le capital économique ou le capital humain pourrait compenser la dégradation du capital naturel. La règle de gestion soutenable de la rente économique consiste alors à investir la rente jusqu'à au moins compenser la dégradation de la ressource naturelle, la partie restante de la rente pouvant être utilisée pour la satisfaction de la génération présente, via l'augmentation de la consommation.

A partir du moment où l'on attribue une valeur économique à une ressource naturelle, une telle règle de gestion de la rente semble assez simple à mettre en application. La Banque mondiale utilise l'indicateur d'épargne véritable comme critère de soutenabilité faible. Selon cet indicateur, non calculé pour la Polynésie française, l'épargne brute est corrigée de la dépréciation du capital économique (épargne nette), de la dégradation du capital naturel (liée à l'extraction minière, à la déforestation, et à la pollution), et de l'investissement en capital humain (dépenses courantes d'éducation). Dans la perspective d'une éventuelle mise en exploitation des ressources minières en eau profonde, la difficulté tient à l'évaluation des dégradations du capital naturel. Les connaissances aujourd'hui disponibles sur la ressource minière, et les impacts potentiels de son exploitation sont aujourd'hui encore trop partielles pour pouvoir estimer l'ampleur de la dégradation des ressources naturelles qui en découleraient.

Pour la Polynésie française, le critère de soutenabilité faible serait satisfait aujourd'hui grâce aux transferts publics (épargne brute élevée, faibles dégradations du capital naturel, forts investissements dans le capital humain). Dans le contexte des petites économies insulaires, la soutenabilité ainsi mesurée recouvre dans certains cas (cf. Nouvelle-Calédonie) une dépendance élevée vis-à-vis des transferts publics. A côté du capital naturel, économique et humain, apparaît ainsi un capital géopolitique, source de revenus stables dans le long terme (du moins rétrospectivement). On a pu mesurer un indicateur d'épargne véritable autonome dans le cas de la Nouvelle-Calédonie (Couharde *et al.*, 2010, 2011), en corrigeant le montant de l'épargne véritable des transferts publics. Un tel indicateur montre que la

soutenabilité avec transferts publics n'est plus forcément assurée lorsque l'on prend en compte le critère de l'épargne autonome. Il est probable que la même configuration s'impose en Polynésie Française.

La rente associée à l'exploitation minière, même selon une approche en termes de soutenabilité faible, n'est pas forcément suffisante pour assurer la transmission d'un même niveau de richesse globale, si l'on ne prend pas en compte les autres sources de la richesse, y compris les transferts publics.

Cette caractéristique renvoie aussi aux spécificités du bouclage macroéconomique des PEI, qui dépend fortement de l'accès à des rentes diverses, dont l'évolution questionne leur soutenabilité. Compte-tenu des handicaps que représentent des marchés étroits, l'éloignement et l'enclavement, les dynamiques économiques des PEI reposent effectivement sur leur capacité à exploiter un avantage comparatif spécifique, permettant de générer des rentes. En reprenant les travaux de plusieurs auteurs (Bertram and Watters 1985; Poirine 1995; Briguglio 1995, 2003), on peut identifier quatre principaux types de rentes : naturelles, migratoires, administratives et militaires, nucléaires ou stratégiques. Chacune de ces rentes est porteuse de risques de non-soutenabilité spécifiques (tableau 3).

Tableau 3 – Rentes et risques de non-soutenabilité (Source : auteurs).

Capitaux	Capitaux/ patrimoines	Rentes	Risques associés	Enjeux de soutenabilité forte
Capital naturel	Capital naturel	Revenus associés à l'exportation de matières premières	Fluctuation des cours des matières premières	Dégradation conjointe des différents capitaux: perte de capital humain et de capital social (exode rural par exemple)
Capital immatériel	Capital humain et capital social	Migrations	Fermeture des frontières et "brain drain", épuisement du capital social sous-jacent	Perte de capital social et humain avec arrêt progressif des rentes migratoires
	Capital géostratégique et historique	Militaire, nucléaire ou stratégique et administrative	Volte-face et baisse des transferts	Atténuation de l'enjeu géostratégique

Les différentes stratégies d'accumulation envisageables permettant d'assurer la soutenabilité d'un PEI à partir d'une rente minière sont rappelées dans la section suivante.

2.1.1 Accumuler à partir de la rente : capital économique, capital humain, capital social et culturel

2.1.1.1. L'ACCUMULATION DE CAPITAL ECONOMIQUE

Les stratégies d'accumulation soutenables et envisageables à partir de rentes minières reposent classiquement sur la construction d'un capital économique se substituant au capital naturel progressivement dégradé par sa mise en exploitation. De telles stratégies connaissent des limites importantes, le nouveau capital économique construit à partir de la rente ne produisant pas forcément les flux de revenus attendus. Effectivement, il faut que ce capital économique soit suffisamment compétitif pour pouvoir générer ces flux de revenus. De nombreux pays miniers ont expérimenté les difficultés associées à une telle stratégie d'accumulation. La Polynésie française elle-même connaît les difficultés associées à la transformation d'une rente (à l'origine, celle liée au CEP) en investissement efficace dans un capital économique (exemple de la filière pêche industrielle).

Pour une petite économie insulaire, soumise à de fortes contraintes économiques (coûts de transport, marchés limités), les conditions d'une substitution réussie entre capital économique et capital naturel sont d'autant plus difficiles à atteindre. Il faut réussir à cibler des créneaux de spécialisation efficace, fortement limités dans beaucoup de petites économies insulaires.

2.1.1.2. L'ACCUMULATION DE CAPITAL HUMAIN

L'une des stratégies d'accumulation empruntées par les PEI repose sur l'accumulation de capital humain, à la base d'une rente migratoire. Pour les PEI, les dépenses de formation et d'éducation peuvent permettre la migration d'une partie de la population. Cette migration peut être à la source de rentes migratoires (*remittances*) pouvant représenter une partie importante du PIB des économies insulaires (cf. Haïti, le capital migratoire représenterait 27% de la richesse totale).

Les conditions de la soutenabilité par investissement dans le capital humain, dans cette configuration de migration, propre à plusieurs PEI reposent alors sur le capital social, assurant le reversement d'une partie des rémunérations des migrants en direction de leur territoire d'origine. Comme Poirine (1994a, 1997) le montre, il n'est pas évident qu'une telle rente soit pérenne, auquel cas, les migrations finiraient par ne plus produire de flux financiers en retour. Dans le cas de la Polynésie française, les flux migratoires sortants sont limités, et ne constituent pas une source significative de revenus. Une stratégie d'accumulation dans le capital humain aurait alors essentiellement des effets positifs sur les revenus via un effet de hausse de la productivité du travail dans les activités implantées sur

le territoire. Or, comme on l'a rappelé plus haut, le spectre des activités économiques est limité par les spécificités des économies insulaires (éloignement et petite taille).

Les rentes migratoires n'existent qu'à travers les réseaux et liens sociaux qui amènent les migrants à redistribuer une partie de leurs revenus en direction de leur territoire d'origine. Si ce lien se distend, les rentes migratoires sont susceptibles de disparaître.

2.1.1.3. ACCUMULATION DE CAPITAL SOCIAL ET DIMENSION PATRIMONIALE

Les deux premières stratégies d'accumulation, de capital économique et humain dépendent fortement de l'évolution du capital social et culturel (Geronimi, 2015). On retrouve ici la question des représentations et des conditions culturelles de la mise en exploitation réussie des ressources minières (voir contribution I-1).

Ainsi, on peut considérer que l'approche Banque mondiale (indicateur d'épargne véritable) passe à côté d'une dimension essentielle des petites économies insulaires : le caractère patrimonial d'une partie essentielle de leur richesse. Si on peut effectivement considérer que toutes les valeurs patrimoniales ne sont pas nécessairement monétarisables (et notamment pour les valeurs de legs et d'existence), l'évaluation de l'épargne véritable exclut toutes les dimensions culturelles et patrimoniales, dont certaines peuvent faire l'objet d'une évaluation monétaire (Throsby 2001, Vernières *et al.* 2012). Ces dimensions culturelles et patrimoniales sont pourtant sources d'avantage comparatif, et de rentes, pour une partie importante des PEI. De fait, l'évaluation de la richesse totale (capital naturel et capital physique) laisse inexploitées plus de 70% des sources de revenus des économies insulaires, sous la dénomination de « capital intangible » (Couharde *et al.* 2011). Ce résidu recouvre toutes les valeurs encore inexploitées, et notamment les valeurs liées à la position géo-stratégique, aux relations historiques, à la base d'une partie essentielle des rentes perçues aujourd'hui par la Polynésie française.

Enfin, l'épargne véritable repose sur une définition de la soutenabilité « faible », supposant que les différents capitaux sont substituables entre eux pour la génération du revenu. On a pu montrer que cette interprétation de la soutenabilité conduisait à laisser de côté les effets de seuil (Vernière *et al.* 2012, Couharde *et al.* 2010), dont la prise en compte est indispensable pour évaluer la soutenabilité des trajectoires économiques. A cet égard, le « modèle aux élastiques » présenté par Giraud et Loyer (2006) a l'avantage de mettre en avant la possibilité que les relations de substitution entre capitaux (par exemple entre capital naturel et capital humain) puissent laisser la place à des relations de complémentarité, et donc à l'effondrement de la soutenabilité, lorsque, dans leur exemple, la

dégradation de l'environnement conduit à des migrations massives (soit une baisse du capital naturel impliquant une perte de capital humain, sans possibilité de substitution entre ces deux dimensions). Si l'on considère que le capital culturel constitue « une « colle » qui permet de maintenir ensemble les sujets d'une communauté, en reflétant une histoire commune, une accumulation collective de connaissances, de créativité, de valeurs » (Fusco Girard & Nijkamp, 1997) alors la prise en compte des dimensions patrimoniales et culturelles conduit à privilégier une définition de la soutenabilité « forte », privilégiant l'existence de seuils et de complémentarités entre les différentes dimensions de la richesse totale, notamment des PEI.

Pour la Polynésie française, les questions adressées en termes de soutenabilité par la mise en exploitation éventuelle des ressources minérales profondes renvoient ainsi à un choix stratégique de trajectoire de développement et de croissance.

Bibliographie

- AUTY R, (2007), Natural resources, capital accumulation and the resource curse, *Ecological Economics* 61, 627-634.
- BANQUE MONDIALE (2006), Where is the wealth of nations? Measuring capital for the XXI century. World Bank, Washington.
- BANQUE MONDIALE (2011), The changing wealth of nations. Measuring sustainable development in the new millennium. World Bank, Washington.
- BERTRAM G. (1999) The MIRAB Model Twelve Years On, *The Contemporary Pacific*, vol. 11, n°1, 105-138.
- BERTRAM G., POIRINE B. (2007). Island Political Economy. In Godfrey Baldacchino, editor, *A World of Islands*, chapter 10, pages 325-377. Institute of Island Studies, University of Prince Edward Island.
- BERTRAM G. et R. WATTERS (1986), The MIRAB Process: Earlier Analysis in Context. *Pacific Viewpoint*, 27(1), pp. 47-59.
- BRELAUD, C., C. COUHARDE, V. GERONIMI, E. MAITRE D'HOTEL, K. RADJA, P. SCHEMBRI et A. TARANCO (2009), Capital naturel et développement durable en Nouvelle-Calédonie. Etude 1, Mesures de la « richesse totale » et soutenabilité du développement de la Nouvelle-Calédonie, *Document de travail* n°82, Agence Française de Développement.
- BOUGAULT H., P. SAGET (2011), Les Encroûtements Cobaltifères De Polynésie Française. *Mines et Carrières* 6 Industrie Minérale – oct 2011- n°185 - Hors série p 70-85.
- BRIGUGLIO, LINO et WALDEMAR GALEA, (2003), Updating and Augmenting the Economic Vulnerability Index, *Occasional Paper* 4, Islands and Small States Institute, Université de Malte.
- BRIGUGLIO, LINO, 1995, Small Island States and their Economic Vulnerabilities, *World Development* 23 (9), 1615-32.
- COUHARDE C., V. GERONIMI, E. MAÎTRE D'HÔTEL et A. TARANCO, 2011, Vulnérabilité et Développement Soutenable en Nouvelle-Calédonie, *Mondes en développement* Vol.39-2011/2-n°154.
- COUHARDE C., V. GERONIMI, E. MAÎTRE D'HÔTEL et A. TARANCO, 2010, Les enjeux liés à la mesure du capital naturel : l'exemple de la Nouvelle Calédonie, *European Journal of Development Research* 23, 151-173 (16 December 2010).
- DALY, H.E. (1990), Towards Some Operational Principles of Sustainable Development, *Ecological Economics* 2.
- DASHWOOD, HEVINA 2012, *The Rise of Global Corporate Social Responsibility. Mining and the Spread of Global Norms*, Cambridge: Cambridge University Press.
- FILER, COLIN 1997, Compensation, Rent and Power in Papua New Guinea, in: Toft, S. (ed.) *Compensation for Resource Development in Papua New Guinea*,

- Boroko and Canberra, Law Reform Commission (Monograph 6) and Australian National University, National Centre for Development Studies (Pacific Policy Paper 24): 156-189.
- FILER, COLIN 2012, The development forum in Papua New Guinea. Evaluating outcomes for local communities, in: Langton, Marcia & Judy Longbottom (eds.) *Community Futures, Legal Architecture: Foundations for Indigenous People in the Global Mining Boom*, London, Routledge: 147-161.
- FISHER I., (1906), *The Nature of Capital and Income*, The Macmillan Company, 427 pages.
- FMI, 2012, Régimes fiscaux des industries extractives: conception et application, préparé par le Département des finances publiques, approuvé par Carlo Cottarelli, 15 août.
- FUSCO GIRARD, L. et P. NIJKAMP (1997), *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile delle città e del territorio*, Milan, F. Angeli.
- GERONIMI V. (2015), Développement soutenable et vulnérabilités. Les contraintes spécifiques au développement durable dans les petites îles, in *Le développement durable en Océanie, vers une éthique nouvelle?*, Collection Espace et développement durable Presses Universitaires de Provence.
- GIRAUD P.-N., LOYER D. (2006), Capital naturel et développement durable en Afrique. Document de travail n°33, AFD.
- GUJ P., 2012 – *Les redevances minières et autre impôts spécifiques à l'industrie minière*, International Mining for Development Centre, Mining for Development: Guide to Australian Practice ; 16p. Australia
- HAMILTON K. (1994) Green Adjustments to GDP, *Resources Policy*, vol.20, n°3, 155–168.
- HAMILTON K., CLEMENS M. (1999) Genuine Savings Rates in Developing Countries, *World Bank Economic Review*, vol. 13, 333–56.
- HARTWICK, J. M. (1977), Intergenerational equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources, *The American Economic Review*, 67(5), 972-974
- KIRSCH, STUART, 2014, *Mining capitalism. The relationships between corporations and their critics*, Oakland: University of California Press.
- LAFORCE, M., CAMPBELL, BONNIE, et B. SARRASIN (dir.) 2012, *Pouvoir et régulation dans le secteur minier : leçons à partir de l'expérience canadienne*, Québec : Presses de l'Université du Québec.
- LE MEUR, P.-Y., HOROWITZ, L.S. and T. MENNESSON. 2013. 'Horizontal' and 'vertical' diffusion: the influence of Impact and Benefit Agreements (IBAs) on mining policy-production in New Caledonia. *Resources Policy* 38: 648-656.
- MAGRIN G. 2013, *Voyage en Afrique rentière. Une lecture géographique des trajectoires du développement*, Paris : Publications de la Sorbonne.
- O'FAIRCHEALLAIGH, C. 2008, Understanding corporate-Aboriginal agreements on mineral development: a conceptual framework, in: Ali, S. & C. O'Faircheallaigh (eds.) *Earth Matters. Indigenous Peoples, the Extractive*

- Industry and Corporate Social Responsibility*. Greenleaf Publishing, Sheffield: 67–82.
- O'FAIRCHEALLAIGH, C., (2013), Community development agreements in the mining industry: an emerging global phenomenon, *Community Development* 44 (2): 222-238.
- PEARCE D.W., ATKINSON G. (1993) Capital Theory and the Measurement of Sustainable Development: an Indicator of Weak Sustainability, *Ecological Economics* 8, 103–108
- POIRINE B. (1994a), Rent, Emigration and unemployment in Small Island: The MIRAB Model and the French Overseas Departments and Territories, *World Development*, vol. 22, n°12, 1997-2010.
- POIRINE B. (1994b) Développement économique et traditions socio-culturelles dans le Pacifique Insulaire, *Journal de la Société des océanistes*, vol. 98, 9-20.
- POIRINE B. (1997) A Theory of Remittances as an Implicit Family Loan Arrangement, *World Development*, vol.25, n°4, 589-611.
- Poirine B. (1995), Les petites économies insulaires : théorie et stratégies de développement, L'Harmattan, 279 p.
- SOLOW, R. (1974), « The economics of resources or the resources of economics », *American Economic review*, 64(2), 1-14.
- SOLOW, R. (1993), Sustainability : an economist's perspective, in Dorfman R. et Dorfman N. (eds), *Selected readings in environmental economics*, Norton, New York, 179-187.
- THROSBY, D. (1999), Cultural Capital, *Journal of Cultural Economics*, vol. 23, n°1-2, 3-12.
- THROSBY, D. (2001), *Economics and Culture*, Cambridge (UK), University Press.
- THROSBY, D. (2002), Cultural capital and Sustainability concepts in the economics of cultural heritage, in de la Torre M. (ed.), *Assessing the Values of Cultural Heritage*, Los Angeles, Getty Conservation Institute.
- YAMAZAKI T., S.-H. Park, S. Shimada et T. Yamamoto (2002), Development of Technical and Economical Examination Method for Cobalt-Rich Manganese Crusts, *Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu*, May 26–31, Japan.
- YAMAZAKI T. (2008), Model mining units of the 20th and the economies, *Technical paper for ISA Workshop on Polymetallic Nodule Mining Technology-Current Status and Challenges Ahead*-Feb. 18-22, Chennai, India.

Axe II.

Capacités de gouvernance : règles, responsabilités, acteurs (étatiques et non étatiques)

Expert coordonnateur :

Carine DAVID

II-1. La répartition des compétences entre l'Etat et la Polynésie française s'agissant des ressources minérales marines profondes : un besoin de clarification

A. TROIANIELLO, C. DAVID

À l'instar de la plupart des autres États côtiers, la France s'est dotée d'une réglementation relative à l'exploration et à l'exploitation des fonds marins de son plateau continental. Toutefois, cette réglementation qui repose essentiellement sur une loi du 30 décembre 1968 et sur les dispositions du code minier, est dans une très large mesure inapplicable aux collectivités ultramarines du Pacifique. Héritées de l'empire colonial, ces collectivités d'outre-mer bénéficient d'une autonomie très poussée. À tel point qu'il n'est pas exagéré de dire que, pour l'essentiel, l'État exerce principalement des compétences régaliennes dans le Pacifique.

Si l'État a conservé une pleine compétence dans le domaine minier à Wallis et Futuna, cette compétence a fait l'objet d'une dévolution quasi-complète au profit des deux autres principales collectivités ultramarines que sont la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française. À la différence de la Nouvelle-Calédonie où elle constitue l'enjeu économique central, en Polynésie française les questions minières n'ont jamais été regardées comme un enjeu de premier plan. Il est vrai que la seule activité minière significative, l'exploitation des phosphates à Makatea jusque dans les années 60, avait été rapidement éclipsée par les activités du Centre d'expérimentation du Pacifique.

A la vérité, le regain d'intérêt en Polynésie française pour les questions minières est très récent. Il résulte indirectement de la « crise des terres rares » provoquée par l'embargo officieux décidé en 2010 par la Chine lors du conflit l'opposant au Japon dans le cadre de la revendication de l'archipel des Senkaku. C'est dans le prolongement de ces tensions diplomatiques que s'inscrit le fameux article de l'universitaire Japonais, Yasuhiro KATO révélant l'existence de gisements de métaux rares d'une exceptionnelle richesse dans les boues sédimentaires du Pacifique¹ ; révélation que crédibilise dans l'opinion publique le lancement très médiatisé dans le Pacifique-Sud de deux projets industriels d'exploration et d'exploitation minérale en eaux profondes, par les sociétés canadienne Nautilus Minerals et australienne Bluwaters Metals en collaboration avec divers États insulaires du Pacifique.

La révélation de ce potentiel minéral subocéanique corroborée par le lancement de projets miniers sous-marins a suscité la prise de conscience du potentiel jusqu'alors négligé des fonds marins. Ce potentiel est particulièrement significatif pour la France qui, dans la perspective d'une ruée vers les abysses, jouit d'une position exceptionnelle puisqu'elle possède la seconde zone exclusive au monde couvrant 11 035 km² juste après celle des États-Unis (11 351 km²) principalement située dans le Pacifique autour de la Nouvelle-Calédonie (13,48 %) et de la Polynésie française (47,14 %). Sans qu'on en mesure encore actuellement le potentiel, on conçoit sans peine que l'immense ZEE française du Pacifique principalement située en Polynésie française constitue un atout primordial.

Cet atout maritime ne peut être négligé dans le cadre d'une politique destinée à sécuriser l'approvisionnement des matières premières minérales². D'où l'annonce en 2011 par le Premier ministre d'une stratégie nationale dans le domaine de l'exploitation des ressources profondes comportant deux volets : le premier consiste en une remise à plat de la délimitation du domaine maritime et la sécurisation de ces frontières marines ; c'est dans le cadre de cette stratégie dont l'Ifremer suggère les contours³ que s'inscrit l'institution d'un Comité de métaux stratégiques (Comes)⁴. Le second volet

¹ Kato *et al.*, 2011 : « Deep-sea mud in the Pacific Ocean as potential resource for rare-earth elements », *Nature Geoscience*, 2011, 4, 535-535-539 (<http://nature.com/ngeo/journal/v4/n8/ngeo1185.html>).

² Comme ailleurs en Europe, la prise de conscience officielle de cet enjeu fut relativement tardive en France ainsi qu'en atteste la production parlementaire : rapport d'information n° 349 du 10 mars 2011 du Sénateur Jacques Blanc intitulé *La sécurité des approvisionnement stratégiques de la France*, rapport des députés Claude Birraux et Christian Kert du 21 juin 2011 intitulé *Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares*.

³ Ifremer, *Les ressources minérales profondes, Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030*, 2011.

⁴ Décret n° 2011-100 du 24 janvier 2011 portant création du comité pour les métaux stratégiques (Comes).

consiste en une refonte du Code minier qui témoigne de la prise de conscience de l'importance croissante des enjeux miniers et énergétiques⁵.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la récente prise de conscience par les autorités polynésiennes des enjeux qui s'attachent potentiellement à leurs prérogatives dans le domaine minier. D'où la nécessité pour elles de connaître avec précision l'étendue exacte de leur compétence dans le domaine minier. Or, la question est loin d'être simple s'agissant des ressources minérales sous-marines. En effet, s'il ne fait aucun doute que le droit minier sous-marin relève de la compétence de la Polynésie française (1.), il n'en demeure pas moins que l'État conserve une compétence résiduelle s'agissant des « matières premières stratégiques » (2.). L'élucidation de cette notion constitue dès lors la condition *sine qua non* d'une clarification de la répartition des compétences entre l'État et la Polynésie française en matière de droit minier relatif aux ressources minérales marines (3.).

1. Le droit minier est une compétence de la Polynésie française

L'autonomie de la Polynésie française a été renforcée dans le prolongement de la modification de l'article 74 de la Constitution issue de la révision constitutionnelle de 2003. La Polynésie française est désormais une collectivité d'outre-mer (COM) dont l'organisation particulière est régie par la loi organique n° 2004-192 du 27 février 2004 portant statut d'autonomie de la Polynésie française (ci-après « la loi statutaire »). Ce statut d'autonomie confère à la Polynésie française des prérogatives très étendues et affirme même qu'elle exerce une compétence de droit commun. Ainsi, son article 13 dispose que « Les autorités de la Polynésie française sont compétentes dans toutes les matières qui ne sont pas dévolues à l'État par l'article 14 et celles qui ne sont pas dévolues aux communes en vertu des lois et règlements applicables en Polynésie française. »

Au nombre de ces compétences très étendues figure la réglementation des activités minières, y compris l'éventuelle exploitation des mines sous-marines.

Au plan de la répartition des compétences entre les institutions polynésiennes, le droit minier est partagé entre le conseil des ministres et

⁵ Ordonnance n° 2011-91 du 20 janvier 2011 portant codification législative du code minier.

l'assemblée de la Polynésie française. Le conseil des ministres accorde les concessions d'exploitation minières (article 91, 11° de loi statutaire) dans le cadre de la réglementation minière édictée par l'Assemblée de la Polynésie française. À ce jour la réglementation minière est extrêmement sommaire et lacunaire puisqu'elle se résume à un code d'une soixantaine d'articles issu d'une délibération du 25 juin 1985⁶. Ainsi, il n'existe pas de fiscalité propre ou de réglementation environnementale particulière à l'activité minière. Quant à l'hypothèse d'activités minières sous-marines, elle n'est même pas envisagée par la réglementation locale.

La loi statutaire envisage quant à elle cette éventualité sous l'angle d'un transfert de compétences extrêmement large au bénéfice de la Polynésie française. Sous la réserve d'une compétence résiduelle de l'État en matière de « matières premières stratégiques » - sur laquelle nous reviendrons – elle prévoit un transfert de compétences au profit de la Polynésie française dont l'ampleur est remarquable. En effet, loin de se limiter à la périphérie côtière, la Polynésie française s'est vue transférer par l'État une compétence générale en matière d'exploitation des ressources de la ZEE.

L'article 47 de la loi statutaire dispose en effet que : « La Polynésie française régit et exerce le droit d'exploration et le droit d'exploitation des ressources naturelles biologiques et non biologiques des eaux intérieures, en particulier les rades et les lagons, du sol, du sous-sol et des eaux surjacentes de la mer territoriale et de la zone économique exclusive dans le respect des engagements internationaux. »

2. L'État conserve une compétence « stratégique » résiduelle

La récente réécriture du code minier a donné l'occasion à l'État de réaffirmer sa compétence minière dans l'ensemble de l'outre-mer s'agissant des matières premières stratégiques⁷. S'agissant de la Polynésie française, la

⁶ Délibération n° 85-1051 AT du 25 juin 1985 portant code minier du territoire de la Polynésie française

⁷ Un chapitre est notamment consacré à la Polynésie française intitulé “Dispositions applicables à la prospection, à la recherche et à l'exploitation des matières premières stratégiques” dont l'article L 671-1 dispose : “La prospection, la recherche et l'exploitation des matières premières stratégiques telles qu'elles sont définies pour l'ensemble du territoire de la République, à l'exception des hydrocarbures liquides ou gazeux, et lorsque les gîtes de ces matières premières sont situés dans le sous-sol du plateau continental ou de la zone économique exclusive adjacent à la Polynésie française ou existent à leur surface,

référence aux « matières premières stratégiques » figure expressément à l'article 14 de la loi statutaire de la Polynésie française. Un peu plus explicite, la loi statutaire néo-calédonienne renvoie quant à elle aux « substances utiles aux recherches et réalisations concernant l'énergie atomique, telles qu'elles sont énumérées par un décret en Conseil d'État. »

On peut regretter qu'à l'occasion de l'actuel projet de refonte du code minier ces notions de « matières premières stratégiques » et de « substances utiles aux recherches et réalisations concernant l'énergie atomique » n'aient pas fait l'objet d'une clarification dans la mesure où les bases légales sur lesquelles reposent ces notions sont à la fois anciennes et obsolètes.

En effet, c'est un décret de 1956 qui précise que « sont utiles à l'énergie atomique » : l'hélium, l'uranium, le thorium, le béryllium, le lithium et leurs composés. La notion de « substance nécessaire à l'énergie atomique » est plus restreinte – et donc précise – que la notion de « matières premières stratégiques » qui intéresse la Polynésie française.

Quant à la notion de « matières premières stratégiques », elle figure dans une série de décrets de 1959 qui, outre les produits nécessaires à l'énergie atomique, évoque les hydrocarbures liquides et gazeux. Cette rédaction souligne l'obsolescence des bases légales permettant d'apprécier le contenu de la compétence résiduelle de l'État dans un domaine aussi crucial que le contrôle des matières premières stratégiques.

À n'en pas douter, l'État considère qu'il peut librement définir, et donc étendre en tant que de besoin, la liste de ces matières premières stratégiques. Sur le plan juridique, ce flou de la ligne de démarcation entre les compétences respectives de l'État et de la Polynésie française n'est évidemment pas satisfaisant. Ainsi, par exemple, la simple lecture des textes ne permet pas de déterminer si les fameuses « terres rares » sont au nombre des « matières premières stratégiques ». En effet, si les « terres rares » sont considérées comme des métaux stratégiques au niveau international, elles ne figurent pas dans la liste des « métaux stratégiques » au niveau national.

De même, la loi statutaire ne fournit aucune indication sur la manière dont la compétence résiduelle de l'État s'articule avec la compétence de principe de la Polynésie française et dans quelle mesure la première est susceptible de limiter la mise en œuvre de la seconde. On ignore enfin si le périmètre des « matières premières stratégiques », dont on pressent le caractère évolutif, peut être aisément et durablement circonscrit et dans quelle mesure le Comes, pourrait contribuer à rendre plus accessible cette notion.

le transport par canalisation de ces matières premières sont soumis aux dispositions du livre Ier et des livres III à V du présent code, dans le respect des compétences dévolues à cette collectivité.”

Ces différentes interrogations montrent que la notion de « matières premières stratégiques » constitue l'élément clé de la répartition des compétences entre l'État et la Polynésie française dans le domaine minier.

3. Une nécessaire clarification du partage de compétences

On conçoit sans difficulté que les autorités de la Polynésie française considèrent avec le plus grand intérêt l'existence d'un potentiel minéral sous-marin. Ce vif intérêt a d'ores et déjà suscité le dépôt d'une proposition de loi organique au Sénat par le sénateur indépendantiste Richard Tuheiava visant à remettre en cause la compétence résiduelle de l'État en Polynésie française sur le fondement de la maîtrise par cette collectivité de son développement⁸.

Dans un environnement ultramarin où la légitimité de sa présence reste fragile et s'inscrit dans un cadre géopolitique très complexe, il n'est pas certain que l'État ait intérêt à laisser se perpétuer une quelconque ambiguïté sur l'étendue de ses compétences. En effet, une telle situation pourrait donner à penser que l'État cacherait quelque chose alors que lui-même ignore assez largement aussi bien l'étendue que le potentiel des ressources minérales sub-océaniques. Cette clarification est d'autant plus nécessaire s'agissant de minéraux naturellement « cachés » au fond de l'Océan, au surplus qualifiés de « stratégiques » et dont on pressent qu'ils sont susceptibles d'alimenter tous les fantasmes, dans un contexte où les esprits sont déjà fortement marqués par le souvenir des expériences menées par le Centre d'expérimentation du Pacifique et la part de secret qui s'y attache. En d'autres termes, il paraît indispensable de dissiper l'aura de mystère qui entoure – sans doute à tort – la notion quelque peu désuète de « matières premières stratégiques ».

Un changement de terminologie pourrait s'avérer utile en privilégiant la notion européenne de « minerais critiques » dont la connotation est moins martiale et qui a fait l'objet d'un travail de définition.

⁸ Proposition de loi organique n° 473 du 9 mars 2012 relative à l'actualisation de certaines dispositions du statut d'autonomie de la Polynésie française en matière de développement durable en endogène, et à l'actualisation de certaines dispositions du code minier national. Selon l'exposé des motifs de cette proposition de texte, la notion de « matières premières stratégiques » est obsolète et « rien ne permet de justifier davantage une telle sphère d'exclusivité de l'État couvrant les « matières premières stratégiques » dans ces collectivités ».

Dans un rapport du 17 juin 2010, la Commission européenne énumère une liste (non définitive) de 14 minerais qu'elle qualifie de « critiques » en expliquant que cette dénomination s'explique par « leur haut risque d'approvisionnement qui tient principalement au fait que la majeure partie de la production provient de Chine (antimoine, fluorine, gallium, germanium, graphite, indium, magnésium, terres rares, tungstène), de Russie (métaux du groupe des platines), République démocratique du Congo (cobalt, tantale) et du Brésil (niobium et tantalum). Outre que la production de ces minerais est concentrée, ils se caractérisent par une substituabilité et des possibilités de recyclage limitées »⁹. Confrontés aux mêmes difficultés d'approvisionnement, les États-Unis recourent à des critères comparables quoique davantage liés à la dépendance du secteur de la défense.

Au-delà des considérations terminologiques, une meilleure connaissance des enjeux attachés à la qualification juridique de minerais stratégiques paraît nécessaire. Actuellement, l'État peut unilatéralement exciper du caractère stratégique d'un minerai – sans même à avoir à motiver cette qualification – et par là-même accroître le périmètre de sa propre compétence au détriment de celle de la Polynésie française. Pour y remédier, il conviendrait d'instaurer une procédure permettant de justifier du bien-fondé de la ladite qualification et assurant qu'elle repose sur des éléments rationnels, compréhensibles et vérifiables par les autorités polynésiennes. Cet effort d'explication du processus aboutissant à retenir ou à écarter la qualification de « matières premières stratégiques » permettrait d'asseoir la compétence de l'État sur des bases plus solides. Cet effort d'objectivation de la notion de « matières premières stratégiques » satisferait assurément aux attentes de plus en plus pressantes de l'opinion en matière de transparence de l'action publique.

Le Comes pourrait être mis à contribution dans le cadre de cet effort de communication à l'attention du public. Cet organisme est en effet le mieux placé à cet égard, puisqu'il s'est vu confier un rôle central dans le processus de détermination des « matières premières stratégiques ». C'est ce qui ressort très distinctement de l'article 1^{er} du décret du 24 janvier 2011 décrivant les attributions de cet organisme :

« Ce comité a pour mission d'assister le ministre chargé des matières premières dans l'élaboration et la mise en œuvre de la politique de

⁹ *Critical raw material for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials*, 2010. Sur cette approche européenne, v. notamment, P. Christmann, *Métaux et ressources minérales stratégiques : enjeux, réponses françaises et européenne*, Société Géologique de France, *Géologue*, n° 170, (http://www.geosoc.fr/temoignages/cat_view/1-dossiers/20-matieres-minerales/66-tensions-et-contraintes-des-substances-minerales.html)

gestion des métaux stratégiques, en vue de renforcer la sécurité d'approvisionnement nécessaire à la compétitivité durable de l'économie.

À ce titre, il identifie et apprécie les risques auxquels l'économie française, et si nécessaire européenne, est exposée du fait de sa dépendance en termes d'approvisionnement et de transformation de matières premières minérales (non énergétiques), et compte tenu des utilisations qui sont faites de ces matières premières.

Il propose, parmi celles-ci, les matières qui nécessitent une vigilance renforcée.

Il propose toute mesure permettant de renforcer la sécurité d'approvisionnement française au regard du contexte européen et international, notamment en ce qui concerne les possibilités d'économies ou les substitutions de matières premières, leur récupération et leur recyclage.

Il peut être consulté sur les programmes de recherche conduits dans ce domaine et identifie les travaux de recherche nécessaires.

Il prend connaissance des informations et des études notamment prospectives permettant d'éclairer la politique à conduire et la définition des orientations stratégiques. »

Une meilleure connaissance des travaux du Comes pourrait assurément contribuer à clarifier la notion de « matières premières stratégiques » et les enjeux qui s'y attachent. La particularité, on l'aura compris, est qu'il s'agit d'une notion dont le contenu est variable. C'est la raison pour laquelle l'étendue de la compétence de l'État est elle-même variable.

Une fois cette répartition des compétences clarifiée, il conviendrait d'envisager les aspects pratiques touchant à sa mise en œuvre. Du côté de l'État, il pourrait être envisagé de mettre en place des modalités d'information appropriées à l'attention des autorités polynésiennes. On peut, par exemple, imaginer la transmission périodique d'une liste actualisée des matières premières stratégiques ou encore, la possibilité d'assister à certains travaux du Comes. Du côté de la Polynésie française, il pourrait être envisagé d'insérer dans la réglementation minière des dispositions visant à assurer le respect des compétences de l'État ; par exemple, la mise en place de mesures d'information du représentant de l'État en Polynésie française, notamment dans le cadre de la délivrance des autorisations d'exploration et d'exploitation des ressources minérales sous-marines.

Si cette option minimaliste d'une simple clarification advenait, elle impliquerait d'organiser la mise en œuvre des compétences respectives de l'État et de la Polynésie française. Dans cette optique, il appartiendrait à l'État d'informer la Polynésie française des « contraintes » que la notion de matières premières stratégiques fait peser sur l'exercice de sa compétence

en matière d'exploration et surtout d'exploitation des ressources minérales marines profondes.

Une option maximaliste est également envisageable : celle où l'État ne se bornerait pas à une simple clarification de la répartition des compétences, mais accepterait de modifier celles-ci. On peut par exemple imaginer que l'État renonce purement et simplement à la compétence résiduelle au titre des matières premières stratégiques après avoir conclu à sa relative inutilité en raison de sa consistance trop vague pour être réellement opératoire.

4. Bibliographie

KATO Y. *et al.*, 2011 – « Deep-sea mud in the Pacific Ocean as potential resource for rare-earth elements », *Nature Geoscience*, 4, 535-535-539 (<http://nature.com/ngeo/journal/v4/n8/ngeo1185.html>).

Ifremer, 2011 – Les ressources minérales profondes, Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030.

II-2. Contraintes et référentiels juridiques

C. DAVID, A. TROIANIELLO

L'objet de cette question est d'analyser le contexte normatif dans lequel s'inscrivent l'exploration et l'exploitation des fonds marins, appliqué au cas particulier de la Polynésie française. Elle se subdivise en deux parties. Il s'agit d'une part d'analyser le droit positif applicable à la matière, c'est-à-dire les normes juridiques contraignantes qu'elles soient internationales, nationales ou locales (1). Il s'agit d'autre part d'identifier les outils de régulation pouvant servir de référentiel dans l'optique de la mise en place d'une réglementation dédiée à l'exploration et l'exploitation des fonds marins polynésiens (2). Seront considérés dans ce dernier cadre les outils développés par l'Autorité Internationale des Fonds Marins ou par des organisations non gouvernementales, ainsi que certaines législations nationales.

1. Les contraintes juridiques

Cette première partie vise à délimiter synthétiquement le cadre normatif dans lequel s'inscriraient aujourd'hui l'exploration et l'exploitation des fonds marins en Polynésie française. Les règles juridiques contraignantes à prendre en compte sont diverses : normes constitutionnelles, normes internationales, normes législatives et réglementaires nationales ou encore normes locales. Les différents niveaux seront successivement examinés, suivant leur niveau hiérarchique dans le système juridique polynésien.



1.1. Les normes constitutionnelles : l'impact et la mise en œuvre de la Charte de l'environnement

La Charte de l'environnement, adoptée le 28 février 2005, a pour effet de placer la protection de l'environnement au plus haut niveau dans la hiérarchie des normes, à savoir au rang constitutionnel. Applicable en Polynésie française, les principes qu'elle impose doivent donc nécessairement être pris en compte dans le cadre de la mise en place d'une activité susceptible d'avoir un impact sur l'environnement, ce qui est à n'en point douter le cas de l'exploration et de l'exploitation des fonds marins.

À cet égard, il convient de préciser les règles de mise en œuvre en Polynésie française des dispositions contenues dans la Charte et d'évoquer les différents principes devant être pris en compte dans le cadre d'une activité minière sous-marine.

La Charte de l'environnement est composée de 10 articles. Le Conseil constitutionnel a eu l'occasion de préciser que l'ensemble des droits et devoirs définis dans la Charte de l'environnement a valeur constitutionnelle¹. Il en est de même pour son préambule². Toutefois, toutes les dispositions de la Charte ne sont pas pour autant d'effet direct, c'est-à-dire que la mise en œuvre de certains principes consacrés par ce texte nécessite une intervention du législateur. Tel est le cas des articles 3 (principe de prévention), 4 (réparation des dommages causés à l'environnement) et 7 (information et participation du public en matière environnementale). Par ailleurs, les articles 8 (éducation et formation), 9 (recherche et innovation) et 10 (action européenne et internationale de la France) sont des dispositions n'instaurant que des objectifs sans implication

¹ Conseil constitutionnel, décision n° 2008-564 DC, 19 juin 2008, cons. 18 et 49, Journal officiel du 26 juin 2008, page 10228, texte n° 3, Rec. p. 313.

² Conseil constitutionnel, décision n° 2014-394 QPC, 7 mai 2014, cons. 4 et 5, JORF du 10 mai 2014 page 7873, texte n° 78)

juridique concrète. Ils n'ont d'ailleurs fait l'objet d'aucune décision de la part du Conseil constitutionnel.

1.1.1. Les articles de la Charte nécessitant une intervention de l'Assemblée de Polynésie française pour leur mise en œuvre

Avant d'analyser la portée des différents principes énoncés dans la Charte, il convient de clarifier la question particulière de la détermination de l'autorité compétente pour la mise en œuvre des articles nécessitant une intervention du législateur. En effet, un tel renvoi pose problème dans la mesure où la Polynésie française, compétente en matière environnementale, ne dispose pas d'un pouvoir formellement législatif.

Dans ce contexte, la compétence de la Polynésie française pour mettre en œuvre la Charte de l'environnement ne peut être envisagée qu'en dehors de l'exercice d'un pouvoir de nature législative. En effet, les lois du pays polynésiennes sont en réalité des actes réglementaires que seules des modalités de contrôle spécifiques différencient de la délibération ordinaire. Les guillemets systématiquement utilisés pour désigner cet outil normatif témoignent d'ailleurs de son ambivalence³. À cet égard, l'exposé des motifs de la loi organique portant statut d'autonomie de la Polynésie française⁴ qualifie le pouvoir normatif de l'assemblée territoriale de pouvoir « quasi-législatif » lorsqu'il intervient dans le domaine de l'article 34 de la Constitution.

Le Conseil d'État a récemment eu à se prononcer sur cette question dans un arrêt du 13 février 2015⁵. Dans cette affaire, la Haute juridiction avait à statuer sur la compétence de l'Assemblée de Polynésie française pour fixer « les conditions et limites » de l'article 7 de la Charte de l'environnement. Saisi d'une « loi du pays » portant modification du Code de l'aménagement de la Polynésie française, le Conseil d'État a considéré « que lorsque l'Assemblée de Polynésie française édicte, par des actes dénommés « lois du pays », des mesures relevant du domaine de la loi, il lui incombe de définir les conditions et limites dans lesquelles doit s'exercer le droit reconnu à toute personne par l'article 7 de la Charte de l'environnement d'accéder aux informations relatives à l'environnement détenues par les autorités publiques et de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement ». Il a ensuite censuré les dispositions litigieuses en estimant que « en adoptant les

³ En effet, aussi bien la loi organique statutaire de 2004 relative à la Polynésie française que les décisions de justice relatives aux « lois du pays » polynésiennes prennent soin d'utiliser des guillemets lorsqu'elles évoquent cet outil.

⁴ Loi organique n° 2004-192 du 27 février 2004 portant statut d'autonomie de la Polynésie française.

⁵ Conseil d'État, 13 février 2015, n° 384447.

dispositions contestées sans déterminer les conditions et limites de la participation du public à la procédure d'actualisation des plans de prévention des risques naturels prévisibles, l'assemblée de Polynésie française a méconnu l'étendue de sa compétence au regard des exigences de l'article 7 de la Charte de l'environnement ».

Par cet arrêt, le Conseil d'État lève donc une incertitude quant à la possibilité de mettre en œuvre l'article 7 de la Charte de l'environnement par la voie réglementaire, malgré le renvoi au législateur formulé par le Constituant. Il est vrai qu'une autre solution aurait rendu en pratique impossible l'adoption de dispositions fixant les conditions et limites du droit d'information et de participation en Polynésie française. Pour ce faire, le Conseil d'État retient ici un critère matériel de la loi et non un critère formel. Pour le Conseil d'État en effet, c'est parce que la « loi du pays » polynésienne intervient dans le domaine matériel de la loi nationale qu'il lui revient de mettre en œuvre les dispositions de l'article 7 de la Charte de l'environnement.

Dès lors, si les principes de prévention, de réparation, d'information et de participation du public sont aujourd'hui très peu présents en Polynésie française dans la mesure où ils n'ont fait l'objet que de très peu d'intervention de l'Assemblée de la Polynésie française, toute réglementation intervenant en lien avec la matière environnementale qui ne mettrait pas en œuvre ces principes serait susceptible d'être annulée par le juge.

1.1.2. Le contenu des règles constitutionnelles s'imposant en matière environnementale en Polynésie française

Cette question technique étant tranchée, il reste à analyser la portée de l'ensemble des principes énoncés par la Charte de l'environnement. Outre les principes nécessitant une intervention de l'Assemblée de Polynésie française pour leur mise en œuvre, la Charte comporte d'autres droits et devoirs dotés d'un effet direct, c'est-à-dire trouvant application directement sur la base de la Charte, sans qu'il soit nécessaire que le législateur ou toute autre autorité jugée compétente (Assemblée de Polynésie française) n'intervienne. Il en ressort un corpus de règles de rang constitutionnel qui s'imposent à la Polynésie française lors de la mise en place de réglementations en lien avec la matière environnementale.

Le Conseil constitutionnel considère que les principes édictés aux articles 1 à 5 et 7 de la Charte peuvent être utilement invoqués par le justiciable dans le cadre d'une procédure de question prioritaire de constitutionnalité. Transposé aux réglementations environnementales susceptibles d'être édictées par la Polynésie française et dans le cadre du principe de spécialité législative, cela signifie que la violation des droits et

devoirs édictés par la Charte serait considérés par le Conseil d'État comme un motif d'annulation substantiel. En conséquence, les « lois du pays » et délibérations adoptées par l'Assemblée de Polynésie française en matière d'exploration et d'exploitation des ressources minérales profondes devront tenir compte du contenu de ces droits et devoirs, tels que définis par le Conseil constitutionnel. Notons que ceux-ci sont par ailleurs énumérés en tant que principes généraux à l'article Lp. 100-2 du Code de l'environnement de la Polynésie française.

1.1.2.1. L'OBLIGATION DE VIGILANCE ENVIRONNEMENTALE

Le Conseil constitutionnel a eu l'occasion de préciser que le respect des droits et devoirs énoncés en termes généraux par les articles 1^{er} et 2 de la Charte de l'environnement, à savoir le droit de vivre dans un environnement sain et équilibré et le devoir de prendre part à la préservation de l'environnement, s'impose non seulement aux pouvoirs publics et aux autorités administratives dans leur domaine de compétence respectif mais également à l'ensemble des personnes. Il résulte de ces dispositions que chacun est tenu à une obligation de vigilance à l'égard des atteintes à l'environnement qui pourraient résulter de son activité. Dans ce cadre, il est loisible à l'autorité compétente de définir les conditions dans lesquelles une action en responsabilité peut être engagée sur le fondement de la violation de cette obligation⁶.

1.1.2.2. LE DEVOIR DE PREVENTION

Il ressort de la lecture combinée de la jurisprudence du Conseil constitutionnel et du Conseil d'État qu'il incombe à l'Assemblée de la Polynésie française et, dans le cadre alors défini par « loi du pays », aux autorités administratives de déterminer, dans le respect des principes énoncés par l'article 3 de la Charte de l'environnement, les modalités de la mise en œuvre du principe selon lequel toute personne doit prévenir les atteintes qu'elle est susceptible de porter à l'environnement ou, à défaut, en limiter les conséquences⁷.

1.2.2.3. LA CONTRIBUTION A LA REPARATION DES DOMMAGES

De même, il incombe à l'Assemblée de la Polynésie française et, dans le cadre alors défini par « loi du pays », aux autorités administratives de déterminer, dans le respect des principes énoncés par l'article 4 de la Charte de l'environnement, les modalités de la mise en œuvre du principe

⁶ Décision n° 2011-116 QPC, 8 avril 2011, cons. 5, Journal officiel du 9 avril 2011, page 6361, texte n° 89, Rec. p. 183.

⁷ Ibid, cons. 6.

selon lequel toute personne doit contribuer à la réparation des dommages qu'elle cause à l'environnement⁸.

1.2.2.4. LE PRINCIPE DE PRECAUTION

Le principe de précaution, garanti par l'article 5 de la Charte de l'environnement, s'impose aux pouvoirs publics et aux autorités administratives dans leur domaine de compétence respectif⁹.

Aux termes de l'article 5 de la Charte de l'environnement, « *Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attributions, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage* ». Il est repris au 4^{ème} alinéa du I de l'article Lp. 100-2 du Code de l'environnement de Polynésie française : « *Lorsqu'il existe un risque de dommage grave et irréversible à l'environnement, notamment une menace de réduction sensible de la biodiversité, l'absence de certitudes scientifiques ne doit pas être invoquée comme raison pour différer les mesures qui permettraient d'en éviter le danger ou d'en atténuer les effets* ».

Ce principe revêt une importance particulière dans le cadre d'activités telles que l'exploration et l'exploitation des ressources minérales profondes dans la mesure où pèsent sur elles nombre d'incertitudes quant à leur impact environnemental, tant du point de vue technologique (impact des techniques d'exploration/exploitation) que biologique (identification de la biodiversité présente et impact des prélèvements sur la biodiversité). Il est néanmoins important de souligner que le principe de précaution n'est nullement un principe induisant l'inaction en cas de carence des connaissances scientifiques. Il constitue en réalité un processus interactif entre action et connaissance. D'une manière générale, le principe de précaution ne vise pas à montrer davantage de prudence dans la prévention, mais à se saisir de façon précoce du risque.

Le principe de précaution est caractérisé par l'existence de risques incertains quant à des menaces graves et irréversibles pesant sur l'environnement, engendrant la nécessité d'adopter des mesures provisoires et proportionnées, en se fondant nécessairement sur les connaissances scientifiques. L'évolution de ces dernières peut entraîner la révision des mesures prises dans un processus continu d'interaction avec la science.

⁸ Ibid.

⁹ Décision n° 2008-564 DC, 19 juin 2008, cons. 18 et 21, Journal officiel du 26 juin 2008, page 10228, texte n° 3, Rec. p. 313.

Dans un arrêt d'assemblée du 12 avril 2013, le Conseil d'État a défini les modalités d'application du principe de précaution. Il a tout d'abord établi dans cet arrêt l'étendue du champ d'application du principe de précaution en interprétant extensivement les définitions textuelles : le principe de précaution englobe les atteintes à l'environnement et à la santé humaine alors que le Code de l'environnement et la Charte ne visent que l'environnement.

Par ailleurs, les modalités de mise en œuvre du principe par les autorités administratives peut être appréhendé en 3 étapes, que le juge vérifiera une à une lors de son contrôle :

L'autorité administrative doit rechercher s'il existe des éléments de nature à faire soupçonner l'existence d'un risque justifiant l'application du principe de précaution, et ce en dépit du caractère hypothétique d'un tel risque, qui n'a pas à être scientifiquement prouvé. Le risque incertain doit toutefois être circonstancié (avis, expertises, consultation des données scientifiques disponibles).

Si la nécessité d'appliquer le principe de précaution est reconnue, l'autorité administrative a alors l'obligation d'instaurer ou de superviser des procédures d'évaluation des risques par la mise en place de dispositifs de suivi, de recherche dont le but est de faire avancer les connaissances scientifiques pour sortir de l'incertitude.

Enfin, il existe une obligation de vérifier que les mesures de précaution prises sont adéquates, c'est-à-dire ni insuffisantes, ni excessives, en prenant en compte le caractère plausible et la gravité du risque et l'intérêt de l'opération. Est ainsi opéré une mise en balance des avantages et des inconvénients du projet.

1.2.1.5. LE PRINCIPE D'INFORMATION ET DE PARTICIPATION DU PUBLIC

Comme évoqué plus haut, il revient à l'Assemblée de Polynésie française de mettre en œuvre les dispositions de l'article 7 de la Charte de l'environnement. Il revient donc à l'Assemblée de Polynésie française de préciser « *les conditions et les limites* » dans lesquelles doit s'exercer le droit de toute personne à accéder aux informations relatives à l'environnement détenues par les autorités publiques. Ne relèvent du pouvoir réglementaire dérivé que les mesures d'application des conditions et limites, qui sont fixées par la « loi du pays »¹⁰.

Quant à la portée des conditions et limites pouvant être apportées aux principes, le Conseil constitutionnel a eu l'occasion de préciser que ne doivent être regardées comme « ayant une incidence sur l'environnement » que les décisions qui ont une incidence « directe et significative » sur

¹⁰ Décision n° 2008-564 DC, 19 juin 2008, cons. 48, 49 et 56, op. cit.

l'environnement. Le législateur a ainsi fixé au principe de participation du public des limites qui ne méconnaissent pas les exigences de l'article 7 de la Charte de l'environnement¹¹.

Toutefois, lorsqu'il fixe la durée minimale pendant laquelle une décision publique ayant une incidence sur l'environnement est mise à la disposition du public et qu'il détermine la forme de cette mise à disposition, qui doit être faite notamment par voie électronique, le législateur se borne à prévoir le principe de la participation du public sans préciser « les conditions et les limites » dans lesquelles doit s'exercer le droit de toute personne de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement¹².

Il y a par ailleurs lieu de souligner que la participation à l'élaboration d'une décision ayant une incidence sur l'environnement d'un comité comprenant des représentants d'usagers, des organisations socioprofessionnelles, des associations agréées de protection de l'environnement et de défense des consommateurs, des instances représentatives et des personnes qualifiées ne constitue pas un dispositif permettant la participation du public au sens de l'article 7 de la Charte de l'environnement¹³.

D'autre part, une décision du Conseil constitutionnel rendu à l'occasion d'une question prioritaire de constitutionnalité à l'encontre de dispositions du Code minier de Nouvelle-Calédonie relatives à la procédure d'attribution de permis de recherche est également intéressante. Le juge constitutionnel a en effet considéré que, « *compte tenu de la nature des substances minérales susceptibles d'être recherchées et en l'état des techniques mises en œuvre, le législateur a pu considérer que les autorisations de travaux de recherches ne constituent pas des décisions ayant une incidence significative sur l'environnement* ». Par suite, en ne prévoyant pas de procédure d'information et de participation du public préalable à l'intervention des autorisations de travaux de recherches, le législateur a fixé, au principe d'information et de participation du public, des limites qui ne méconnaissent pas l'article 7 de la Charte de l'environnement¹⁴. Cette décision doit toutefois être maniée avec précaution tant son caractère relatif est important. Elle ne concerne que la recherche du chrome, du nickel et du cobalt et uniquement pour les techniques de forage

¹¹ Décision n° 2012-282 QPC, 23 novembre 2012, cons. 16, Journal officiel du 24 novembre 2012, page 18543, texte n° 90, Rec. p. 596

¹² Décision n° 2014-395 QPC, 7 mai 2014, cons. 11, JORF du 10 mai 2014 page 7874, texte n° 79

¹³ Décision n° 2014-396 QPC, 23 mai 2014, cons. 6, JORF du 25 mai 2014 page 8583, texte n° 31.

¹⁴ Décision n° 2013-308 QPC, 26 avril 2013, cons. 8 à 11, JORF du 28 avril 2013 page 7401, texte n° 32, Rec. p. 682

utilisées dans le cas d'espèce (technique dite « air-core » et sondage carotté).

Enfin, il peut être utile de noter que les actes réglementaires de nomenclature qui déterminent le régime applicable aux installations classées constituent des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement. Il en va de même des projets de prescriptions générales que doivent respecter les installations classées pour la protection de l'environnement soumises à enregistrement. Ces actes sont donc soumis au principe de participation¹⁵.

Outre les principes de rang constitutionnel, les autorités polynésiennes sont soumises au droit international.

1.2. Le droit international

Force est de constater que peu de conventions internationales traitent de la question spécifique de l'exploration et de l'exploitation des fonds marins.

Avant la convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1982, dite « convention de Montego Bay », il n'existait aucune réglementation internationale spécifique aux fonds marins. Seules des conventions spécifiques à la pollution marine, comme par exemple la convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets du 29 décembre 1972 ou la convention MARPOL, régissaient les eaux maritimes.

En application des principes du droit international public établis par les conventions de Genève de 1958 et de Montego Bay de 1982, l'État côtier dispose des droits de souveraineté « *aux fins d'exploration et d'exploitation, de conservation et de gestion des ressources naturelles, biologiques ou non biologiques, des eaux surjacentes aux fonds marins, des fonds marins et de leur sous-sol, ainsi qu'en ce qui concerne d'autres activités tendant à l'exploration et à l'exploitation de la zone*¹⁶ à des fins économiques, telles que la production d'énergie à partir de l'eau, des courants et des vents »¹⁷. L'État côtier a par ailleurs juridiction s'agissant de la mise en place et l'utilisation d'îles artificielles, d'installations et d'ouvrages, la recherche scientifique marine et la protection et la préservation du milieu marin.

¹⁵ Décision n° 2011-183/184 QPC, 14 octobre 2011, cons. 7 et 8, Journal officiel du 15 octobre 2011, page 17466, texte n° 78, Rec. p. 508

¹⁶ La « zone » est ici entendue comme la zone internationale, c'est-à-dire les fonds marins situés au-delà des limites des juridictions nationales.

¹⁷ Article 56 de la Convention de Montego Bay.

L'article 77 de la convention de Montego Bay stipule également que l'État côtier dispose des droits souverains aux fins d'exploration et d'exploitation des ressources naturelles. Ces droits sont exclusifs, c'est-à-dire qu'en cas de non-exploitation par l'État côtier, aucun autre État ne peut intervenir sans son consentement. Dans le périmètre du plateau continental, les droits de l'État côtier portent uniquement sur les ressources minérales des fonds marins et de leur sous-sol et non sur la colonne d'eau.

La Convention de 1982 a été complétée par un accord, en date du 28 juillet 1994 relatif à l'application de la partie XI de la Convention consacrée à l'exploitation minière des fonds marins. Cet Accord de 1994 crée l'Autorité, qui est l'organisation par l'intermédiaire de laquelle les États parties à la Convention, conformément au régime établi pour les fonds marins et leur sous-sol au-delà des limites de la juridiction nationale, organisent et contrôlent les activités menées dans la Zone, notamment aux fins de l'administration de ses ressources.

La Convention de Nouméa pour la protection des ressources naturelles et de l'environnement dans la région du Pacifique Sud du 25 novembre 1986 prévoit par ailleurs que les États parties doivent prendre toutes les mesures appropriées pour prévenir, réduire et contrôler la pollution pouvant résulter directement ou indirectement des activités d'exploration et d'exploitation des fonds marins et de leur sous-sol, sans autre précision.

Par ailleurs, il y a lieu de prendre en compte un avis de la chambre pour le règlement des différends du Tribunal international du droit de la mer du 1^{er} février 2011¹⁸. Relatif aux responsabilités et obligations juridiques des États parties à la Convention de 1982 qui patronnent des activités dans la « Zone », cet avis émet un certain nombre d'éléments dont il serait prudent de tenir compte dans le cadre de l'élaboration d'une réglementation polynésienne relative à l'exploration et l'exploitation des ressources minérales sous-marines. Il ressort de cet avis que pèse sur les États une obligation de diligence (« due diligence ») : ils doivent faire de leur mieux pour que les contractants s'acquittent de leurs obligations, en adoptant une approche privilégiant le principe de précaution, en adoptant des mesures imposant les meilleures pratiques écologiques, en adoptant des mesures afin que le contractant fournisse des garanties pour assurer la protection du milieu marin, ainsi qu'en offrant des voies de recours pour obtenir réparation en cas de dommage.

¹⁸ Chambre pour le règlement des différends relatifs aux fonds marins du Tribunal international du droit de la mer, année 2011, affaire n° 17, 1er février 2011, Responsabilités et obligations des États qui patronnent des personnes et entités dans le cadre d'activités dans la Zone, avis consultatif.

Enfin, notons que l'ensemble des conventions internationales intervenant en matière environnementale (comme la Convention sur la Diversité Biologique de 1992 par exemple) a vocation à trouver application en matière d'activités minières sous-marines, même s'il faut souligner que peu d'entre elles ont une force juridique contraignante.

1.3. Le droit national de niveau législatif et réglementaire

Très peu de dispositions nationales de rang législatif ou réglementaire sont applicables en Polynésie française en matière environnementale, du fait du transfert de la compétence environnementale à la Polynésie française par le statut du 12 juillet 1977.

L'article L. 622-1 du Code de l'environnement français rend notamment applicable en Polynésie française le régime relatif à la pollution par les rejets des navires, due aux opérations d'exploration et d'exploitation du fond de la mer ou de son sous-sol et par les opérations d'incinération. Toutefois, ces dispositions sont applicables en Polynésie française sous réserve des compétences dévolues au territoire dans les eaux territoriales.

1.4. Le droit polynésien

L'analyse du droit positif local concernant l'exploration et l'exploitation des fonds sous-marins renvoie principalement à deux codes locaux : le Code minier et le Code de l'environnement.

1.4.1. LE CODE MINIER DE POLYNESIE FRANÇAISE

Le Code minier de Polynésie française contient peu de dispositions (14 pages), ce qui est symptomatique de la faiblesse de l'activité minière sur ce territoire.

Le Code distingue les phases de « recherches » et « d'exploitation » (article 1^{er}).

Des permis exclusifs de recherche peuvent être accordés par arrêté du Conseil des ministres, pour trois ans maximum, après enquête publique et avis du comité des mines. L'article 6 du Code minier de Polynésie française exclut néanmoins les matières stratégiques, réglementées par le Code minier français (voir II-1). Les permis de recherche peuvent être renouvelés à deux reprises pour 3 ans maximum, sans nouvelle enquête publique, par arrêté du Conseil des ministres et après avis du comité des mines. La prolongation est de droit pour une durée équivalente à la durée initiale si le titulaire du permis a satisfait à ses obligations. Des conditions

particulières, notamment environnementales, peuvent être imposées via l'arrêté accordant le permis de recherche.

S'agissant de la phase d'exploitation, elle ne peut être opérée que par le territoire lui-même ou par le biais d'une concession. L'octroi de la concession est soumis à la satisfaction de capacités financières et techniques. Elle est accordée après enquête publique aux conditions fixées par arrêté du Conseil des ministres. Pendant la durée d'un permis de recherche, seul son titulaire peut obtenir une concession à l'intérieur du périmètre du permis et pour les substances visées par lui. Il est par ailleurs imposé de se constituer en société pour bénéficier de l'octroi d'une concession.

Le périmètre de la concession est déterminé par les verticales indéfiniment prolongées en profondeur par rapport à un périmètre défini en surface. Mais la responsabilité de l'exploitant à raison des travaux miniers n'est pas limitée au périmètre de la concession.

La durée de la concession est de 50 ans maximum, avec possibilité de plusieurs prolongations pour une durée maximum de 25 ans chacune.

Le cahier des charges de la concession est fixé par arrêté du Conseil des ministres et peut être accompagné de conditions particulières. La concession donne lieu à une redevance fixe, annuelle, dépendant de l'étendue de la concession ou des travaux compris dans son périmètre et en fonction de la nature des substances exploitées, avec possibilité d'exonération partielle ou totale. Le droit de concession est un droit immobilier, distinct du droit de propriété de la surface, insusceptible d'hypothèque, contrairement aux autres biens immobiliers.

Il est par ailleurs prévu qu'il est possible de disposer des substances autres que celles qui font l'objet de la concession pour les besoins de l'exploitation. Sinon, le propriétaire peut les récupérer, moyennant paiement.

L'exécution des travaux nécessitent le consentement du propriétaire de la surface. Est prévue la possibilité d'établir à demeure des câbles, des canalisations, des pylônes..., d'enterrer des câbles, de dégager les sols à l'intérieur du périmètre ou à l'extérieur, après autorisation par arrêté du Conseil des ministres. Il en est de même pendant la phase de travaux de recherche.

L'article 34, dans une rédaction assez nébuleuse, semble prévoir la possibilité de versement d'une caution.

Sont également prévues des dispositions relatives à la surveillance administrative, aux mesures à prendre en cas d'accident, ainsi qu'à la remise en état mais il doit être souligné qu'elles se caractérisent par une grande généralité.

La violation de certaines obligations peut justifier le retrait des titres miniers et leur mutation ne peut se faire qu'avec l'accord du Conseil des ministres.

Le chapitre relatif aux fouilles et levées géophysiques prévoit l'accès obligatoire des agents publics aux sites avec possibilité de se faire remettre des échantillons, documents ou renseignements. Il comprend des dispositions spécifiques aux travaux exécutés en mer. En effet, l'article 56 prévoit que les renseignements intéressant la sécurité de la navigation de surface, ainsi que ceux qui concernent les propriétés physico-chimiques et les mouvements des eaux sous-jacentes, tombent immédiatement dans le domaine public. Ces renseignements doivent être communiqués, dès leur obtention, pour ce qui concerne leurs missions respectives, à la direction de la météorologie nationale et au service hydrographique et océanographique de la marine, lequel peut, en outre, se faire remettre sans délais les renseignements et documents intéressant la sécurité de la navigation sous-marine ainsi que la morphologie et la nature superficielle du sol marin.

Enfin, le fait d'entreprendre sans autorisation constitue une contravention de 5^{ème} classe...

Bien sûr, dans l'hypothèse où il serait considéré que les minerais présents dans les fonds marins polynésiens et susceptibles d'être exploités relèveraient de la catégorie des « minerais stratégiques », la loi organique statutaire de 2004 renvoie à la compétence de l'Etat.

1.4.2. *Le Code de l'environnement de Polynésie française*¹⁹

Les normes polynésiennes en matière environnementale sont dispersées dans diverses dispositions autonomes et codes. La source principale est néanmoins le Code de l'environnement, adopté en 2003, lequel souffre d'un manque de clarté et d'intelligibilité (H. Lallemand, 2015). Un communiqué du Conseil des ministres de Polynésie française du 1^{er} octobre 2014 laisse néanmoins présager une modernisation et une simplification de la réglementation environnementale (Lallemand, 2015).

S'agissant de l'exploration et l'exploitation des fonds marins, un certain nombre de dispositions du Code de l'environnement polynésien auraient vocation à trouver application.

Ainsi en est-il de la réglementation sur les espaces naturels qui devra être articulée avec celle sur les installations classées pour l'environnement (ICPE) ou encore la réglementation minière évoquée plus haut, laquelle intègre la nécessité de la prise en compte des impacts environnementaux en

¹⁹ Pour une analyse synthétique et critique du Code de l'environnement de Polynésie française, voir H. Raimana Lallemand-Moe, *Droit de l'environnement en Polynésie française*, Journal de droit comparé du Pacifique, Coll. Ex Professo, 2015, 95 pages.

disposant que : « Si les travaux de recherches ou d'exploitation d'une mine sont de nature à compromettre la sécurité ou la salubrité publique, les caractéristiques essentielles du milieu environnant, terrestre, lagunaire ou maritime, la conservation de la mine ou d'une autre mine, la sureté, la sécurité et l'hygiène des ouvriers mineurs, la conservation des voies de communication, la solidité des édifices publics ou privés, l'usage, le débit ou la qualité des eaux de toute nature, il y est pourvu par le territoire, au besoin d'office et aux frais de l'explorateur ou de l'exploitant »²⁰.

La réglementation sur les espaces naturels contenue dans le Code de l'environnement local peut être qualifiée à la fois de sommaire et de classique. Reprenant la logique de catégorisation des espaces selon la nomenclature proposée par l'IUCN, l'article D. 111-2 du Code propose six catégories d'espaces : la réserve naturelle intégrale ou zone de nature sauvage (catégorie 1a et 1b de l'IUCN), le parc territorial (catégorie 2 de l'ICUN), le monument naturel (catégorie 3 de l'ICUN), l'aire de gestion des habitats et des espèces (catégorie 4 de l'ICUN), le paysage protégé (catégorie 5 de l'ICUN) et l'aire protégée de ressources naturelles gérées (catégorie 6 de l'ICUN).

Cette catégorisation est complétée par des dispositions relatives à la procédure de classement.

Par ailleurs, le titre 2 du Code de l'environnement polynésien est consacré à la protection des espèces. Là encore souvent inintelligibles, les dispositions du Code relatives aux espèces répondent à trois logiques bien distinctes : la protection des espèces, la lutte contre les espèces menaçant la biodiversité et la mise en place d'un régime d'accès et de partage des avantages.

S'agissant de l'objectif de protection des espèces, la réglementation locale met en place un dispositif classique de classement des espèces, qui accorde un statut particulier aux tortues marines. Sont distinguées deux catégories d'espèces protégées : catégorie A (espèces vulnérables ou en danger) et catégorie B (espèces rares ou d'intérêt particulier), chacune ayant un régime juridique particulier. Les tortues marines font l'objet d'un dispositif particulier sous l'appellation « espèces réglementées ».

Un certain nombre d'espèces marines animales sont incluses dans la catégorie A²¹, alors que figurent dans la catégorie B toutes les espèces de baleine, de requin, de dauphin et « plus généralement toutes les espèces de mammifères marins », ainsi que la tortue verte.

²⁰ Article 39 du Code minier de Polynésie française.

²¹ On y retrouve des espèces de faune aviaire marine (notamment les pétrels), des reptiles marins (uniquement des espèces de tortues marines), des espèces malacologiques (moules, casques ou tritons) ou encore la raie manta.

Concernant les espèces de catégorie A, la réglementation interdit la perturbation intentionnelle, la destruction, l'altération, la modification ou dégradation des habitats sensibles des espèces concernées. S'agissant des espèces listées en catégorie B, il est prévu la possibilité de prescrire tout ou partie des interdictions mentionnées pour la catégorie A mais pour une durée limitée et pour certaines espèces, par arrêté pris en conseil des ministres, après avis de la commission des sites et monuments naturels. En application de ce dispositif, un arrêté de 2008²² a ainsi acté la mise en place d'un sanctuaire pour la protection et la sauvegarde des baleines et autres mammifères marins dans les eaux intérieures, la mer territoriale et la zone économique exclusive de Polynésie française²³. Il est en conséquence interdit de mutiler, harceler, capturer ou enlever, détenir, transporter, consommer, chasser ces espèces. On entend par « harcèlement », toute manœuvre ou activité d'observation qui aurait pour conséquence de modifier le comportement des animaux, de les contraindre à changer de direction ou de vitesse, de durée d'immersion, de les faire fuir, ou de les bloquer contre le récif ou le rivage.

Des dérogations à cette réglementation sur les espèces protégées sont prévues aux articles Lp. 121-4 et suivants dont aucune n'aurait vocation à s'appliquer aux activités d'exploration et d'exploitation des fonds sous-marins.

S'agissant de la réglementation des déchets, les dispositions relatives aux opérations d'immersion des déchets peuvent trouver application concernant les activités d'exploration et d'exploitation des fonds sous-marins²⁴. Est autorisée l'immersion de déchets dans la mer territoriale dans des lieux déterminés et à une profondeur supérieure à 2000 mètres, après autorisation du Président de la Polynésie française et du ministre chargé de l'environnement. Le conseil des ministres, détermine par arrêté les lieux d'immersion autorisés, dans le respect de la nature et de l'environnement. Les critères retenus par le conseil des ministres doivent tenir compte de l'éloignement des côtes, de la profondeur des eaux des lieux d'immersion, de la courantologie. Les déchets dont l'immersion est possible sont limitativement énumérés. Il s'agit des déblais de dragage, les navires et plateformes et autres ouvrages artificiels en mer, les matières organiques d'origine naturelle marine et les objets volumineux constitués principalement de fer, de béton et de matériaux également non nuisibles.

Enfin, dernière réglementation pertinente au regard des activités d'exploration et d'exploitation des fonds sous-marins, celle des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Globalement, la

²² Arrêté n° 306 CM du 20 février 2008, article 7.

²³ Article A. 121-3 et s. du Code de l'environnement de Polynésie française.

²⁴ Articles Lp. 213-1 à A . 213-17 du Code de l'environnement de la Polynésie française.

réglementation relative aux ICPE en Polynésie française comprend deux procédures d'autorisation assez similaires, la distinction entre les deux porte sur l'importance des risques d'impact sur l'environnement. Elle se démarque donc des dispositifs distinguant les installations soumises à autorisation, enregistrement ou déclaration, tels qu'existant au niveau national ou en Nouvelle-Calédonie par exemple. S'agissant des installations liées aux activités d'exploration et d'exploitation des fonds sous-marins, elles relèveraient sans aucun doute de la catégorie des installations de première classe et seraient notamment soumises à enquête publique (contenant une étude d'impact), ainsi qu'à l'avis du maire de la commune concernée et de la commission des installations classées.

Malgré l'existence d'un titre V fixant des dispositions spéciales aux eaux marines intérieures, à la mer territoriale et aux voies ouvertes à la navigation maritime, introduites en 2012, seules des prescriptions relatives aux pollutions par les rejets d'hydrocarbures des navires sont évoquées et ne concernent donc pas à proprement parler l'activité minière sous-marine.

2. Les référentiels utilisables

Au-delà du droit positif applicable en Polynésie française, qui on l'a vu est très limité, il semble intéressant d'étudier les référentiels potentiellement mobilisables dans le cadre d'une réglementation de l'activité minière sous-marine. Ces référentiels sont de plusieurs ordres : les outils produits par l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) concernant l'activité minière sous-marine dans la « Zone » (A), les outils de soft law (B) ou encore certaines législations nationales existantes (C).

2.1. L'Autorité internationale des fonds marins

L'autorité internationale des fonds marins est une autorité mise en place dans le cadre de la convention des Nations Unies sur le droit de la mer du 12 décembre 1982, dite convention de Montego Bay²⁵. Il s'agit d'une autorité ayant pour mission de contrôler les activités menées dans la Zone, constituée des fonds marins situés au-delà des limites des juridictions nationales.

Une des fonctions principales de l'Autorité est de réglementer l'exploitation minière des grands fonds marins et de veiller à la protection du

²⁵ Voir développements sur le droit international en 1^{ère} partie.

milieu marin contre les effets nocifs pouvant résulter des activités minières d'exploration et d'exploitation. Tout État ou entité souhaitant explorer ou exploiter des minéraux situés dans des fonds marins appartenant à la Zone doit nécessairement contractualiser avec l'Autorité internationale des fonds marins. Dans ce cadre, l'Autorité a établi un certain nombre de réglementations visant à prévenir la pollution marine et les dommages à l'environnement marin.

L'Autorité internationale des fonds marins a ainsi élaboré un « code d'exploitation minière », ensemble détaillé de règles, réglementations et procédures élaborées pour encadrer la prospection, l'exploration et l'exploitation des minéraux marins dans la Zone internationale des fonds marins. Ainsi, la commission juridique de l'Autorité a produit un certain nombre de documents pouvant servir de référentiels au moment d'établir une réglementation sur l'exploration et l'exploitation des fonds marins :

- les Régulations relatives à la prospection et à l'exploration des nodules polymétalliques dans la Zone ;
- les Régulations relatives à la prospection et à l'exploration des sulfures polymétalliques dans la Zone ;
- les Régulations relatives à la prospection et à l'exploration des encroûtements cobaltifères.

La commission juridique de l'Autorité a par ailleurs rédigé des recommandations et modèles dont il pourrait être intéressant de s'inspirer.

Ainsi, en mars 2015, un rapport relatif au développement d'un cadre réglementaire pour l'exploitation minière dans la Zone a été publié²⁶. Ce rapport contient un projet cadre de réglementation des activités d'exploitation minière sous-marine. Il est structuré autour de plusieurs éléments : les demandes d'approbation de plans de travail relatifs à l'exploitation en vue de leur contractualisation, les dispositions des contrats d'exploitation, les obligations relatives à la protection et la préservation de l'environnement marin, les règles relatives à la confidentialité, les dispositifs relatifs aux sanctions ou encore au règlement des litiges. Pour chaque rubrique, il est proposé un contenu, accompagné de commentaires, ainsi que des actions à réaliser pour rendre opérationnelles la réglementation.

Par ailleurs, l'Autorité internationale des fonds marins produit, via sa commission juridique et technique, des recommandations. Ainsi, on peut par exemple citer les recommandations à l'intention des contractants en vue de l'évaluation d'éventuels impacts sur l'environnement liés à l'exploration des nodules polymétalliques dans la Zone, publiées en mai 2010 ou encore les

²⁶ Autorité internationale des fonds marins, *Developing a regulatory framework for mineral exploitation in the Area*, Mars 2015

recommandations à l'intention des contractants en vue de l'évaluation d'éventuels impacts sur l'environnement liés à l'exploration des minéraux marins dans la Zone, publiées en juillet 2013.

Enfin, l'Autorité internationale des fonds marins propose des documents-types. Sont ainsi proposés une notification-type d'intention de prospection, une demande-type d'approbation d'un plan de travail relatif à l'exploration aux fins d'obtention d'un contrat, un contrat-type d'exploration et enfin des clauses-types de contrat d'exploration.

Tous ces outils, bien qu'applicables dans la Zone et donc hors de la juridiction de la Polynésie française peuvent très globalement être utilisés comme référentiels dans le cadre de la mise en place d'un cadre réglementaire local et afin d'initier des outils pour accompagner et rendre opérationnels les dispositifs juridiques qui pourraient être mis en place.

2.2. Les outils de « soft law »

Il existe par ailleurs un certain nombre d'outils non contraignants désignés sous le vocable de « soft law », dont certains sont propres au Pacifique insulaire.

Parmi ceux-ci, on peut citer les lignes directrices de Madang rédigées en 1999 qui développent des principes pour le développement de politiques nationales relatives aux ressources minérales marines des pays insulaires du Pacifique. Les lignes directrices ont été rédigées sur la base des recommandations formulées lors d'un atelier d'experts. Font l'objet d'une attention particulière dans le cadre de ces lignes directrices les questions liées à la protection de l'environnement ainsi que celles relatives à la participation du public.

Les lignes directrices contiennent dix-neuf recommandations à l'adresse des gouvernements des îles du Pacifique constituant une base pour formuler des politiques et législations pour encadrer efficacement l'exploitation minière marine.

On peut encore citer le cadre législatif et réglementaire régional édicté en 2012 par la Sopac (Commission de Géosciences appliquées et de la technologie) du Secrétariat de la Communauté du Pacifique (CPS), directement basé sur les lignes directrices de Madang, qui soulignaient elles-mêmes la nécessité d'un développement ultérieur plus détaillé des lignes directrices. Cette demande a été réitérée par les États ACP présents²⁷ à la réunion inaugurale du projet « Deep Sea Minerals » en Juin 2011. Les

²⁷ Îles Cook, États Fédérés de Micronésie, Fidji, Kiribati, Îles Marshall, Nauru, Niue, Palau, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Samoa, Îles Salomon, Timor Leste, Tonga, Tuvalu et Vanuatu.

principes énoncés dans le cadre législatif et réglementaire régional se veulent formuler les meilleurs conseils disponibles en 2012. Ceux-ci pourraient devoir être modifiés dans la mesure où l'industrie minière sous-marine et les connaissances actuelles et les législations s'y rapportant évoluent.

L'un des objectifs du projet DSM est d'aider les États ACP à la formulation de politiques nationales, de cadres juridiques et de développer la capacité institutionnelle des États pour réguler et surveiller les activités minières sous-marines dans la région. Le développement de ce cadre législatif et réglementaire régional a été réalisé en collaboration avec 15 États participants et en consultation avec un large éventail de parties prenantes.

Ce cadre législatif et réglementaire régional a le mérite de fournir une perspective océanique, favorisant la coopération régionale. L'objectif est de contribuer à la création de normes et de pratiques communes dans toute la région et de faciliter un environnement stable et transparent pour l'exploitation, dans une logique collaborative pour assurer une meilleure connaissance et expertise dans la région concernant la réglementation des activités minières sous-marines.

Par ailleurs, il y a lieu de souligner l'intérêt du Code de gestion des travaux miniers sous-marins, réalisé par la International Marine Minerals Society (IMMS). Dans une décision adoptée lors de sa 16^{ème} session (2010), l'Autorité internationale des fonds marins estimait que « *Le Code fournit aux compagnies d'extraction minière en milieu marin un cadre de références et des critères pour élaborer et mettre en œuvre un programme d'exploration marine ou d'exploitation minière des fonds marins dans le respect de l'environnement; il permet aussi aux partenaires gouvernementaux, aux organisations non gouvernementales et aux collectivités d'évaluer la façon dont les programmes de protection de l'environnement sont appliqués sur les sites d'extraction, et d'évaluer les projets d'application proposés. Ce Code contribue par ailleurs à satisfaire les exigences de l'industrie minière en matière de prévisibilité réglementaire et de réduction maximale des risques, tout en facilitant la planification financière et opérationnelle* ». ²⁸

²⁸ Décision n° ISBA /16/LTC/2, 11 février 2010 :
https://www.isa.org.jm/sites/default/files/files/documents/isba-16ltc-2_2.pdf

2.3. Le droit comparé

Peu d'États ont mis en place des cadres juridiques relatifs à l'exploration et l'exploitation des ressources minérales profondes. Dans ce cadre, seront évoquées certaines problématiques générales, puis seront analysées deux législations adoptées par des États insulaires du Pacifique : celles des Îles Cook et du Royaume de Tonga.

2.3.1. Considérations générales

Les services du Sénat français ont réalisé en 2013 une note sur le sujet en comparant les réglementations nationales de six États : Brésil, États-Unis, Îles Cook, Îles Fidji, Nouvelle-Zélande et Papouasie-Nouvelle-Guinée²⁹.

Sans entrer dans le détail de l'ensemble des réglementations existantes de par le monde, il est possible de tirer un certain nombre d'enseignements d'une étude comparée. Il apparaît en effet que l'État qui entend légiférer dans le domaine des substances minières sous-marines doit en amont s'interroger sur un certain nombre d'éléments afin de procéder à des arbitrages. Il devra par ailleurs être particulièrement vigilant sur certains points afin d'optimiser l'efficacité de sa réglementation.

Un choix stratégique réside ainsi dans le fait de traiter les ressources minérales profondes par assimilation aux autres ressources minérales ou, au contraire, de prévoir une réglementation spécifique. Il apparaît en réalité que peu d'États optent pour une réglementation spécifiquement consacrée aux ressources minérales sous-marines. Ainsi, le Brésil et la Papouasie-Nouvelle-Guinée ont considéré que la législation minière existante était suffisamment adaptée pour régir les activités minières sous-marines.

Des difficultés semblent par exemple être rencontrées par les États dans la définition des notions de nodules, encroûtements et sulfures hydrothermaux.

La question de la mise en place d'une autorité indépendante pour administrer la question de l'activité minière sous-marine semble également être un élément de discussion. Si l'existence d'une telle autorité paraît généralement acquise, la réalité de son autonomie et les pouvoirs qui lui sont octroyés peuvent être assez variables³⁰.

²⁹ « Les ressources minérales marines profondes : nodules polymétalliques, encroûtements et sulfures hydrothermaux – Brésil, États-Unis, Îles Cook, Îles Fidji, Nouvelle-Zélande, Papouasie-Nouvelle-Guinée », Direction de l'initiative parlementaire et des délégations, Note LC 234, Mars 2013, 45 pages.

³⁰ Voir II.6.

Les procédures et modalités de contrôle des activités font l'objet d'une attention particulière.

La délimitation des zones de permis se fait généralement par une division de l'espace marin en blocs, unités de base pour la définition du périmètre des zones objets de titres miniers.

Le transfert du droit de propriété sur les ressources se fait généralement au stade du permis d'exploitation, seuls des volumes limités sous forme d'échantillons étant généralement prélevables en amont.

Par contre, la préoccupation environnementale semble être une constante dans l'ensemble des législations étudiées et le principe de précaution est systématiquement présent dans les réglementations. Une nouvelle problématique, propre au Pacifique insulaire, émerge parallèlement à la question de l'information et la participation du public dans la prise de décision relative à l'exploitation minière sous-marine : il s'agit de la prise en compte des droits des peuples autochtones sur leurs ressources naturelles, ainsi que le consentement préalable et éclairé des populations.

Enfin, les dispositifs fiscaux sont généralement traités séparément de la réglementation, la mise en place d'un dispositif juridique relatif aux activités minières pouvant s'accompagner des régimes fiscaux différents, avec affectation (le plus souvent à un fonds spécifique) ou non des taxes prélevées sur les produits de l'activité.

C'est dans le Pacifique insulaire que l'on retrouve les législations les plus avancées en la matière. Ainsi, la législation adoptée aux Îles Cook en 2009 sur l'exploitation minière sous-marine a été la première législation au monde en ce domaine. Depuis, le Royaume des Tonga a également adopté une loi sur l'exploitation minière sous-marine en 2014. Il apparaît intéressant d'analyser plus en détail les régimes juridiques ainsi mis en place puisqu'ils correspondent à un environnement globalement proche de celui de la Polynésie française.

2.3.2. Les législations des Îles Cook et du Royaume de Tonga

Une étude des législations des Îles Cook et du Royaume de Tonga fait apparaître un certain nombre de points saillants qui méritent d'être soulignés. Outre la mise en place d'autorités indépendantes ayant notamment pour mission l'octroi des permis d'exploration et d'exploitation, les deux législations recèlent un certain nombre de points communs.

2.3.2.1. LA LEGISLATION DES ÎLES COOK

La loi des Îles Cook de 2009 met en place un régime juridique pour réguler les différentes activités liées aux ressources minérales profondes des îles Cook à travers l'octroi de droits en vertu de titres. Sont réglementées la

prospection, l'exploration, la récupération des minerais et la mise en rétention des zones à valeur commerciale mais dont l'exploitation n'est pas encore économiquement viable. L'ensemble du dispositif est placé sous la responsabilité de l'Autorité des ressources minérales sous-marines des Îles Cook³¹, créée par la loi. L'Autorité octroie notamment les différents titres miniers : permis de prospection, permis d'exploration, permis d'exploitation minière et baux de rétention.

Par ailleurs, un Conseil consultatif des ressources minérales sous-marines des îles Cook est également créé. Son rôle est de mettre en place une méthode formelle de consultation entre l'Autorité et la communauté concernant la gestion des minéraux des fonds marins.

Un permis de prospection autorise le titulaire à chercher des minerais dans la zone de permis sur une base non-exclusive. Le permis de prospection est renouvelable. L'octroi des permis de prospection se fait sur la base de blocs définis dans les fonds marins des îles Cook et autorise son titulaire à participer à des opérations de prospection dans le ou les bloc(s) de prospection dans la zone délimitée par le permis.

Le détenteur du permis de prospection peut ensuite présenter une demande de permis d'exploration. Une licence d'exploration autorise son détenteur à exercer des activités d'exploration dans la zone de licence sur une base exclusive. La licence d'exploration est renouvelable. Si un gisement minier est identifié dans la zone couverte par le permis d'exploration, le licencié peut déclarer un emplacement sur le ou les blocs dans lequel le gisement est situé.

Le titulaire de permis d'exploration peut par la suite demander un permis d'exploitation minière ou un bail de rétention à l'égard d'un emplacement.

Un bail de rétention est accordé si l'exploitation d'un minerai n'est pas commercialement viable à court terme, mais est susceptible de le devenir à long terme. Le bail de rétention est conçu pour permettre à un titulaire de permis d'exploration de conserver ses droits sur une zone s'il a identifié et évalué un gisement minéral mais que son exploitation, pour une raison quelconque³², n'est pas possible à court terme mais qu'il existe une perspective raisonnable de rentabilité à moyen ou long terme. La rétention du bail autorise le titulaire à conserver le titre sur une zone sur une base exclusive pour une exploitation dans les 8 ans.

³¹ Sur la question particulière de l'autorité indépendante, voir II-5.

³² Qu'il s'agisse de la situation politique, de la situation sur le marché des minerais, de la nécessité de trouver des sources de financements ou de constituer des réserves de capitaux, de la nécessité de développer de nouvelles technologies ou du développement imminent des nouvelles technologies.

Le permis d'exploitation autorise pour sa part son titulaire à se livrer à l'exploitation minière et à la récupération des minéraux dans la zone couverte par le titre, de manière exclusive. Il est renouvelable. Il peut être accordé au titulaire d'une licence d'exploration sur le bloc, au titulaire d'un bail de rétention sur le bloc ou à un candidat qui a présenté une soumission lors d'un appel d'offre publié par l'Autorité.

La loi prévoit des procédures standard applicables aux demandes de titres. Sont également prévues des obligations de consultation.

L'Autorité des fonds marins des Iles Cook doit tenir un registre des titres, qui est un document consultable par le public.

Un dispositif de sanctions pénales et administratives est prévu en cas de non-respect des obligations s'imposant à l'exploitant. Des inspecteurs peuvent être nommés pour contrôler le respect des prescriptions imposées par les textes en vigueur.

2.3.2.2. LA LEGISLATION DU ROYAUME DE TONGA DE 2014

Le Seabed Minerals Act 2014 du Royaume de Tonga constitue un autre exemple de mise en place d'une législation spécifique aux activités minières sous-marines.

Comme dans la législation des Iles Cook, est prévue la création d'une autorité dédiée à la gestion des activités minières sous-marines, dont l'autonomie reste toutefois toute relative dans la mesure où l'autorité principale qui la compose est le ministre en charge des ressources minérales profondes. Cette autorité joue un rôle de contrôle, de promotion et de protection de l'environnement marin et des individus et communautés pouvant être impactés par les activités minières sous-marines.³³

La législation tongienne consacre une partie à la détermination des zones pouvant faire l'objet d'activités minières. Le périmètre des différents titres miniers pouvant être octroyés est délimité, comme aux Iles Cook, sur la base de blocs, eux-mêmes divisibles en cellules. Un nombre de blocs maximum pouvant faire l'objet d'une même licence. Sont exclues les réserves marines et les aires protégées et tout espace non grevé par un titre minier peut faire l'objet d'un classement en réserve pour des raisons liées à la gestion de l'espace marin ou à la protection de l'environnement. Il est par ailleurs possible pour l'Autorité de lancer des appels d'offres pour susciter des demandes de permis sur des zones déterminées. Un registre des titres accordés, accessible au public, est tenu à jour.

La législation distingue les titres liés à la prospection, l'exploration et l'exploitation.

³³ Voir contribution II-6.

Des activités de prospection peuvent être autorisées par un permis de prospection, sur une base non exclusive. L'octroi du permis de prospection ne confère pas de droit de propriété sur les ressources mais permet le prélèvement de petites quantités aux fins d'analyses. Le permis de prospection ne confère pas un droit automatique à une licence d'exploration ou d'exploitation sur la zone concernée, mais « une chance raisonnable » d'obtenir un tel titre.

Les licences d'exploration et d'exploitation portent sur un maximum de dix blocs, obligatoirement contigus. La demande de licence contient un certain nombre d'informations obligatoires comme le plan de financement, le plan des travaux, une étude d'impact environnementale préliminaire, une étude de faisabilité, une liste des personnels et un plan de formation, un plan de sécurité.

Les licences doivent être agréées par le Gouvernement.

Des mesures d'information et de participation du public sont prévues.

La licence d'exploration est attribuée pour une durée maximum de 6 ans, renouvelable alors qu'il n'est fixé aucun plafond pour la licence d'exploitation, dont le renouvellement est ensuite possible par tranches d'une durée maximum de 5 années. Ces licences sont exclusives.

À l'expiration de la durée d'une licence d'exploration, une période de 3 ans s'ouvre pendant laquelle aucune licence d'exploitation ne peut être délivrée à un autre exploitant sans le consentement du licencié. Celui-ci peut par ailleurs demander une « réservation » de l'espace concerné au cours de ces mêmes 3 ans et ce, pour une durée maximum de 5 ans et à certaines conditions.

La licence d'exploration n'entraîne pas de transfert du droit de propriété sur les minerais prélevés, lesquels restent la propriété de l'État, à l'exception des échantillons. Au contraire, le permis d'exploitation a pour conséquence le transfert du droit de propriété sur les minerais extraits.

La législation prévoit également la mise en place de parrainages, strictement encadrés.

D'un point de vue fiscal, sont prévus des droits et taxes. Tout d'abord, des droits sont exigés lors du dépôt d'une demande de permis ou de licence. Ensuite, les entreprises sont soumises aux taxes existantes mais également à un système de royalties sur les minerais extraits, vendus et/ou produits. Enfin, une caution est exigée. Son montant est fixé par l'Autorité des fonds marins, avec l'accord du Gouvernement. Toutes les sommes versées dans ce cadre sont affectées, sauf exception, à un fonds créé à cet effet.

Un dispositif de sanctions pénales et administratives est mis en place avec notamment la présence d'inspecteurs pouvant contrôler les activités.

Enfin, un nombre de dispositions diverses prévoient notamment des exceptions s'agissant des activités de recherche scientifique en milieu marin. On trouve également des règles visant à éviter les conflits d'intérêts qui pourraient affecter les fonctionnaires impliqués dans l'instruction des dossiers et la surveillance des activités liées à ressources minières sous-marines.

3. Bibliographie

DYMENT J. et al, 2014 – *Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*, Expertise scientifique collective, Rapport CNRS-IFREMER.

Les ressources minérales profondes - Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030, IFREMER, 2011.

JONES A.T., MORGAN C.L., 2003 – Code of practice for ocean mining: an international effort to develop a code for environmental management of marine mining, *Marine Georesources & Geotechnology*, 21:2, 105-114.

AIFM (Autorité internationale des fonds marins, Commission juridique et technique), Juillet 2013 – Recommandations à l'intention des contractants en vue de l'évaluation d'éventuels impacts sur l'environnement liés à l'exploration des minéraux marins dans la Zone, ISBA/19/LTC/8.

AIFM (Autorité internationale des fonds marins), Mars 2015 – TROIANIELLO A., décembre 2012 – Deep sea mining. A new frontier for international environmental law, « Developing a regulatory framework for mineral exploitation in the Area ». http://works.bepress.com/antonino_troianiello/1.

RAIMANA H., LALLEMANT-MOE H. R., 2015 – Droit de l'environnement en Polynésie française, *Journal de droit comparé du Pacifique*, coll. Ex Professo, 95 p.

Les ressources minérales marines profondes : nodules polymétalliques, encroûtements et sulfures hydrothermaux – Brésil, États-Unis, Iles Cook, Iles Fidji, Nouvelle-Zélande, Papouasie-Nouvelle-Guinée, mars 2013 – Direction de l'initiative parlementaire et des délégations, Note LC 234, 45p.

II-3 Les évolutions du droit national et polynésien envisageables en matière d'autorisation et d'exploitation des ressources minérales marines profondes

A. TROIANIELLO, C. DAVID

Si la répartition des compétences entre l'Etat et la Polynésie française cristallise l'attention en raison de sa dimension politique, ce n'est pourtant pas sur ce terrain que se jouent les évolutions du droit les plus décisives en matière d'exploitation des ressources minérales marines. En effet, quand bien même l'Etat renoncerait-il à sa compétence résiduelle au titre des matières premières stratégiques, la Polynésie française n'en resterait pas moins contrainte dans l'exercice de ses prérogatives dans le domaine minier, notamment s'agissant des ressources minérales sous-marines. En effet, dans l'exercice de ses compétences, la Polynésie française est subordonnée à des normes juridiques de rang supérieur, comme le rappelle notamment l'article 176 de la loi organique n° 2004-192 du 27 février 2004 portant statut d'autonomie de la Polynésie française : « *Le Conseil d'Etat se prononce sur la conformité des actes prévus à l'article 140 dénommés "lois du pays" au regard de la Constitution, des lois organiques, des engagements internationaux et des principes généraux du droit.* »

Dans le domaine minier la contrainte issue de ces normes juridiques de rang supérieur est indiscutablement appelée à s'accroître. Il s'agit surtout des exigences environnementales issues de la Charte de l'environnement

intégrée depuis 2004 au bloc de constitutionnalité. Depuis une dizaine d'années, la prise en compte de ces exigences n'a cessé de s'accroître. Elle constitue d'ailleurs le point principal du projet de réforme du code minier, comme l'indiquait Nathalie Kosciusco-Morizet lors de sa phase d'étude : « *Le Grenelle de l'environnement conduit naturellement à faire évoluer le droit minier afin de mieux prévenir les risques environnementaux et sanitaires et de renforcer la participation du public tout en assurant la sécurité juridique des exploitants par la définition de règles précises. Une telle réforme permettrait de répondre aux enjeux, tant démocratiques, industriels qu'écologiques, liés à l'exploration et à l'exploitation des sols et des sous-sols alors que des questions nouvelles se posent à nous telles que celles relatives à la recherche de gisements d'hydrocarbures, à la géothermie et au stockage de carbone* »¹.

Cette prééminence des considérations environnementales sur l'évolution du droit minier est d'autant plus marquée qu'il n'existe manifestement plus d'ambition nationale dans le domaine des activités minières. Perçue comme une activité du passé, peu rentable et polluante, l'activité minière sur le sol national est désormais confidentielle. D'ailleurs, la relance du secteur minier imaginée à contre-courant par Arnaud de Montebourg en 2012, par la mise en place d'une société publique, la Compagnie nationale des mines de France, a rapidement tourné court. Les débats passionnés qui ont abouti à l'adoption de la loi du 13 juillet 2011 interdisant la fracturation hydraulique attestent de cette tendance². Après la polémique sur la fracturation hydraulique, c'est le débat suscité par l'octroi d'autorisations pour mener des projets d'exploration pétrolière au large de la Guyane, qui a poussé en juillet 2012 le gouvernement à rouvrir le chantier de la réforme du code minier³ confiée au conseiller d'Etat, Thierry Tuot.

Après trois ans de retard et de nombreuses péripéties, le projet de texte envisagé se borne pour l'essentiel à « verdir » le code minier.⁴ Tout en clarifiant les procédures minières et en réaffirmant l'attachement au modèle français dans lequel l'Etat délivre les titres d'exploitation et où les ressources du sous-sol restent propriété publique, les principales avancées du projet de réforme du code minier concernent la mise en œuvre effective de la participation du public définie à l'article 7 de la Charte de l'environnement et les principes de protection de l'environnement et de

¹ Lettre de mission confiant à Me Arnaud Gossement une étude prospective en vue de la révision du code minier.

² Loi n° 2011-835 du 13 juillet 2011 visant à interdire l'exploration et l'exploitation des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux par fracturation hydraulique et à abroger les permis exclusifs de recherches comportant des projets ayant recours à cette technique, JORF n°0162 du 14 juillet 2011 page 12217.

³ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Projet-de-loi-portant-reforme-du.html>

⁴ Jean-Michel Bezat, « Le gouvernement veut verdir le code minier », *Le Monde*, 20 mars 2015.

responsabilité environnementale. S'il donne une idée de la manière dont il convient de prendre en compte ces principes dans le droit minier, le projet de réforme du code minier national ne contient en revanche aucun « modèle » dont la Polynésie française pourrait s'inspirer en matière d'exploration et d'exploitation des ressources minérales sous-marines.

Ainsi, les dispositions constitutionnalisées de la Charte de l'environnement constituent le principal facteur de l'évolution du droit minier, et ce, aussi bien au plan national qu'en Polynésie française où elles s'imposent avec exactement la même force. Il va sans dire que ces exigences environnementales revêtiront un caractère central en cas de mise en place d'une réglementation relative à l'exploitation des ressources minérales sous-marines (voir II-1). A côté de cette contrainte juridique, une éventuelle réglementation devrait nécessairement être conçue à l'aune des contraintes économiques exceptionnelles qui entourent la mise en œuvre de cette activité, impliquant que les investisseurs disposent d'un cadre réglementaire à la fois attractif et stable, mais aussi adaptable (voir II-2).

1. L'évolution du droit minier est principalement déterminée par les exigences issues de la Charte de l'environnement

La prise en compte des exigences environnementales est au cœur du projet de réforme du code minier actuellement en cours de discussion au plan national, bien que celui-ci ne consacre pas de dispositions particulières aux ressources minérales sous-marines, lesquelles paraissent appelées à relever d'une réglementation spécifique qui reste à mettre en place.

1.1. Les enseignements du projet de réforme du code minier national

Le projet de réforme du code minier national met principalement en exergue deux droits issus de la Charte de l'environnement : d'une part, le droit à l'information et à la participation du public et, d'autre part, les principes de protection de l'environnement et de responsabilité environnementale.

L'information et la participation du public sont renforcées en aval et en amont de la délivrance des titres miniers.

En amont, par la possible mise en place à l'initiative du préfet, d'un groupement participatif d'information et de concertation regroupant toutes les parties prenantes. Cette procédure concerne tous les titres pour lesquels le périmètre sollicité présente des enjeux environnementaux significatifs au regard du programme de travaux envisagés. Les titres qui ne seront pas soumis à cette procédure renforcée resteront quant à eux soumis aux procédures de mise à disposition et de consultation du public actuelles. L'objectif de cette disposition est de répondre aux oppositions locales qui naissent souvent à l'occasion de l'instruction des titres miniers.

En aval, après l'octroi d'un titre d'exploitation, il est prévu de mettre en place une Commission spéciale de suivi composée des parlementaires intéressés, de représentants des collectivités locales concernées, de représentants du monde économique local et d'organisations représentant le public.

L'amélioration de la prise en compte des enjeux environnementaux dans les procédures est envisagée au travers de deux avancées.

La première consiste dans le remplacement de la « notice d'impact » qui est actuellement exigée pour les titres miniers, par une « évaluation environnementale » plus exigeante lors de la délivrance des titres miniers, inspirée de celle prévue par le code de l'environnement et soumise à l'avis de l'autorité environnementale.

La seconde avancée tient au fait que les travaux miniers seront désormais soumis à une réglementation inspirée des principes de la législation relative aux installations classées avec notamment un renvoi aux dispositions du code de l'environnement pour leur instruction, contrôle et sanction, et également la création d'une nomenclature des travaux miniers, d'arrêtés de prescriptions générales. Est également envisagé un renforcement des obligations déclaratives relatives aux travaux miniers.

Ces apports pourraient être utiles, dans la perspective d'une refonte de l'actuel code minier polynésien datant de 1985 et qui ne prend nullement en compte les exigences de la Charte de l'environnement. Dans le cadre de cette refonte, il conviendrait d'articuler les dispositions du code minier et du code polynésien de l'environnement qui, quoique plus récent, n'intègre pas encore suffisamment les exigences de la Charte de l'environnement.

Cependant, le projet de réforme du code minier national n'aborde pas du tout les spécificités des ressources minérales sous-marines, comme le déplore un rapport parlementaire soulignant cette « occasion manquée » : « le texte proposé ne traite pas des spécificités des ressources minérales sous-marines alors que ce droit est sans doute appelé à connaître une évolution propre du fait du progrès des connaissances et des techniques ainsi que de la mise en place progressive d'un cadre international. On fait

comme si les règles générales appliquées à terre étaient ipso facto transposables aux activités off-shore. On fait par exemple comme si les règles de consultation des populations habitant près d'une mine continentale devaient valoir pour des activités situées à plus de 200 kilomètres des côtes. Inutile de dire que les conclusions du groupe de travail ne traitent pas non plus des règles relatives aux minéraux du plateau continental étendu dont M. Gérard Grignon nous a pourtant rappelé qu'ils nécessitent un encadrement juridique particulier dans la mesure où ils sont situés sous les eaux internationales et que toute activité dans les fonds marins est donc susceptible d'occasionner des nuisances dans des espaces qui ne relèvent pas de la juridiction française. »⁵

Ainsi, en l'absence de mise en place d'une réglementation spécifique, le risque serait dès lors de voir les activités relatives à l'exploration et à l'exploitation des ressources minérales sous-marines soumises aux dispositions générales du droit minier qui ne sont manifestement pas adaptées aux spécificités des activités minières offshore.

1.2. Les ressources minérales sous-marines feront certainement l'objet d'une réglementation spécifique

L'hypothèse plus probable est qu'à côté du droit commun minier, les ressources minérales sous-marines feront l'objet de textes spécifiques, à l'instar de ce qui prévaut pour la plupart des activités subocéaniques sur le plateau continental⁶. On ne peut toutefois pas se référer au précédent que constitue l'activité d'extraction pétrolière et gazière off-shore qui constitue pour l'heure la seule activité minière sous-marine significative. En effet, cette activité s'est développée presque exclusivement hors de la ZEE française dans un environnement juridique peu contraignant.

Il en va tout autrement des ressources minérales marines profondes dont la mise en valeur paraît aujourd'hui inconcevable – à tout le moins en ce qui concerne la ZEE française – hors d'un strict encadrement préalable. Un tel encadrement s'impose dans la mesure où les dispositions prévues par le projet de réforme du code minier en vue de satisfaire aux exigences de la

⁵ Rapport n° 430 (2013-2014) « Les zones économiques exclusives ultramarines : le moment de vérité » de MM. Jean-Etienne Antoinette, Joel Guerriau et Richard Tuheiava, fait au nom de la Délégation sénatoriale à l'outre-mer, déposé le 9 avril 2014.

⁶ Le plateau continental français est soumis aux dispositions de la loi 68-1181 du 30 décembre 1968 et de son décret d'application 71-360 du 6 mai 1971 modifiés par la loi 77-485 du 11 mai 1977 et son décret 85-1289 du 3 décembre 1985. Les substances minérales qui s'y trouvent sont assimilées aux gîtes appartenant à la catégorie des mines. Les activités de prospection, recherche et exploitation (granulats, hydrocarbures, ...) sont donc soumises aux règles fixées par le code minier.

Charte de l'environnement paraissent totalement inadaptées aux spécificités des ressources minérales sous-marines.

Ainsi, par exemple, la détermination du « périmètre du public » concerné s'agissant d'activités se déroulant au fond des mers, loin de toute activité humaine, n'apparaît pas évidente. De même, la réalisation d'une « évaluation environnementale » dans les abysses répond de toute évidence à des exigences très spécifiques.

De même, la profonde méconnaissance de l'impact environnemental des activités minières sous-marines pourrait sans doute justifier, à la différence des activités minières terrestres, qu'il soit fait application de manière bien plus stricte des principes constitutionnels de prévention et de précaution issus de la Charte de l'environnement (voir contribution II-2 Contraintes et référentiels juridiques).

La difficulté consistera à appliquer ces principes à l'aune des spécificités, des contraintes et de l'impact encore mal connu de l'activité minière en milieu sous-marin.

Il s'agira alors d'éviter un double écueil : celui d'une réglementation trop restrictive qui au nom du principe de précaution ferait obstacle à tout développement de l'activité (à l'instar de ce qui s'est passé pour l'exploitation du gaz de schiste) ou, au contraire, la mise en place d'une réglementation qui serait peu exigeante au motif que l'activité se déroule loin du territoire national et de la vigilance du public.

Dans cette perspective, s'agissant de la ZEE française, le risque serait que le niveau d'exigence élevé du droit français de l'environnement pénalise les perspectives de développement. S'agissant d'un domaine où le droit international est peu contraignant, des dérives sont à craindre. En effet, à la différence des restrictions drastiques auxquelles elle soumet l'exploitation des ressources minières dans les eaux internationales, la Convention des Nations-Unies de 1982 sur le droit de la mer n'impose, en dehors de très vagues obligations, aucune contrainte significative s'agissant de l'utilisation par les Etats des sous-sols de leur ZEE⁷. Les normes régissant le droit des activités minières sous-marines sont donc librement

⁷ Il n'existe par exemple aucune règle en matière d'émission des autorisations de forage par les Etats. De même, il n'existe aucun régime de responsabilité et d'indemnisation en cas de pollution liée à des exploitation pétrolières off-shore, faute que la Convention sur la responsabilité pour les dommages de pollution par les hydrocarbures résultant de la recherche et de l'exploitation des ressources minérales du sous-sol marin (CLEE), adoptée en 1977, soit entrée en vigueur. En l'absence de régulation internationale, l'exploitation minière du sous-sol des ZEE relève du droit de chaque Etat et s'exerce sous sa responsabilité. Sur la nécessité d'une régulation internationale, v. not. Antonino Troianiello, « Deep Sea Mining. A New Frontier For International Environmental Law », *2nd Annual International Conferences on Law, Regulations and Public Policy*, Singapore, GSTF, 17th 18th June 2013.

établies par les Etats. On ne peut dès lors sous-estimer le risque que le développement des activités minières sous-marines suscite un dumping environnemental.

La prévention d'un tel risque nécessite un renforcement des contraintes résultant du droit international. Bien que le mouvement n'en soit qu'à ses prémices, un « tournant normatif » semble amorcé dans le domaine voisin des activités pétrolières et gazières offshore⁸. Après l'émoi suscité par la catastrophe survenue sur la plateforme Deepwater Horizon de BP en 2010, l'union européenne a adopté la directive 2013/30/UE du 13 juin 2013 relative à la sécurité des opérations pétrolières et gazières en mer qui impose aux Etats-membres un renforcement de leur réglementation en matière de forage en mer⁹. Ce texte prévoyait initialement la mise en place de garanties financières en cas d'accident et de pollution et imposait une sécurisation de l'exploration et d'exploitation du pétrole et du gaz en mer, en imposant que les opérateurs pétroliers évaluent en amont les risques d'accidents et leur capacité financière à y faire face. Sa version finale a hélas été passablement édulcorée.

Bien qu'encore limitée et encore très insuffisante, cette évolution dans l'offshore pétrolier et gazier pourrait constituer une source d'inspiration dans la cadre de la mise en place d'une réglementation sur les activités minières sous-marines.

2. La réglementation polynésienne doit impérativement comporter un cadre attractif pour les opérateurs miniers

La création d'un cadre attractif pour les opérateurs miniers constitue assurément l'un des principaux enjeux de l'évolution du code minier national comme du code minier Polynésien. Cette attractivité repose essentiellement sur deux orientations : d'une part, la mise en place d'une fiscalité spécifique adaptée à l'ampleur mais surtout à la durée et au caractère aléatoire des projets miniers et, d'autre part, l'existence d'une réglementation prévisible, stable et qui soit au besoin adaptable.

⁸ Sébastien Mabile, « Recherche et exploitation d'hydrocarbures en mer : vers un tournant normatif », *Droit de l'environnement*, mai 2013.

⁹ José Juste-Ruiz, « La directive européenne sur la sécurité des opérations pétrolières et gazières », *Revue juridique de l'environnement*, 2014, vol. 39, p. 23 s.

2.1. La nécessité d'une fiscalité minière spécifique

Compétente dans le domaine fiscal, la Polynésie française peut mettre en place une fiscalité adaptée aux spécificités des projets miniers. Elle a déjà eu l'occasion d'instituer des régimes incitatifs visant à encourager les investissements dans de nombreux domaines. On songe notamment aux dispositions figurant à la troisième partie du code des impôts qui constitue le pendant local du dispositif national de défiscalisation de investissements outre-mer, mais aussi, pour donner un exemple plus récent encore, à la loi du pays destinée à encourager les investissements d'ampleur dans le domaine touristique.¹⁰ On peut donc imaginer un cadre fiscal incitatif pour encourager les investissements dans le domaine minier.

D'emblée il y a lieu de souligner que la mise en place d'une fiscalité minière polynésienne est susceptible de soulever un débat sur le partage de la « rente minière » avec les collectivités riveraines¹¹. Il n'y aurait en effet rien d'inconcevable à ce qu'une partie du produit de la fiscalité minière fasse l'objet d'un partage entre la Polynésie française et les communes polynésiennes ; une partie du produit de la rente minière pourrait, par exemple, être affectée à des projets de développement des archipels. Dans cette éventualité, il appartiendrait à la Polynésie française de définir les modalités d'un tel partage de la rente. Elle pourrait notamment le faire dans le cadre de sa compétence en matière de fiscalité communale.

Cela étant, à défaut d'instaurer une fiscalité spécifique, les communes polynésiennes bénéficieraient en tout état de cause des prélèvements fiscaux liés à la rente minière. En effet, une quote-part significative (de l'ordre de 15 %) de la fiscalité polynésienne est mécaniquement redistribuée par l'intermédiaire du fonds intercommunal de péréquation (F.I.P.) institué par l'article 52 de la loi organique n° 2004-192 du 27 février 2004 portant statut d'autonomie de la Polynésie française¹².

Il y a cependant lieu de souligner le fait que le F.I.P. n'est alimenté que par des recettes strictement fiscales. En conséquence, si la rente venait à être appréhendée au travers d'une redevance domaniale, son produit échapperait au mécanisme de redistribution du F.I.P. C'est pourquoi, la qualification juridique de la « rente minière » constitue un enjeu de premier

¹⁰ Loi du Pays n° 2014-12 du 26 mai 2014 instituant un dispositif d'aide en faveur des grands investissements hôteliers et touristiques.

¹¹ Un tel débat s'est notamment posé au plan national à l'occasion de la délivrance des titres d'exploration à la société Shell au large de la Guyane.

¹² Le fonds intercommunal de péréquation n'est alimenté que par des recettes purement fiscales, comme l'indique le premier alinéa de l'article 52 : « Un fonds intercommunal de péréquation reçoit une quote-part des impôts, droits et taxes perçus au profit du budget général de la Polynésie française. »

plan : selon qu'elle est conçue comme un impôt ou bien une redevance domaniale, elle abondera ou non le FIP¹³.

Le fait que la rente minière puisse – au moins en partie – être considérée comme le produit d'une recette domaniale n'a rien d'incohérent. En effet, la « fiscalité minière », dans l'acception large du terme, présente le plus souvent, en tout ou partie, une dimension compensatoire liée à l'appauvrissement des ressources naturelles non renouvelables. Or, la prise en compte de cette dimension compensatoire ne relève pas, à strictement parler, du domaine de la fiscalité, puisque l'impôt est – par sa définition même – un prélèvement dépourvu de contrepartie. C'est pourquoi, la rente minière devrait plutôt s'analyser comme une redevance liée à l'exploitation du domaine public de la Polynésie française qui, en tant que telle, échappe au mécanisme de redistribution du F.I.P. précité.

Qu'elle soit envisagée comme une recette domaniale ou un impôt, ou les deux à la fois, un certain nombre de contraintes s'imposent inévitablement lors de la mise en place de la rente minière.

Il y a notamment lieu de rappeler qu'avant tout commencement d'exploitation, les projets miniers comportent souvent d'importantes campagnes d'exploration extrêmement coûteuses pour les opérateurs miniers. La définition d'un cadre réglementaire et fiscal incitatif ne peut ignorer cette réalité. Ainsi, diverses incitations peuvent être envisagées : garanties données aux compagnies finançant les campagnes d'exploration, possibilité d'amortir tout ou partie des coûts des campagnes d'exploration en cas d'exploitation, etc.

Pour ce qui concerne les investissements liés à la phase l'exploitation proprement dite, la mise en place d'un régime d'exonération des droits de douane relatifs aux matériels paraît indispensable. Les droits d'importation étant extrêmement élevés en Polynésie française, la plupart des grands investissements – l'hôtellerie, ou des installations de production d'énergies – ont été réalisés sur la base de régimes d'exonération des droits de douane portant sur les matériels importés. On conçoit donc mal qu'il puisse en être différemment s'agissant des investissements dans le domaine des activités minières.

Il y a naturellement lieu de tirer les enseignements des divers modèles de fiscalité développés pour l'industrie minière (voir I-5 – Partage de la rente). Cette fiscalité minière est façonnée à l'aune des contraintes économiques spécifiques aux investissements dans le domaine minier (ampleurs des investissements, volume et qualité du gisement, modalités

¹³ C'est pourquoi, pour les communes polynésiennes une modification de l'article 52 tendant à compléter les ressources du F.I.P. pourrait constituer un enjeu, sinon une revendication forte en cas d'activités minières générant des ressources importantes.

d'extraction, longues périodes d'exploration et de pré-production, durée extrêmement longue des projets, volatilité du cours des matières premières, etc.). Le choix de l'assiette de cette fiscalité constitue évidemment un enjeu très important, le choix pouvant se porter sur des prélèvements calculés sur les profits ou la valeur de production.

Cette fiscalité minière devra reposer sur une base réglementaire qui, en Polynésie française, prend nécessairement la forme d'une loi du pays. En outre, il est possible qu'elle repose sur un régime d'agrément fiscal lui conférant une apparence conventionnelle. A l'instar de la plupart des investissements importants réalisés en Polynésie française, les investissements miniers pourraient s'inscrire dans le cadre d'un régime donnant lieu à un agrément fiscal, c'est-à-dire une décision par laquelle l'administration fiscale autorise un contribuable à faire application d'un régime fiscal avantageux moyennant un certain nombre d'engagements précis de sa part.

Quel que soit le type de fiscalité envisagé, l'exemple calédonien enseigne que si un cadre fiscal incitatif est sans doute souhaitable et très probablement indispensable, les avantages fiscaux ne sauraient être consentis avec désinvolture¹⁴. La fiscalité minière doit ainsi s'efforcer de concilier un certain nombre de caractéristiques apparemment contradictoires : elle doit à la fois être prévisible pour les investisseurs (cf. infra 1.2) et adaptable. D'où la nécessité de prévoir des mécanismes d'ajustement destinés à adapter les prélèvements, à la fois à la durée des investissements miniers, aux différentes phases de leur réalisation, mais également à la volatilité importante du cours des minerais.

2.2. La nécessité d'une réglementation prévisible, stable et adaptable

La création d'un cadre attractif pour les opérateurs miniers constitue une condition *sine qua non* dans le domaine des activités minières où les investissements portent sur des montants considérables et sont réalisés sur des durées souvent extrêmement longues avec des résultats souvent aléatoires. En effet, non seulement l'ampleur des investissements requis pour les activités minières sous-marines s'annonce sans commune mesure avec ceux réalisés en milieu terrestre, mais les risques qu'ils comportent paraissent infiniment plus difficiles à évaluer.

¹⁴ M. Chauchat, « Recréer une fiscalité minière », Conférence Internationale. Exploitation et politique minière dans le Pacifique. Histoire, enjeux et perspective, Nouméa, 22-25 novembre 2011.

Dans ce contexte, les opérateurs miniers ne peuvent s'engager que dans un cadre présentant une sécurité juridique optimale, ce qui suppose le respect de plusieurs exigences.

Il importe d'abord que la réglementation susceptible de s'appliquer aux activités minières soit la moins lacunaire possible, ce qui en Polynésie française, exige un important travail de mise à jour. Le code minier doit, on l'a vu, être totalement réécrit. Il s'agit le cas échéant de prévoir également une réglementation à part entière pour les activités minières sous-marines et de mettre en place une fiscalité spécifique. Au-delà du strict cadre minier, d'autres considérations doivent être envisagées comme, par exemple, la clarification du cadre juridique des investissements étrangers, la législation du travail applicable, les modalités de règlements des litiges, etc.

La connaissance de la réglementation applicable et sa complétude constituent la dimension la plus immédiate du principe de sécurité juridique. Or, sur ces deux points, la situation qui était déjà particulièrement critique, s'est nettement aggravée depuis l'entrée en vigueur de loi organique n°2004-192 du 27 février 2004 portant statut d'autonomie de la Polynésie française.

S'agissant de la connaissance du droit applicable, elle constitue souvent en soi une difficulté considérable en Polynésie française pour deux raisons : d'une part, en raison du partage parfois subtil de compétences entre l'Etat, la Polynésie française et les communes, et d'autre part, à cause des modalités variées et complexes d'extension des normes nationales en Polynésie française. Or, sur ce dernier point, la situation a incontestablement empiré depuis l'entrée en vigueur du statut du 27 février 2004, cette dernière ayant mis un terme à la formalité de promulgation qui incombait jusqu'alors au Haut-Commissaire de la République¹⁵.

S'agissant de la complétude de la réglementation applicable, la situation n'est guère meilleure. Dans le contexte d'instabilité institutionnelle consécutif à l'entrée en vigueur du statut du 27 février 2004, la Polynésie française n'a que très faiblement mis en œuvre les nouvelles compétences qui lui ont été transférées. Il en résulte que des pans entiers de la réglementation polynésienne sont lacunaires, obsolètes et même parfois devenus irréguliers à l'aune des nouvelles obligations résultant de normes juridiques de rang supérieur (on songe plus particulièrement à la prise en compte des exigences issues du droit constitutionnel de l'environnement ou des principes de la commande publique).

Outre la connaissance du droit applicable et sa complétude, le principe de sécurité juridique implique aussi que la réglementation soit

¹⁵ Voir sur ce point, A. Moyrand, « Application de la loi en Polynésie française », *Jurisclasseur civil*, 2010, fasc. 4, not. 251 s.

prévisible, stable et le cas échéant adaptable. Cette exigence concerne non seulement la sécurité des droits acquis par les détenteurs de titres miniers, mais l'ensemble des paramètres connexes à l'investissement, concourant à la mise en place en Polynésie française un écosystème juridique attractif pour les investisseurs miniers. Or, en dépit de quelques indéniables avancées lors de la décennie écoulée, la consécration du principe de sécurité juridique demeure insuffisante¹⁶, notamment à l'aune des attentes très fortes des acteurs économiques¹⁷.

¹⁶ Conseil d'Etat, Rapport public annuel 2006, *Sécurité juridique et complexité du droit*, éd. La documentation française, 2007.

¹⁷ Jean-Marc Sauvé, « L'entreprise et la sécurité juridique », Intervention lors du Colloque organisé par la société de législation comparée au Conseil d'Etat le vendredi 21 novembre 2014.

3. Bibliographie

SAUVE J.M., « L'entreprise et la sécurité juridique », Intervention lors du Colloque organisé par la société de législation comparée au Conseil d'Etat le vendredi 21 novembre 2014

MOYRAND A., « Application de la loi en Polynésie française », Jurisclasseur civil, 2010, fasc. 4 , not. 251 s

BEZAT J.M., « Le gouvernement veut verdir le code minier », *Le Monde*, 20 mars 2015.

ANTOINETTE J.-E., GUERRIAU J., TUHEIAVA R., « Les zones économiques exclusives ultramarines : le moment de vérité », Rapport n° 430 (2013-2014), fait au nom de la Délégation sénatoriale à l'outre-mer, déposé le 9 avril 2014

TROIANELLO A., « Deep Sea Mining. A New Frontier For International Environmental Law », *2nd Annual International Conferences on Law, Regulations and Public Policy*, Singapore, GSTF, 17th 18th June 2013.

MABILE S., « Recherche et exploitation d'hydrocarbures en mer : vers un tournant normatif », *Droit de l'environnement*, mai 2013.

JUSTE-RUIZ J., « La directive européenne sur la sécurité des opérations pétrolières et gazières », *Revue juridique de l'environnement*, 2014, vol. 39, p. 23 s.

CHAUCHAT M., « Recréer une fiscalité minière », Conférence Internationale. Exploitation et politique minière dans le Pacifique. Histoire, enjeux et perspective, Nouméa, 22-25 novembre 2011.

II-4 Organisation de la participation des groupes d'acteurs impliqués ou à impliquer

P.-Y. LE MEUR, T. BAMBRIDGE, C. DAVID

Ce chapitre répond à la question : « Pourquoi, comment et à quels moments (très en amont et dans le suivi) organiser la consultation et la participation des groupes d'acteurs a priori impliqués ou à impliquer (dès l'exploration) à des fins de construction participative ? »

On pourrait penser un peu hâtivement que l'enjeu minier sous-marin se situant loin des côtes, la question de son acceptabilité sociale et celle, corrélative, de la participation des populations seront marginales. Il n'en est rien, comme le montre sur le temps long l'historien du Pacifique Paul D'Arcy (2006), et, plus récemment, dans d'autres contextes, l'exemple de l'exploitation offshore de pétrole et de gaz (voir en particulier la controverse autour du sort de la plateforme Shell Brent Spar en mer du Nord dans les années 1990 ; Side, 1997).

« Experiences associated with the marine oil and gas industry confirm that social acceptability will be important for offshore mining activity » (Mason et al., 2010: 1374).

Dans le cas de la Polynésie où les mers sont inscrites dans un double continuum terre/mer et culture/nature, il est essentiel de se départir d'une idéologie d'origine coloniale que l'on pourrait qualifier de « *mare nullius* », par analogie à la notion de « terre vacante et sans maître ».

Une clarification terminologique permettra de mieux poser les termes du débat de la participation en matière d'exploration et d'exploitation minière sous-marine. Elle est organisée en deux parties, la première autour des notions de participation et de consultation, la seconde

autour de celles de risque et d'acceptabilité. Nous situerons dans un deuxième temps les enjeux de cette participation par rapport à la chaîne sociotechnique représentée par un projet minier. Ensuite, nous nous intéresserons successivement à l'identification des groupes d'acteurs concernés et des arènes existantes, à la définition du contenu de l'information nécessaire et à la dimension temporelle, autant d'étapes permettant de construire une gouvernance participative, thème de la dernière section.

1. Clarifier les termes et les enjeux

1.1. Participation, consultation, représentation

Le premier écueil dans la définition d'une politique de consultation et de participation des groupes d'acteurs concernés par un projet minier concerne le sens des termes employés. Les notions de consultation ou de participation sont polysémiques du fait (1) de points de vue disciplinaires différents (droit, anthropologie, sociologie), (2) d'usages parfois non stabilisés dans le langage courant comme dans celui des interventions publiques, et (3) de la diversité des réalités sociales que ces termes recouvrent.

D'un point de vue juridique, on distingue la consultation (d'organes) de l'information et de la participation (du public), ces dernières étant rassemblées sous le vocable « principes d'information et de participation du public ». Dans un arrêt du 13 février 2015, le Conseil d'État a eu l'occasion de préciser que la Polynésie française était l'autorité compétente pour mettre en œuvre ce principe de valeur constitutionnelle, issu de la Charte de l'environnement de 2004 (sur ce point, voir contribution II-2). Les consultations opérées dans ce cadre ne le sont néanmoins qu'en fin de processus, elles n'associent pas vraiment les parties prenantes à l'élaboration du projet.

Deux autres principes juridiques sont également corrélés aux questions de consultation et de participation des populations, du point de vue des logiques sociales, si ce n'est en termes juridiques (voir contribution II-2) : (1) le principe de précaution (un arrêt du Conseil d'Etat de 2012 fixe une méthodologie) ; (2) le principe de prévention (renvoie à des mesures de compensation ; cf. caution AIFM).

Dans les sciences sociales et plus particulièrement en anthropologie et en sociologie, la notion de participation est utilisée de manière ouverte,

pour qualifier les modalités d'implication des acteurs dans une intervention publique ou un projet de développement. De nombreuses typologies ont été élaborées en particulier dans les années 1980 et surtout 1990, période de gonflement maximal de la « bulle participationniste » (Lavigne Delville, 2011 : 161). Ces typologies sont souvent hybrides, cherchant à la fois à qualifier le degré de participation, sa temporalité et sa fonctionnalité. La participation va ainsi d'une contribution ponctuelle (en argent, en travail) à la prise de décision, en passant par diverses formes de consultation et de concertation. Degré de participation et temporalité sont corrélées : plus la participation est précoce, plus elle peut influencer sur la décision. La fonction de la participation peut varier selon le type de contribution qu'elle recouvre (aller à une réunion et fournir un champ d'expérimentation n'ont pas la même place dans un projet). Très fréquemment, la caractérisation de la participation combine le critère d'intensité avec un jugement normatif, opposant une participation « cosmétique » à la « vraie » participation.

On peut aussi analyser la participation selon la compréhension et les usages des acteurs sociaux concernés.

David Mosse (2005), décrivant un gros projet de développement en Inde, montre que la participation est vue (1) par les populations locales comme un « ticket d'entrée » pour accéder aux ressources du projet, selon une logique clientéliste ; (2) par les agents du projet comme un enjeu d'engagement professionnel, selon une logique éthique ; (3) par les évaluateurs comme un indicateur quantitatif, selon une logique gestionnaire ; (4) par les responsables du projet comme un discours de légitimation du projet, selon une logique politique.

Cette perspective oblige à réfléchir de manière plus rigoureuse aux contextes sociaux et aux arènes politiques dans lesquels s'insère une démarche participative. Le postulat est ici que quelle que soit l'approche proposée par une intervention publique, les acteurs sociaux vont interpréter et travailler cette « offre » en fonction de leurs expériences, attentes et stratégies, souvent à l'insu des promoteurs du projet, phénomène qualifié par Chauveau et Lavigne Delville (1998) de « participation cachée ». Dans le cadre d'intervention sollicitant l'avis des populations, cela se traduit souvent par une réticence à entrer dans les espaces publics créés pour l'occasion. Cette réticence est souvent interprétée comme un défaut de participation, voire en termes de désintérêt, alors que des débats peuvent avoir lieu ailleurs, dans d'autres arènes préexistantes à l'intervention et jugées plus adaptées ou moins biaisées par les acteurs locaux.

Selon cette perspective socio-anthropologique, la consultation est vue comme une forme particulière de participation caractérisée par une implication plutôt faible, non décisionnaire, mais qui est d'autant moins négligeable qu'elle s'inscrit plus en amont du processus (lorsque tous les

choix ne sont pas encore verrouillés). Nous reviendrons sur cette dimension temporelle, qui est cruciale et imprègne en particulier la notion de « consentement préalable libre et éclairé » (CPLÉ).

Au-delà des définitions de la participation, les questions qui sont posées sont celles de la constitution d'un espace public, des formes de la délibération et de la représentation. La participation (incluant donc la consultation) induite par une intervention extérieure – en l'occurrence le débat autour de la possibilité d'un projet d'exploration et/ou d'exploitation minière sous-marine – implique une notion d'espace public. Il est ici nécessaire de réfléchir aux caractéristiques et au fonctionnement de celui-ci.

- Qui inclut-il ? Et donc qui exclut-il ?
- Quelles sont les modalités de représentations des groupes et collectifs constitutifs de la société concernés ?
- Quelles sont les modalités (hiérarchies sociopolitiques, style rhétorique) de la prise de parole et de gestion de celle-ci ?

Poser ces questions oblige à dépasser les illusions communautaires (redoublées par l'illusion de l'homogénéité des groupes identifiés : les pêcheurs, les associations environnementales, le gouvernement, etc.) et communicationnelles (la possibilité d'un dialogue transparent et libre de rapport de forces) qui imprègnent les représentations de la participation et de l'espace public habermassien (Lavigne Delville, 2011).

Le dépassement de cette difficulté passe entre autres par la prise en compte dans le dispositif participatif des arènes déjà existantes et des formes locales d'espace public. Nous y reviendrons.

Plus largement, ces questions renvoient aux débats sur les formes de la démocratie (directe, représentative) et sur leurs évolutions dans un monde où la décision doit être prise dans des contextes de risque, voire d'incertitude technique croissante (la « société du risque » décrite par Ulrich Beck, 1986) tandis que des voix émanant de la société civile remettent en cause de manière de plus en plus pressante la double délégation du savoir aux experts et de la décision aux politiques (Callon et al., 2001).

Dans ce contexte, l'introduction en 2003 dans la Constitution française du mécanisme du référendum décisionnel local est révélatrice de la nécessité de prendre en compte la revendication par la société civile de participer à la prise de décision publique. Cette procédure de démocratie semi-directe est applicable en Polynésie française, tant au pays qu'aux communes¹. Elle a d'ailleurs été utilisée en 2004 par le maire de Maupiti et

¹ Article 139 de la loi organique statutaire de 2004 et article L. 1821-1 du Code général des collectivités territoriales.

a permis à la population de cette commune de rejeter massivement (à plus de 80 %) un projet d'installation d'un complexe hôtelier de luxe.

Ces questions ont récemment pris la forme dans le champ minier, et plus généralement dans la mise en œuvre de gros projets de développement des ressources, d'un débat autour de la notion de « consentement préalable, libre et éclairé » (*Sustainable Development Law and Policy*, 2004 ; Lebuis, 2009 ; Szablowski, 2010 ; Owen & Kemp, 2014) qui apparaît dans le cadre de la convention n°169 « concernant les peuples indigènes et tribaux dans les pays indépendants », adoptée en 1989 par l'Organisation internationale du travail, en tant que droits des communautés

« de décider de leurs propres priorités en ce qui concerne le processus de développement, dans la mesure où celui-ci a une incidence sur leur vie, leurs croyances, leurs institutions et leur bien-être spirituel et les terres qu'ils occupent ou utilisent d'une autre manière, et d'exercer autant que possible un contrôle sur leur développement économique, social et culturel propre. En outre, lesdits peuples doivent participer à l'élaboration, à la mise en œuvre et à l'évaluation des plans et programmes de développement national et régional susceptibles de les toucher directement » (cité dans Lebuis, 2009 : 6).

La question du CPLE renvoie aux modalités de la participation – on passe d'un régime de la consultation à un régime du consentement (Szablowski 2010 : 116) – et en particulier suffisamment en amont pour qu'elle puisse influencer sur le processus, à l'instar des référendums populaires (*consultas*) organisés depuis 2002 dans plusieurs pays d'Amérique Latine avant le démarrage de projets miniers (Szablowski, 2010 ; Bebbington, 2012 ; Kirsch, 2014). Allant au-delà de la simple mise en œuvre de technologies participatives, ils constituent de fait des exercices de démocratie directe.

« Consent processes are clearly political events that mobilize affected community members in a collective experience of active decision making about the future » (Szablowski, 2010 : 119).

1.2. Risque, acceptabilité, responsabilité, permis social d'opérer

La consultation des populations, leur participation aux prises de décisions relatives à la mise en œuvre (ou non) d'un projet minier sous-marin, vise à connaître et à prendre en compte leur évaluation des risques et bénéfices attendus de ce projet, et leur position par rapport aux enjeux qu'il représente.

La notion de risque est inscrite dans un champ sémantique plus large incluant les idées d'incertitude, de vulnérabilité, d'acceptation et acceptabilité sociale, et de responsabilité. Elle renvoie aussi aux discours et dispositifs relevant de la « responsabilité sociale des entreprises » et du « permis social d'opérer ».

Il s'agit dans tous les cas de discours et dispositifs développés par les industriels de la mine pour faire face à la couverture médiatique et judiciaire de désastres environnementaux causés par l'activité minière dans les années 1990 en particulier (Dashwood, 2013 ; Kirsch, 2014). Auparavant, les entreprises étaient aveugles aux impacts environnementaux et sociaux, traités par elles comme des externalités. Elles ont réagi par une internalisation du risque environnemental en tant que risque réputationnel et une traduction en coûts de revient pour l'entreprise (Franks et al., 2014). Il s'agit d'éviter que le projet ne se fasse pas avec à la clé la perte totale ou partielle de l'investissement.

Pour les populations concernées par un projet minier, l'évaluation du risque se fait à l'aune d'expériences passées. C'est donc une affaire d'histoire, de mémoire, d'interprétation et d'apprentissage ; mais les attentes face au projet, les opportunités qu'il est susceptible d'amener, la manière dont il s'inscrit dans les trajectoires de vie des personnes informent également l'évaluation du risque. En d'autres termes, le risque est mesuré en référence à une temporalité double : comme expérience et projection.

Le qualificatif « social » est désormais souvent accolé au mot « risque ». La notion de risque social pose pourtant problème car elle est soit tautologique, soit réductrice : tautologique car elle renvoie au fait que le risque est vécu par des individus ou des collectifs, formant société d'une manière ou d'une autre, ce qui va de soi ; réductrice, car elle oublie d'autres formes de risques perçus par les personnes concernées par le démarrage d'une activité nouvelle et potentiellement perturbatrice, voire dangereuse, en particulier le risque ontologique de disparition en tant que groupe ou communauté, lorsque le collectif en vient à être nié dans ses valeurs, ses savoirs et ses façons de vivre. En l'occurrence, le terme de risque identitaire est sans doute trop faible, et celui de risque environnemental trop « occidental-centré ». La catégorie « risque social » est également réductrice car elle oublie (ou ne différencie pas) d'autres formes de risque – risque économique, politique, religieux, rituel, etc.

Il est également important de faire la distinction « entre deux types d'incertitude : le risque et l'incertain. Il y a risque lorsque l'incertitude est probabilisable (on a accès aux fréquences) ; dans le cas contraire, on dit qu'on est dans l'incertain » (Dupuy, 2002 : 105-106). On pourrait étendre la proposition à l'irruption d'un projet exogène (minier par exemple) qui peut être vécue comme une incertitude absolue par les populations locales (situation dans laquelle on peut faire l'hypothèse que la mise en œuvre du

projet va augmenter la connaissance que les gens en ont donc diminuer l'incertitude – ou la transformer en risque). L'incertitude ne touche pas seulement les effets concrets du projet (impact environnemental, exclusion sociale, etc.) mais aussi la question des « règles du jeu », ou plus exactement le décalage, générateur de craintes et de conflits, entre d'une part l'afflux brutal de ressources (de tous ordres) généré par le projet et le vide normatif dans lequel cet afflux opère.

Face à la montée de ces enjeux relayés par des populations locales qui se font de plus en plus entendre et ont montré leur capacité à nouer des alliances et construire des réseaux aux échelons supra-locaux, les industriels de la mine ont développé, à l'échelon global (ICMM), souvent en lien avec les institutions de Bretton Woods (Banque mondiale, IFC), et via des déclinaisons locales, des discours et des dispositifs mettant en avant bonnes pratiques, responsabilité sociale et environnementale et la notion de « permis social d'opérer » (PSO, *social licence to operate/SLO*) allant au-delà des exigences du cadre légal et incluant diverses modalités de consultation et participation des populations. L'intérêt pour ces dernières est évidemment de prendre au mot les entreprises pour exercer une influence sur la prise de décision, même si l'intérêt de procédures de type PSO est en-deçà de ce que la notion de CPLE peut apporter en la matière. Il est d'ailleurs à noter que la Banque mondiale propose une variante édulcorée du CPLE qui rencontre de fortes réticences chez les industriels, remplaçant « consentement » par « consultation » (sans changement d'acronyme donc...). Il faut aussi rester vigilant à ce que cette activité d'information/consultation des industriels n'exonère pas les pouvoirs publics de ses propres obligations en la matière.

2. Situer la participation dans la chaîne sociotechnique du projet

Un projet minier est une entreprise de longue haleine, depuis l'identification d'une ressource potentielle, jusqu'à la clôture d'un site et aux travaux de réhabilitation post-exploitation. Les enjeux, les risques, les bénéfices et donc aussi l'implication des populations directement ou indirectement concernées et/ou affectées vont varier au cours du temps.

Il s'agit ici d'identifier les moments et étapes clés d'un projet pour lesquels des procédures de consultation et participation des populations concernées sont nécessaires. Cela suppose de construire des scénarios alternatifs en fonction de la part de la chaîne de production et de

transformation qui sera opérée en Polynésie française (voir Introduction 0-1, présentation du cycle du projet).

Il faudra aussi être attentif aux évolutions technologiques qui peuvent être rapides dans un secteur encore neuf et peuvent amener à des réévaluations de choix effectués en fonction d'effets encore mal connus induits par de nouvelles techniques d'exploitation (voir contribution III-3).

Le schéma analytique proposé par Cooper & Giurco (2011 ; voir aussi Giurco et Cooper, 2012) et nommé « paysage des ressources minérales » (*mineral resource landscape*) peut s'avérer ici utile pour situer la chaîne technico-économique du projet dans son contexte plus large de mise en œuvre.

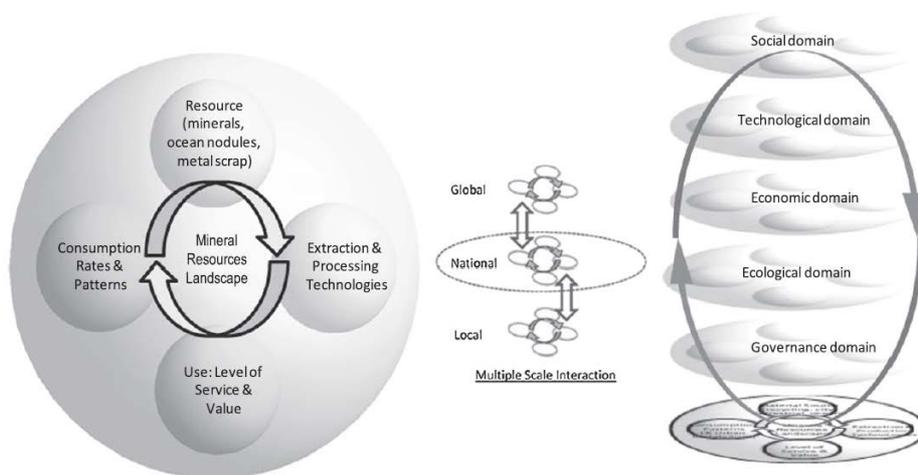


Figure 1 – Mineral Resources Landscape (Cooper and Giurco, 2011)

La logique de ce schéma est (1) de considérer l'ensemble de la filière minérale, de l'exploration à la consommation en passant par l'extraction et la transformation ; (2) de prendre en compte l'ensemble des enjeux (sociaux, technologiques, économiques, écologiques, politiques) liés au déploiement de cette filière ; (3) d'articuler les échelles locales, nationales et globales concernées.

Plus spécifiquement, il faut situer les moments participatifs par rapport aux phases d'un projet d'exploration et d'exploitation minière et aussi du point de vue du suivi et de l'évaluation des politiques publiques en la matière (voir contribution 0-1 pour une présentation détaillée des phases d'un projet minier) : (1) campagne(s) d'exploration régionale ; (2) exploration des cibles et premier calcul de ressources ; (3) étude économique conceptuelle ou préliminaire ; (4) étude de préfaisabilité puis (5) de faisabilité ; (6) ingénierie détaillée du projet, montage du financement requis pour la mise en production, préparation de la mise en production ; (7) production ; (8) fermeture et travaux de réhabilitation post-exploitation. Il

est essentiel d'élaborer une politique d'information et de consultation très en amont du projet, dès que se pose la question de l'exploration. Les phases d'études préliminaire et de faisabilité (3 à 5) sont des moments clés à cet égard, puisqu'elles comportent les études d'impact social et environnemental qui incluent des méthodes d'enquêtes participatives (voir contribution IV-3) dont la qualité sera d'autant meilleure que l'information aura été diffusée en amont et que des premières consultations auront été organisées.

3. Identifier les groupes d'acteurs concernés et les arènes existantes

La question de l'identification des acteurs concernés par un projet (voir contribution II-5) et celle des lieux (arènes, forums...) où ce projet peut être discuté ne sont bien sûr pas indépendantes l'une de l'autre.

Les approches participatives ont tendance dans le monde du développement à créer de nouvelles instances à chaque lancement d'un nouveau projet. La prolifération institutionnelle qui en résulte n'est pas facteur de clarification des enjeux, des positions et des politiques si toute décision prise dans une arène peut être renégociée dans une autre.

Il importe donc de repérer les lieux de débat public et de décision politique susceptibles d'abriter les discussions relatives à des projets miniers sous-marins. Ils incluent : les organes gouvernementaux, de services et/ou comités techniques d'administrations sectorielles (DIREN, direction de l'Agriculture et des Mines, etc.), les conseils municipaux, les comités de gestion d'aires marines protégées et de sites inscrits à l'UNESCO, les associations culturelles, etc. (voir contributions II-5 et IV-3).

Cette liste montre l'importance d'un raisonnement multi-scalaire prenant en particulier en compte des échelons infranationaux et visant une bonne articulation entre ces niveaux, c'est-à-dire : favorisant la circulation de l'information et les échanges de points de vue et prévoyant une hiérarchisation entre instances dans les pouvoirs de décision.

Pour ces différentes raisons (de coordination, de représentation, etc.), il peut s'avérer pertinent de constituer un ou plusieurs forums spécifiques permettant aux acteurs concernés (voir contributions II-5 et IV-4) d'être présents/représentés selon des modalités à définir.

Inversement, il ne faut surtout pas négliger l'importance des formes locales/informelles/traditionnelles de sociabilité et de débat qui peuvent être

privilégiées par les acteurs sociaux parce que ce sont des espaces d'interactions « naturelles » dont ils connaissent les codes et qu'ils se méfient, pour différentes raisons, des instances formelles étatiques ou administratives. Ce sont des lieux d'une participation « cachée » ou invisibles pour les institutions formelles et qui souvent génèrent des voix/voies alternatives qu'il est essentiel d'écouter/explorer.

Cette nécessaire prise en compte des arènes existantes doit s'accompagner d'une reconnaissance des logiques des acteurs, de leurs modes de représentation (les continuités nature/culture et terre/mer décrites en contribution I-1) et d'expression. En Polynésie française, le respect mutuel (*fa'atura*), une communication continue, l'honnêteté et la transparence des informations relatives à l'exploration et à l'exploitation, constituent des valeurs toujours d'actualité et elles doivent être mobilisées comme des leviers de communication pour une participation consolidée. C'est d'autant plus nécessaire dans un contexte où l'Etat n'a pas toujours su maintenir l'exigence de transparence à propos des conséquences des essais nucléaires. Les normes et valeurs développées pour d'autres enjeux, par exemple la notion *rahui* mobilisée dans le cadre de la gestion des ressources et espaces marins (Bambridge, 2013), peuvent être mobilisées.

4. Raisonner la participation : acteurs et échelles

Très en amont de tout démarrage (y compris de la phase d'exploration minière enquête exploratoire) – c'est la situation favorable dans laquelle se trouve la Polynésie française –, il est important de situer les réactions, attentes et représentations spontanées des acteurs potentiellement affectés (directement ou indirectement, positivement ou négativement) par l'exploration et l'exploitation minière sous-marine.

Il s'agit donc ici de réaliser une « cartographie des parties prenantes » (*stakeholder map*) (Mason *et al.*, 2010) à l'image du travail mené par le CSIRO en 2007 en Australie (Boughen *et al.*, 2007), décrit dans l'encadré *infra*. L'idée est d'identifier les acteurs concernés de manière large et à différentes échelles pour ensuite cerner les réactions ou prises de positions a priori associées à ces différents groupes : localisation et ampleur de l'activité, impacts environnementaux, coûts et bénéfices attendus constituent des préoccupations peu surprenantes. Il faut s'attendre aussi à des questionnements sur la transparence de la gestion par les industriels et aussi les administrations, et donc sur les enjeux devenus très sensibles d'accès à une information fiable et donc à des sources d'information alternatives.

La consultation très en amont du processus est indispensable, d'autant plus que les inconnues sont nombreuses dans le domaine.

Dans le cas des ressources minières sous-marines, l'éloignement du rivage de la zone concernée par un projet peut rendre délicate l'identification des acteurs et arènes. A priori, les pêcheurs et les gestionnaires et usagers de dispositifs environnementaux sont concernés au premier chef. Le sont également l'ensemble des secteurs politico-administratifs concernés par les enjeux d'aménagement et de planification spatiale et sectorielle, à partir de l'échelon municipal. Cet échelon peut être stratégique lorsqu'il s'agit de mettre en place des dispositifs d'information, consultation et participation. En même temps, il faut jouer sur les différentes échelles et prévoir des débats via par exemple la mise en place de forums hybrides ou citoyens à l'échelon du territoire et en-deçà des archipels a priori concernés.

Autre élément important, il faut penser la participation de manière flexible dans la durée, afin de pouvoir inclure de nouveaux acteurs à mesure que l'arène générée par l'enjeu évolue.

Participation et mines sous-marines : exemples contrastés (îles Cook, Nouvelle-Zélande, Australie)

Les expériences de pays voisins en matière de participation offrent, du fait de leurs différences à cet égard, des éléments utiles à la réflexion.

Trois cas contrastés ont été retenus :

(1) Les îles Cook où se met en place depuis plusieurs années un dispositif politico-administratif original (incluant la création d'une autorité indépendante ; voir aussi contribution II-6) en amont de la phase d'exploration (les premiers permis viennent tout juste d'être accordés) et qui intègre des éléments de participation.

(2) La Nouvelle-Zélande où des projets d'exploitation de sables riches en fer dans les eaux côtières ont suscité une opposition forte marquée par la convergence d'intérêts économiques, environnementaux, patrimoniaux et politiques (autochtones), aboutissant à l'arrêt des projets.

(3) L'Australie où le CSIRO a mené en 2006-2007 un projet d'exploration de la viabilité sociale du développement possible de la prospection et de l'exploitation minière sous-marine, organisant en particulier une série de consultations et d'ateliers participatifs pour identifier en amont de tout projet les représentations et perceptions des acteurs, incluant une réflexion sur les attentes au niveau national.

Îles Cook : construire en amont une politique et un dispositif institutionnel

La volonté du gouvernement des îles Cook de construire une politique portant sur la ZEE et plus spécifiquement les ressources minérales sous-marines (en l'occurrence ce sont les nodules de manganèse qui sont visés) a débouché sur la promulgation du *Seabed Mineral Act* en 2009. Auparavant plusieurs études de faisabilité économique avaient été réalisées (en 1995 par le East-West Center de Hawaii, en 1996 par l'entreprise étatsunienne Bectal). Le processus débouchant sur la mise en place le 26 juin 2012 d'un organe indépendant, la *Seabed Mining Authority*, a comporté de nombreuses étapes dont certaines avaient une dimension participative, dès 2009. Après une série d'études scientifiques, de consultations d'experts et la définition d'une approche nationale de la question, la *Seabed Mining Taskforce* est créée en 2011, constituée de représentants bénévoles des parties prenantes et des ministères compétents. Des consultations plus larges des groupes d'acteurs concernés ont eu lieu dans plusieurs îles de l'archipel, réunissant autorités traditionnelles, associations environnementales, représentants des îles périphériques, écoles et incluant des représentants de l'opposition, et l'idée est d'intensifier ces consultations.

La *SBM Authority* reconnaît l'importance de la prise en compte du point de vue des communautés :

"The SBM Authority has been proactive in seeking community views on our new seabed minerals sector and working with the community based SBM Advisory Board, various Government departments, traditional leaders, Marae Moana Marine Park Committee, and other interested local and international development partners and stakeholders and the general public and community. We have a new website where all Seabed Minerals information is available for reading and comment. www.seabedmineralsauthority.gov.ck"

(...)

The Authority recognises the value of public participation as a tool for managing the social dimensions of mining projects, and so has increased the avenues for public participation:

- *The Advisory Board has been established, and is a link for the community to Government*
- *The makeup of the Advisory Board consists of members of the public who make up the various sectors of society from traditional chiefs, environmental to business interests- The Authority has begun and will continue public consultations throughout the country which will give people an opportunity to have their voice heard on seabed minerals*
- *Most seabed mineral information is to be made publicly available*
- *Increasing the public's access to information through website, media releases, information booklet and brochure, and presentations.*

Les réglementations, actuellement en cours de rédaction, portant sur l'exploration et l'exploitation des ressources minérales sous-marines, mettent l'accent sur la notion de responsabilité sociale :

Seabed (prospection and exploration) regulations (draft 2015)

Art.59 – Socially responsible conduct

(1) A Title Holder must conduct Regulated Activities in a manner that is respectful of the rights of the citizens of the Cook Islands community, taking into account any views expressed in any community Consultation process and any guidelines published by the Authority pursuant to section 20 of the Act.

(2) A Title Holder must adopt a participatory and collaborative approach to the planning and development of Regulated Activities, in accordance with any general directions of the Authority given for the purpose of this regulation.

Nouvelle-Zélande : gérer les risques de la mobilisation populaire

Le cas néo-zélandais est significatif, même si, du point de vue du type de ressources concernées, il est un peu éloigné des préoccupations polynésiennes, puisqu'il s'agit de l'exploitation de sables ferrugineux côtiers, et donc peu profonds. En mai 2014, Trans-Tasman Resources est la première entreprise à se voir attribuer par le ministère de l'Entreprise, de l'Innovation et de l'Emploi, un permis d'exploration des gisements de la South Taranki Bight au large de la côte de l'île du Nord. Les risques environnementaux ont été jugés mineurs dans le cadre d'évaluations indépendantes, face aux bénéfices attendus, plus de deux cents emplois et 147 millions NZD d'exportations supplémentaires. Mais quelques mois plus tard, l'Agence gouvernementale de protection de l'environnement (*Environmental Protection Authority/EPA*) rejette l'autorisation, en raison de l'incertitude quant à l'ampleur et l'importance des impacts environnementaux potentiels de l'activité minière et de ses effets sur l'industrie de la pêche (représentée par la FINZ (*Fishing Inshore New Zealand*)) et les intérêts des tribus (*iwi*) maories concernées. L'EPA a organisé une consultation publique, recevant 4 702 réponses dont 99,5% partiellement ou totalement opposées au feu vert donné au projet.

“Given that this type of activity has never been conducted in New Zealand waters before and the impacts and effects are fundamentally unknown, we intensely object to being guinea pigs in an experiment that puts our food sources and food chain at risk” (<http://www.mining-technology.com/features/featurenew-zealand-says-no-to-ironsand-mining-4382162/>).

TTR doit faire appel de cette décision mais il est intéressant d'observer d'une part que la controverse s'est centrée sur l'incertitude environnementale (plus qu'un risque évaluable) et que l'arène d'acteurs s'est structurée de manière plurielle autour d'intérêts économiques (pêche), environnementaux, patrimoniaux (défense d'un paysage et d'un mode de vie, place du surf) et politiques (reconnaissance maorie).

Australie : identifier les parties prenantes, comprendre les points de vue et anticiper les réactions

Le projet conduit par le CSIRO en 2006-2007 visait à explorer la viabilité sociale d'un possible développement d'une industrie minière sous-marine dans le pays. Cherchant à identifier les contraintes et opportunités pesant sur cette orientation, le projet a mis en lumière les espaces publics et environnements politiques dans

lesquels la mine sous-marine pouvait s'inscrire, identifié les principaux groupes d'acteurs ayant un intérêt par rapport à ce secteur, cartographié leurs positions et saisi les enjeux et préoccupations de ces groupes.

Les enquêtes organisées auprès des parties prenantes ont permis, malgré leurs limitations (incapacité à enquêter auprès de la population aborigène en particulier), d'identifier des grands types de réactions indexées à des groupes d'acteurs, des sujets a priori sensibles et des demandes d'informations ciblées : (i) sur la nature et la localisation de l'activité, (ii) les impacts environnementaux, (iii) les coûts et bénéfices attendus, (iv) les enjeux et risques de la gestion industrielle, (v) la nécessité d'une information indépendante et transparente.

L'interprétation de ces données montre que le souci environnemental occupe une place centrale dans les inquiétudes des interlocuteurs, inquiétude accrue par le sentiment que le milieu marin est à la fois symboliquement fort (la dernière frontière naturelle), méconnu et fragile. Second point, la mine sous-marine est jaugée à l'aune de l'activité minière terrestre, dont le crédit est faible. Enfin, la question de la confiance (ou du manque de confiance envers les industriels mais aussi les pouvoirs publics et la recherche) apparaît cruciale.

5. Définir le contenu de l'information nécessaire

L'enquête du CSIRO mentionnée plus haut montre que les acteurs concernés par l'enjeu minier sous-marin sont en capacité de situer très en amont les besoins et les manques d'informations qu'ils ressentent. L'un des besoins exprimés concerne justement la nécessité de pouvoir accéder à une information indépendante et transparente. Il s'agit là de l'expression directe du qualificatif « éclairé » accolé au consentement préalable libre et éclairé (voir aussi Szablowski, 2010 : 124-125).

En d'autres termes, il ne s'agit pas simplement d'informer la population mais d'organiser et accroître sa capacité à avoir un avis sur la question en amont des procédures de consultation. Ceci suppose de s'inscrire dans une durée suffisamment longue pour que les procédures telles que celles associées au consentement préalable libre et éclairé puissent avoir un sens.

« ...inexperience, a lack of information, and very short timelines placed limitations on what they could achieve » (Szablowski, 2010: 117).

Faire un état des lieux des connaissances scientifiques et donc des lacunes constitue un préalable indispensable. Ces connaissances scientifiques et l'expression des manques et des doutes doivent être traduites

dans une langue intelligible pour les acteurs non scientifiques, et par ailleurs les chercheurs doivent aussi être directement impliqués et parties prenantes des procédures de participation. Cette information scientifique doit s'accompagner d'une information technique présentant clairement les procédés d'exploration et d'exploitation. Il s'agit de poser de la manière la plus transparente possible les enjeux et les conséquences possibles des différentes options du point de vue des connaissances scientifiques actualisées.

Il apparaît essentiel que l'information produite dans le cadre des dispositifs mis en place intègre des dimensions non directement liées au projet lui-même et portant sur le contexte de son action. Il faut ainsi porter à la connaissance de toutes les parties prenantes la manière dont les usages éventuels et les valeurs attachées aux espaces marins (indépendamment d'usages directs) s'organisent. En d'autres termes, *la question de l'information ne doit pas être conçue comme un instrument de communication et de sensibilisation, mais bien comme un processus interactif d'échanges mutuels.*

Ceci implique d'enclencher un processus de consultation prenant en compte les attentes, les craintes, le degré de confiance accordée aux différentes parties prenantes (industriels, collectivités, ONG, etc.). Ce processus doit s'inscrire dans la durée pour pouvoir prendre en compte les événements nouveaux venant modifier le fonctionnement de la filière (nouvelle technologie, nouvelle régulation, incident ou accident, etc.). Il est alors cohérent qu'il mette au premier plan de sa démarche la notion de CPLE, à l'instar du processus de consultation lancé par le gouvernement du Vanuatu en 2014 dans le domaine des ressources minières sous-marines – mais alors que 154 permis d'exploration et prospection minière sous-marine avaient déjà été attribués (PIIP, 2014)...

6. Penser la dimension temporelle

On vient de le voir concernant la notion de CPLE, la question du temps est essentielle face à des choix potentiellement lourds de conséquences (qu'elles soient négatives ou positives) qui peuvent être durables. L'activité minière, de l'exploration à l'exploitation et aux travaux de réhabilitation post-exploitation, s'inscrit en outre dans une durée longue.

La première règle à suivre est celle de l'anticipation, afin d'éviter les effets d'urgence suscités ou manipulés par des investisseurs ou des politiques. A cet égard, la situation est idéale en Polynésie française dans la

mesure où il n'existe pour l'instant aucune activité minière sous-marine et qu'aucun permis d'exploration n'a encore été accordé. Cela laisse du temps pour réfléchir à une politique adaptée et intégrant la participation des populations.

Seconde règle, il faut laisser du temps à la diffusion et à la « digestion » de l'information et/ou à sa reformulation dans les arènes formelles et informelles, ainsi qu'à l'expression de préoccupations ou de connaissances alternatives.

Il ne s'agit toutefois pas seulement de donner du temps en laissant faire les choses. Troisième point, il est donc important d'identifier des tiers légitimes qui puissent exercer une fonction de relai dans ce travail de diffusion et d'appropriation non seulement de l'information relative à une activité minière sous-marine potentielle mais du contexte nouveau que celle-ci génèrera. On retrouve ici la notion de « courtiers honnêtes » (au sens de l'honnête homme) développée par Colin Filer dans le contexte minier terrestre (Filer, 1999).

Quatrième élément, il est essentiel de penser la « clôture des débats », face à une tendance à les poursuivre ou à les rouvrir sans fin : il ne s'agit sans doute pas tant d'un trait culturel qui serait inhérent aux sociétés polynésiennes que d'un effet d'un champ politique segmenté, faiblement hiérarchisé et marqué d'une forte empreinte clientéliste qui offre des espaces pour rouvrir un « dossier » dans une nouvelle arène en cas d'insatisfaction.

Cinquième règle, la question de la « clôture des débats » ne doit pas être conçue dans une logique bureaucratique séquentielle : on organise une phase de consultation d'une durée limitée puis on passe à la suite... Il est essentiel de garantir des possibilités et espaces d'expression (y compris de voix dissonantes) dans la durée. En d'autres termes, le CPLE ne constitue pas une étape mais un processus à maintenir actif tout au long du processus.

7. Construire une gouvernance participative

Les différentes étapes décrites dans les sections précédentes ne constituent pas un guide de recettes participatives à appliquer de manière linéaire et mécanique. Mais considérées dans leur ensemble, elles dessinent les contours d'une gouvernance participative de l'activité minière sous-marine.

Au-delà des définitions juridiques des principes d'information, de consultation, de précaution et de prévention, il s'agit de mettre à profit

l'opportunité que représente le fait de se situer en amont de toute activité minière sous-marine. Ce contexte favorable permet de penser la mise en place de dispositifs permettant une prise de parole et de décision dans le cadre d'une participation démocratique. Celle-ci ne saurait donc être réduite au statut de technologie institutionnelle.

La question du CPLE est du ressort de cette problématique. La notion de consentement préalable libre et éclairé se situe à la jonction de processus hétérogènes : contestations et mobilisations autochtones, cadres légaux nationaux, standards et *soft laws* définis par des organisations internationales (l'IFC par exemple), mesures volontaires d'autorégulation du secteur minier (Owen & Kemp, 2014 : 92). Dans ce contexte, il serait erroné et risqué d'imaginer le CPLE sous la forme d'une transaction effectuée en une fois en début de projet et réglant définitivement la question du consentement des populations potentiellement affectées. La délicate opérationnalisation de la notion de CPLE suppose de la concevoir comme un dispositif politique et moral qui intègre ses parties prenantes à un jeu de droits et d'obligations qui doivent être clarifiés mais peuvent être renégociés en fonction d'événements porteurs d'un « changement de donne ».

En d'autres termes, l'obtention du consentement des populations par un industriel n'éteint pas ses obligations vis-à-vis de celles-ci et des mécanismes doivent garantir la maintenance dans le temps de ce consentement, à l'instar de ce qui se passe avec les permis (d'exploration ou d'exploitation) émis par les instances politico-administratives et dont la prorogation de la validité n'est pas automatique mais soumise à conditions.

La question de la participation des populations doit, pour ce faire, s'inscrire dans la durée et faire l'objet de modalités régulières de suivi et de réévaluation. En même temps, l'un des enjeux de cette participation réside pour les populations concernées dans l'accès aux informations et savoirs nécessaires pour qu'elles puissent peser sur les décisions. La gouvernance est affaire de savoirs et pouvoirs et se rejoignent ici les dimensions spatiales et temporelles des négociations accompagnant tout projet minier – *the politics of time/of space* pour reprendre les termes de Stuart Kirsch, 2014) : l'accès des populations locales et de leurs représentants (politiques et/ou coutumiers) à l'information est facilité par l'insertion dans des réseaux larges mobilisant ONG, juristes, instituts de recherche souvent localisés à distance. Les modalités d'apprentissage en sont accélérées, permettant une participation informée précoce, d'autant plus importante que les éventuels impacts environnementaux négatifs d'un projet peuvent agir tout en restant peu visibles durant des périodes assez longues, générant des pollutions lentes ou « *slow-motion environmental disasters* » (cf. le cas de Guadalupe en Californie ; voir Adam, 1998).

En d'autres termes, il faut réfléchir de manière prospective à la construction d'une gouvernance participative et démocratique associant

populations riveraines, communes, organisations de la société civile, institutions de recherche, experts, etc. qui augmente la réactivité des populations concernées par un projet minier, face à des investisseurs qui fonctionnent dans une logique temporelle différente et des gouvernants souvent pris dans d'autres urgences, électorales par exemple.

8. Bibliographie

- ADAM B. 1988 – *Timescapes of Modernity: The Environment and Invisible Hazards*, New York: Routledge.
- BAMBRIDGE T., 2013 Le foncier terrestre et marin en Polynésie française. L'étude de cas de Teahupoo, *Land Tenure Journal* 2 (12) : 118-143.
- BEBBINGTON A. (dir.), 2012 – *Social Conflict, Economic Development and Extractive Industry: Evidence from South America*. Abingdon, Routledge.
- BOUGHEN N., ASHWORTH P., LITTLEBOY A., 2007 – *Exploring the social dimensions of an expansion to the sea floor exploration and mining industry in Australia: a report on stakeholder workshops*, Report No. P2007/610, Sydney: CSIRO.
- CALLON M., LASCOUMES P., BARTHE Y., 2001 – *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Paris : Seuil.
- CHAUVEAU J. P. et LAVIGNE DELVILLE P., 1998 – Communiquer dans l'affrontement : la participation cachée dans les projets participatifs ciblés sur les groupes ruraux défavorisés, in : Deler et al. (dir.) *ONG et développement : du nord aux suds*, Paris, Karthala : 193-214.
- COOPER C. et GIURCO D., 2011 – Mineral resources landscape: reconciling complexity, sustainability and technology. *International Journal of Technology Intelligence and Planning* 7 (1): 1-18.
- DASHWOOD H., 2013 – *The Rise of Global Corporate Social Responsibility. Mining and the Spread of Global Norms*, Cambridge: Cambridge University Press.
- DUPUY J. P., 2002 – *Pour un catastrophisme éclairé. Quand l'impossible est certain*, Paris: Seuil.
- FILER C., 1999 – The Dialectics of Negation and Negotiation in the Anthropology of Mineral Resource Development in Papua New Guinea, in: Cheater, Angela P. (ed.) *The Anthropology of Power: Empowerment and Disempowerment in Changing Structures*, London: Routledge (ASA Monograph 36): 88–102.
- FRANKS D., DAVIES R., BEBBINGTON A., ALI S., KEMP D. et SCURRAH M., 2014 – Conflict translates environmental and social risks into business costs, *PNAS*. URL: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1405135111.
- GIURCO D. et COOPER C., 2012 – Mining and sustainability: asking the right questions, *Minerals Engineering* 29 : 3-12.
- GOODLAND R., 2004, Free, Prior and Informed Consent and the World Bank Group, *Sustainable Development Law and Policy* 4 (2): 66-74.
- KIRSCH S., 2014 – *Mining capitalism. The relationships between corporations and their critics*, Oakland, University of California Press.
- LAVIGNE DELVILLE P., 2011, Du nouveau dans la « participation » ? Populisme bureaucratique, participation cachée et impératif délibératif,

- in : Eyolf Jul-Larsen, Pierre-Joseph Laurent, Pierre-Yves Le Meur & Eric Léonard (eds.) *Une anthropologie entre pouvoirs et histoire. Conversations autour de l'œuvre de Jean-Pierre Chauveau*, Paris, IRD-APAD-Karthala : 161-188.
- LE MEUR P. Y., 2014 – *Les populations locales face aux projets miniers : question d'acceptabilité ou de réinterprétation ? Exemple du Pacifique Sud-Ouest*, 82e Congrès de l'ACFAS, colloque UQAT-UQAM & CIRODD « L'acceptabilité sociale des projets miniers : du Québec au reste du monde », Université Concordia, Montréal, 14 mai 2014.
- LE MEUR P. Y., 2015 – *Anthropology and the Mining Arena in New Caledonia: Issues and Positionalities* », *Anthropological Forum: A Journal of Social Anthropology and Comparative Sociology*, 25, 4.
- LITTLEBOY A. et BOUGHEN N., 2007, *Exploring the Social Dimensions of an Expansion to the Seafloor Exploration and Mining Industry in Australia: Synthesis Report*, Sydney: CSIRO.
- LYNCH P., 2011 – *Toward the development of a national regulatory framework for deep sea mining in the Cook Island*, Colloque international « Politique et exploitation minière dans le Pacifique : histoire, enjeux, perspectives », Nouméa, IRD-CPS, 21-24 novembre 2011.
- MASON C., PAXTON G., PARR J. BOUGHEN N., 2010 – *Charting the territory: Exploring stakeholder reactions to the prospect of seafloor exploration and mining in Australia*, *Marine Policy* 34 (6): 1374-1380.
- MASON C., PAXTON G., PARSONS R., PARR J., MOFFAT K., 2014, “For the benefit of Australians”: Exploring national expectations of the mining industry, *Resources Policy* 41: 1-8.
- MOSSE D., 2005 – *Cultivating Development. An Ethnography of Aid Policy and Practice*, London: Pluto Press.
- OWEN J. R. ET KEMP D., 2013, Social licence and mining: A critical perspective, *Resources Policy* 38: 29-35.
- OWEN J. R. et KEMP D., 2014 – ‘Free prior and informed consent’, social complexity and the mining industry: Establishing a knowledge base, *Resources Policy* 41: 91-100.
- Pacific Institute of Public Policy (PIPP) 2014 – *Deep Sea Mining: starting a dialogue*, report on the Vanuatu Government’s consultation workshop 7-9, October, 2014.
- RICHERT C., ROGERS A., BURTON M., 2015 – Measuring the extent of a Social License to Operate: The influence of marine biodiversity offsets in the oil and gas sector in Western Australia, *Resources Policy* 43: 121-129.
- SIDE J., 1997 – The future of North Sea oil industry abandonment in the light of the Brent Spar decision. *Marine Policy* 21 (1):45–52.
- Sustainable Development Law and Policy* 2004, *Prior Informed Consent*, special issue, n°4 (2).

- SZABLOWSKI D., 2010 – Operationalizing free, prior, and informed consent in the extractive industry sector? Examining the challenges of a negotiated model of justice, *Canadian Journal of Development Studies* 30 (1-2): 111-130.
- TRNKA S. et TRUNDLE C., 2014 – Competing Responsibilities: Moving Beyond Neoliberal Responsibilisation, *Anthropological Forum: A Journal of Social Anthropology and Comparative Sociology* 24 (2): 136-153.

II-5. Acteurs et gouvernance : enjeux, positionnements, intérêts, attentes

T. BAMBRIDGE, P.-Y. LE MEUR

La question des acteurs impliqués dans l'arène générée par la question minière sous-marine est étroitement liée à celle de la gouvernance de ce secteur d'activité encore hypothétique. En effet, si l'on considère la gouvernance dans un sens descriptif comme un mode de régulation émergent des interactions entre acteurs et institutions, qu'ils soient étatiques ou non étatiques (Le Meur, 2011¹), la définition de l'arène d'acteurs impliqués de manière directe ou indirecte dans l'enjeu considéré, ici l'exploration et l'exploitation des ressources minérales sous-marines, va influencer sur le mode de gouvernance qui va résulter des jeux des acteurs et des institutions.

Ce chapitre traitera donc à la fois de l'identification des acteurs impliqués dans l'arène minière des ressources sous-marines, de leurs positionnements, intérêts, perceptions, représentations, attentes, craintes, et des enjeux de gouvernance de ce secteur.

Second point, nous fonctionnerons selon une « logique d'entonnoir », en considérant tout d'abord les acteurs potentiellement impliqués de manière large, à l'échelon du territoire (sans oublier les acteurs extérieurs) avant de centrer la focale sur des zones spécifiques où les perspectives semblent plus nettes.

¹ « For sociologists of governance [...], the object of investigation is understood as an emergent pattern or order of a social system, arising out of complex negotiations and exchanges between 'intermediate' social actors, groups, forces, organizations, public and semi-public institutions in which state organizations are only one – and not necessarily the most significant – amongst many others seeking to steer or manage these relations » (Rose 1999 : 21)

Enfin, il faudra distinguer l'exploration, l'exploitation (extraction) et la transformation du minerai extrait à la fois du point de vue des arènes d'acteurs concernés et des enjeux de gouvernance associés.

1. Enjeux socio-économiques des ressources marines en eaux profondes à l'échelon du pays

Si les ressources marines en eaux profondes en Polynésie française suscitent aujourd'hui l'intérêt des pouvoirs publics (Etat et Collectivité de la Polynésie française), elles constituent un thème politique récurrent depuis des décennies.

La question des ressources minérales marines profondes a parfois été abordées dans le cadre des débats d'orientation de la politique de développement économique en Polynésie ou plus récemment dans le cadre de discussions portant sur des questions de souveraineté économique et de transferts de compétences. Pourtant, le sujet en tant que tel n'a jamais fait l'objet d'une réflexion et d'une orientation politico-économique explicite au cours des dernières décennies. Ce constat, basé en particulier sur l'analyse des déclarations de politique générale des quinze dernières années, doit toutefois être relativisé : nous n'avons pas pu investiguer dans le cadre contraint de cette expertise, les discussions qui ont pu être organisées au sein des partis politiques et éventuellement entre eux, sans donner lieu à des expressions et prises de positions publiques. Cependant, la commande de cette expertise par la majorité politique actuelle, avec l'État, est un signe de l'intérêt que des partis autonomistes portent à cette question.

Cette évolution peut être reliée aux manifestations d'intérêt de plusieurs pays du Pacifique (Cook, Vanuatu, pour les plus récents) pour l'enjeu minier sous-marin depuis l'annonce de l'exploration à Solwara en Papouasie-Nouvelle-Guinée (PNG).

La rationalité économique n'est qu'un des paramètres affectant la réflexion politique sur les ressources minérales profondes. En effet, après une période marquée par l'exploitation minière de phosphate à Makatea dont l'apogée se situe dans la période 1920-1950, la mise en place du Centre d'Expérimentation du Pacifique (CEP) durant la période 1966-1996 a occulté l'intérêt à diversifier les leviers de développement, qu'il s'agisse des mines, du tourisme, de l'agriculture ou même de la pêche.

Avec l'arrêt des essais nucléaires en 1996, et la réduction progressive de la manne financière du CEP qui les accompagnait, l'orientation vers le tourisme et la pêche s'est réaffirmée, tandis que la

question d'une possible rente minière se limitait encore à la remise en exploitation des mines de phosphates des atolls surélevés de Makatea et de Mataiva (Decoudras *et al.* 2005).

Il n'y a jusqu'à présent pas eu de discussion portant sur l'enjeu minier sous-marin. Les résultats des campagnes scientifiques sur les ressources minérales n'ont jamais fait l'objet d'une information publique et de débat de fond au sein de l'assemblée de la Polynésie française. Au cours des dix dernières années, les seuls exemples de débat à propos d'enjeux miniers en Polynésie française sont relatifs au possible redémarrage de l'exploitation de mine de phosphate à Makatea suite à une demande d'exploration minière d'une société australienne (voir <http://www.avenirmakatea.com/exploration.php>).

Dans ce contexte, les enjeux que peut soulever la prospection minière en eaux profondes se déclinent essentiellement sous une forme prospective. Les niveaux et les types d'acteurs qui seront impliqués dépendent étroitement de la localisation des possibles prospections. Les pêcheurs côtiers locaux, la pêcherie palangrière, les associations locales et internationales de défense de l'environnement, les centres de recherche scientifiques nationaux et locaux, les associations culturelles, les syndicats, les services administratifs de l'Etat et de la Polynésie française, le monde politique local (partis politiques, élus territoriaux, conseils municipaux), l'opinion publique (également via divers canaux d'expression : medias, églises, associations diverses...), peuvent être mobilisés à des degrés divers, en fonction du lieu, de l'intérêt, des attentes, des craintes et de la communication que suscitera l'exploration minière.

Jusqu'à présent, la prospection scientifique (Zepolyf, etc.) n'avait pas conduit à beaucoup d'interrogations, ni nourrit le débat en Polynésie française. Il n'en sera peut-être pas de même en ce qui concerne la prospection minière des ressources minérales en eaux profondes.

Dans ce chapitre, nous passons en revue les différents types d'acteurs potentiellement concernés par ces enjeux en soulignant leur nature en fonction de chaque région de la Polynésie française.

2. Acteurs et usages de l'espace marin

Les zones potentiellement intéressantes pour l'exploration et l'exploitation minière sous-marine sont hauturières et les usagers directs sont moins nombreux et divers que pour la mine terrestre. L'enjeu essentiel tourne autour de la pêche et il sera détaillé ci-dessous.

Les fonctions touristiques de ces espaces sont indirectes car très éloignés des côtes. En revanche, il est possible que les lieux d'exploration et d'exploitation des mines en eau profonde soient localisés sur des routes de transport maritime (fret, passagers, croisiéristes). Dans la ZEE de la Polynésie française, nous n'avons pas identifié de zones d'intérêts militaires ou géostratégiques autres que les zones de Moruroa et de Fangataufa. Il convient toutefois de noter que le programme Extraplac, qui vise à étendre les limites de la ZEE de la Polynésie française pourrait constituer un enjeu géostratégique puisque cela conduirait à réduire les eaux internationales entre la ZEE des îles Cook et de la Polynésie française, d'une part, entre les Kiribati et la Polynésie française d'autre part.

2.1. La pêche palangrière

La flottille de pêche palangrière polynésienne est récente (1992) et connaît des difficultés économiques importantes (liquidation de la SEM Tahiti Nui Rava'ai, immobilisation de nombreux bateaux, manque de formation des capitaines, sociétés déficitaires).

Comme évoqué précédemment, elle se compose de 65 bateaux répartis en 36 thoniers de pêche fraîche et 29 thoniers mixtes et congélateurs. Toutes espèces confondues, le total de la pêche palangrière commerciale en 2013 est de 5807 tonnes, dont 58 % (3396 tonnes) de thon germon.

En 2013, la répartition de la production de la pêche palangrière se répartit sur 40 % de la ZEE. Il est à noter que 90 % de la pêche en thon frais se localise au nord-est et au sud de Tahiti dans un rayon de 400 milles nautiques, tandis que 80 % de la production des thoniers mixtes et congélateurs est également réalisée dans cette même zone, ce qui « traduit un plus grand chevauchement des zones de pêche de ces deux flottilles et une plus grande concentration de la flotte depuis trois ans » (figure 1).

La tendance au chevauchement pourrait également s'expliquer par le fait que 97 % des prises de poisson sont débarquées réfrigérées, tandis que 3 % de la production (186 tonnes en 2013) est congelée.

Il convient également de noter que la zone de pêche est limitée par a) la taille des bateaux qui composent la flotte palangrière et b) du seul lieu de déchargement des productions au port de pêche de Papeete à Tahiti. La production est ensuite vendue directement aux mareyeurs ou à la criée au marché d'intérêt public au port de pêche de Papeete.

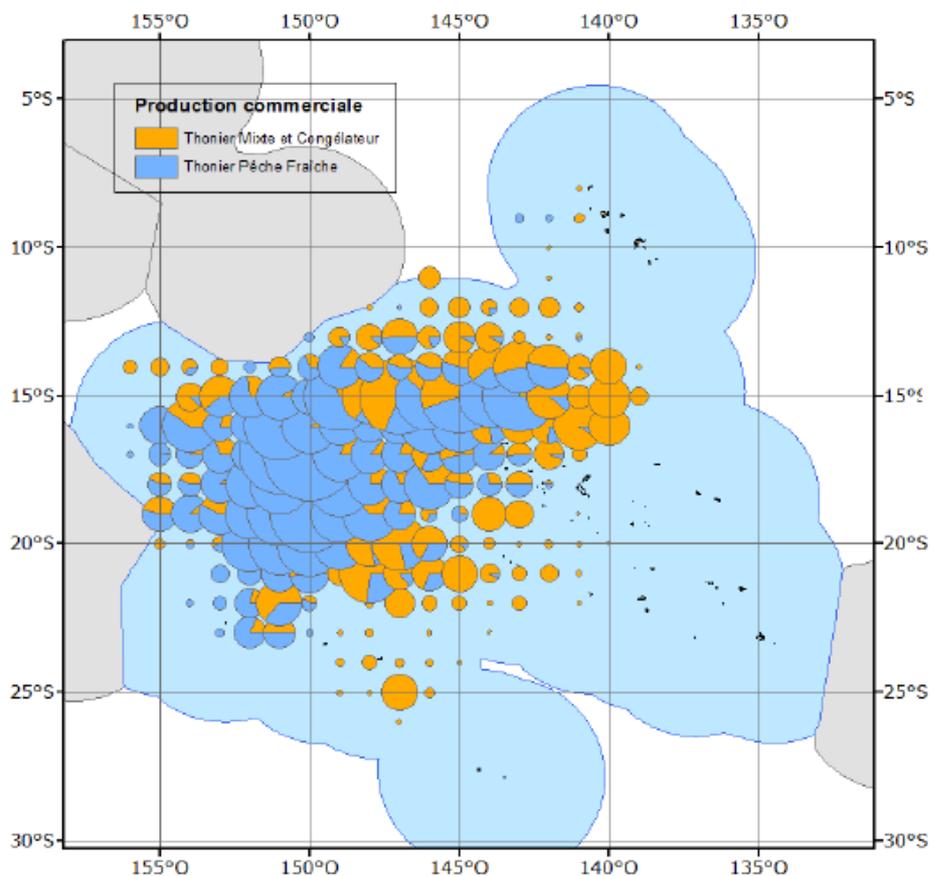


Figure 1 – Répartition de la production de la pêche palangrière (DRM, 2014)

Compte tenu de la taille actuelle moyenne des bateaux de la flottille locale, les zones de pêche se concentrent au sud des Tuamotu et au sud des îles de la société, dans un rayon de 400 mN km autour de Tahiti, unique port de pêche en Polynésie française.

Les hauts fonds, potentiellement intéressants en terme de ressources minières, sont également des lieux qui intéressent les pêcheurs puisque ces hauts fonds sont réputés concentrer une biodiversité importante. Les craintes des pêcheurs seraient donc de se voir priver d'accès à un certain nombre de leurs lieux de pêches habituels, les obligeant à parcourir des distances plus importantes en quête de nouveaux sites ou à réduire leur zone d'activité (de manière plus ou moins significative) en fonction des impacts d'une exploration et d'une exploitation minières en eaux profondes.

Depuis quinze ans, aucune licence de pêche n'a été accordée aux bateaux étrangers dans la ZEE de la Polynésie française, la politique de pêche étant désormais de privilégier la flottille locale. Les armateurs n'ont

pas manqué de faire peser des menaces de blocage du port de Papeete lorsque la question du renouvellement des licences de pêches à des bateaux étrangers s'était posée.

Dans la perspective de la mise en place d'une grande aire marine protégée autour des Marquises, les armateurs se sont également inquiétés d'une réduction des zones de pêche, même si très peu de bateaux locaux fréquentent cette zone. Lors des tables rondes organisées sous l'égide de la Direction des ressources marines et minières (DRMM) à propos de la grande aire marine protégée (AMP) des Marquises la semaine du 20 août 2015, certains entrepreneurs, soutenus par les pouvoirs publics, ont émis le souhait d'acquérir deux plus grands bateaux pour pêcher aux Marquises. Le projet de zonage de cette grande AMP a permis de révéler plusieurs catégories de classement, dont les suivantes (non exhaustif) :

- une zone réservée aux seuls pêcheurs artisanaux dans une zone de 20 milles autour de chaque île des Marquises ;
- une zone de pêche possible pour les palangriers locaux ;
- une zone de protection intégrale pour tout le reste de la ZEE autour de l'archipel des îles Marquises.

D'autres catégories de conservation des ressources et des habitats ou qui renvoient à des enjeux culturels spécifiques, pourraient compléter ce projet de macro-zonage en cours.

En outre, un projet de classement de l'ensemble de la zone économique exclusive (ZEE), initié en 2013, est également en cours. Ce classement en aire marine gérée a été officiellement annoncé par le président de la Polynésie française lors de la COP 21 à Paris en décembre 2015. Dans tous les cas, les différentes politiques publiques menées par la Polynésie française en matière de pêche et de protection environnementale témoignent d'une volonté de concertation et d'intégration de ces politiques publiques au travers d'un zonage, voire d'un schéma directeur à l'échelle d'une partie ou de la totalité de la ZEE de la Polynésie française.

2.2. Les pêcheurs côtiers

En 2013, la flotte de pêche côtière se composait d'environ 437 unités actives réparties en 47 bonitiers (bateaux de 10 à 13 mètres) et 390 *poti marara* (bateaux de 6 à 8 mètres). Si le nombre de bonitiers, qui a beaucoup diminué, stagne, celui des *poti marara* progresse. 80 % de ces bateaux sont stationnés aux îles du Vent et aux îles Sous-le-Vent.

La carte ci-après montre la répartition par archipel des navires considérés comme actifs par la Direction des ressources marines et minières.

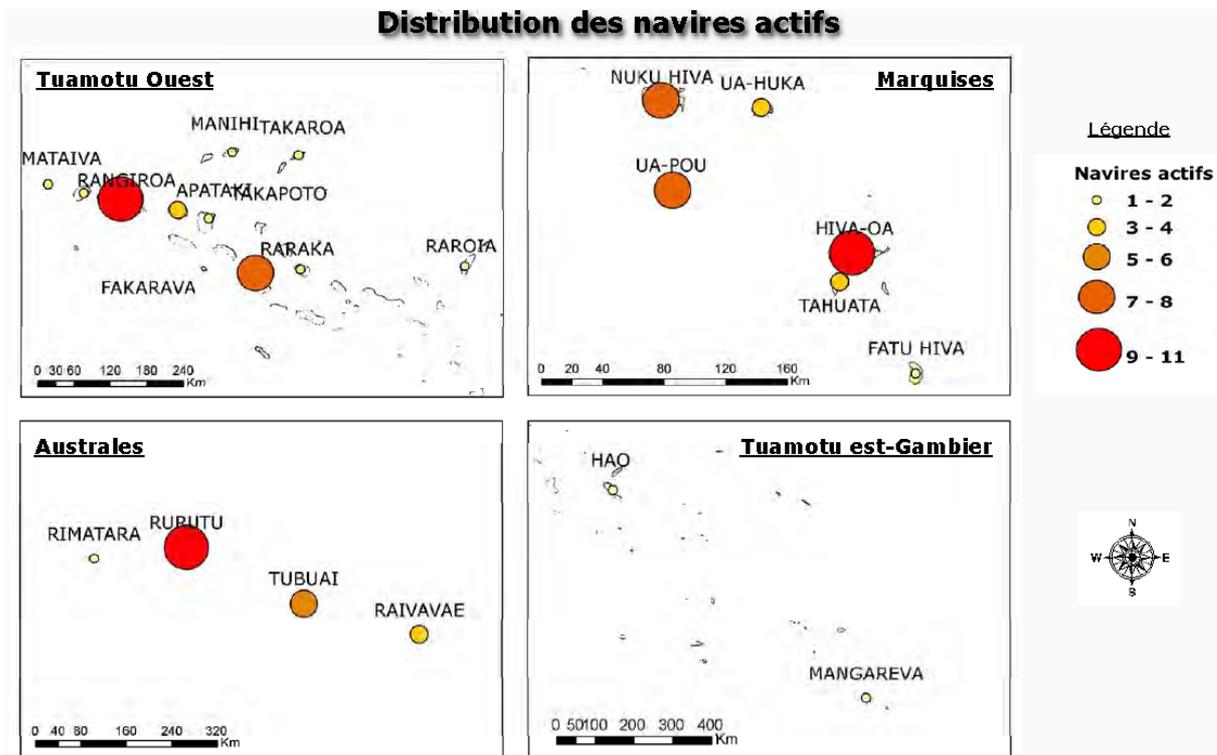


Figure 2 – Distribution des navires actifs, par archipel (DRMM 2014)

Le total de la production côtière annuelle moyenne en 2013 est de 3 120 tonnes, soit relativement à la production palangrière, près de 53% de celle-ci, ce qui n'est pas négligeable, en termes d'acteurs présents dans l'arène locale.

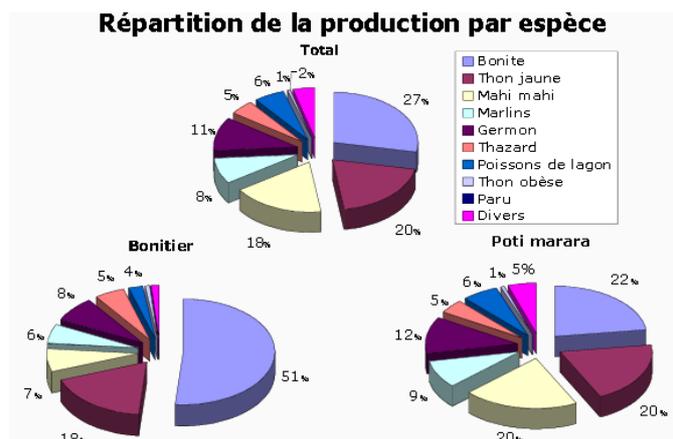


Figure 3 – Répartition de la production par espèces (DRMN, 2014)

Nous n'avons pas de statistiques précises sur les zones réelles d'activité de cette pêche côtière, mais elle ne semble pas s'étendre au delà d'un rayon compris entre 10 mN (milles nautiques) et 40 mN autour du port d'attache dans les différentes îles des archipels de la Polynésie française.

Bien que les techniques de pêche de cette flottille soient très diversifiées, le nombre de celles qui sont réellement utilisées demeure limité (traîne, ligne de fond, harpon), mais plus important que pour la pêche palangrière. Comme le montrent nos enquêtes aux Australes (Bambridge *et al.* 2015) et aux îles du Vent (Bambridge 2014), certains pêcheurs côtiers connaissent les hauts fonds et les monts sous-marins réputés plus riches en biodiversité marine, localisés dans les rayons indiqués ci-dessus.

Traditionnellement, les principales craintes exprimées par les pêcheurs côtiers sont relatives à la concurrence exercée par la flottille palangrière. Leur rayon d'action étant moins étendu, cette flottille a une zone de pêche encore plus limitée. Plus récemment, des craintes similaires se sont exprimées en ce qui concerne les projets de mise en réserve d'une partie des zones maritimes des archipels des Australes et des Marquises.

2.3. Les pêcheurs lagunaires

A priori, dans la mesure où l'on peut considérer que les impacts de l'exploration et de l'exploitation toucheraient peu ou pas les lagons (voir contributions de l'axe IV), les pêcheurs lagunaires ne semblent pas figurer parmi les acteurs qui composent l'arène sociale des projets d'exploration et d'exploitation minière en eaux profondes. Toutefois dans le contexte d'une société démocratique (Eyles *et al.* 2012, Boutilier *et al.* 2009), de la mise en avant de forme de patrimonialisation (de la nature en particulier) dépassant le cercle des acteurs directement concernés (Cormier-Salem *et al.*, 2002), de diffusion croissante des informations via les réseaux de communication (Bambridge *et al.* 2002, 2004) et de la spécificité des rapports nature-culture dans le monde polynésien (Bambridge, 2009, Torrente 2012), il est probable que ces acteurs, ou leurs représentants, expriment des craintes et des attentes spécifiques. Il importe donc de présenter brièvement l'importance sociologique de ces acteurs.

Officiellement, les pêcheurs lagunaires sont au nombre de 5 000 (détenteurs d'une carte de pêche délivrée par la Chambre des agriculteurs et de la pêche lagunaire), mais ce chiffre est très approximatif car beaucoup ne sont pas recensés et certains pêcheurs pratiquent une poly-activité agriculture-pêche.

De manière très approximative, les prises liées à la pêche lagunaire sont estimées à 4 300 tonnes dont 3 400 tonnes de poissons lagunaires, 700 tonnes de petits pélagiques et 200 tonnes de mollusques divers (DRM

2013). Il convient de noter que les archipels se sont spécialisés dans certains types de production pour approvisionner le marché de Tahiti. Les Tuamotu exportent près de 900 tonnes de poissons à Tahiti (Les atolls de Arutua, Tikehau, Faaite, Katiu et Manihi au Tuamotu de l'ouest représentent près de 50 % du marché export vers Tahiti), les îles de Tupuai et de Raivavae, environ 10 tonnes de bénéitiers par an.

L'absence de connaissance scientifique sur l'impact de l'exploitation des ressources minières en eaux profondes sur les poissons fréquentant les lagons (pélagiques et lagonaires) et donc les pêcheurs, ne doit pas oblitérer le fait que dans beaucoup d'îles toute augmentation ou baisse des ressources peut être interprétée en termes de cause à effet. En particulier, les populations locales qui dépendent le plus des ressources naturelles (pêcheurs, agriculteurs, fermiers aquacoles) sont extrêmement sensibles au continuum nature-culture et disposent de connaissances traditionnelles leur permettant d'interpréter les changements liés aux relations entre mondes minéral, végétal et animal. De plus, en raison de la structure de la société polynésienne en ramage (ou *opu*, groupe de descendance bilatéral très inclusif ou « famille élargie » organisé autour d'un *marae* ; Firth 1957, 1965, Bambridge 2009), ces interprétations circulent sous différentes formes oralisées et peuvent alimenter rumeurs bienveillantes comme malveillantes sur les impacts écologiques et humains de l'exploration/l'exploitation des ressources minières en eaux profondes.

2.4. Autres usages et acteurs

2.4.1 Tourisme

L'usage du proche océan est aussi touristique. Dans les îles voisines des zones d'exploration voire d'exploitation minière en eaux profondes, ces usages pourraient en être quelque peu perturbés, d'une part, sur le plan de la qualité des eaux par des pollutions terrigènes (particules en suspension issues des activités sous-marines) ou chimiques et organiques (eaux usées), d'autre part par la présence physique de bâtiments liés à l'exploration minière (gêne des routes maritimes et esthétique), même si vu les distances aux côtes, les effets risquent d'être négligeables à nuls.

Actuellement, le tourisme nautique connaît en Polynésie française une bonne croissance qui compense la stagnation du tourisme terrestre. Les activités liées au tourisme nautique se répartissent entre les excursions nautiques, elles-mêmes réparties entre sorties baleines selon la saison, découverte de faune marine et visite de motus (78 prestataires dont 63 % dans les Îles de la Société), la plongée (46 clubs et 130 000 plongées en 2008 dont 63 % à Tahiti, Bora Bora et Rangiroa, puis à Moorea et Fakarava), les centres nautiques (31), la location de bateaux (26 sociétés) et la pêche au gros (AER Polynésie française).

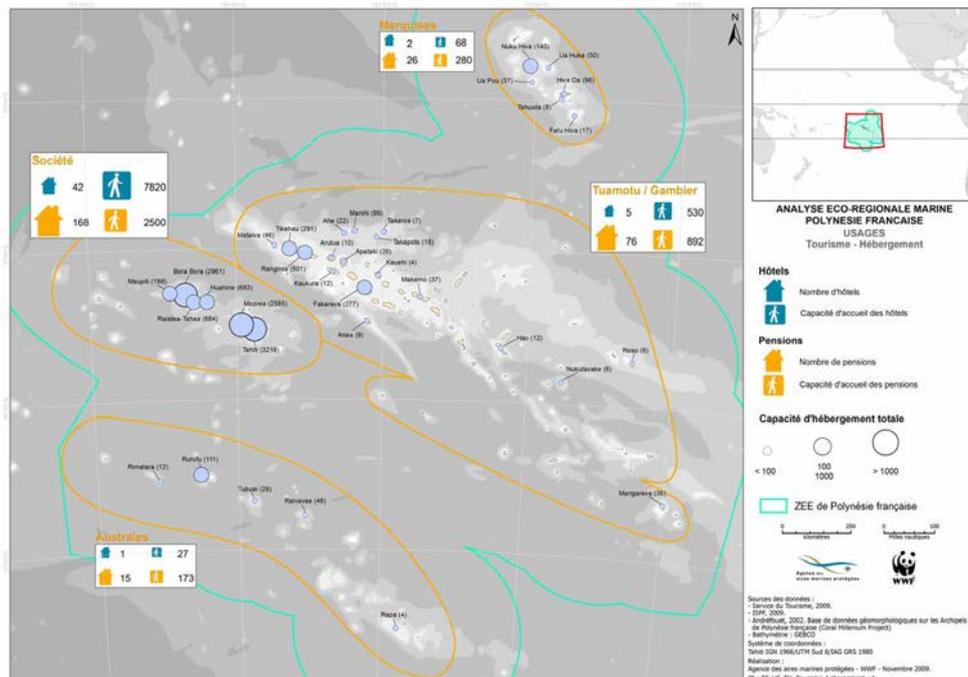


Figure 4 – Capacité d'hébergement dans les îles de Polynésie (AER, 2010)

2.4.2. Transports maritimes et croisières

Les cartes des routes maritimes montrent les trajets et la fréquence d'utilisation des routes entre les Îles de la Société et les Tuamotu d'une part et les Australes d'autre part, ainsi qu'au sein de ces archipels. Il s'agit principalement de cargos d'approvisionnement des îles dont quelques-uns prennent aussi des passagers et croisiéristes à leur bord (ex : l'Aranui III entre Tahiti et les Marquises).

Le secteur de Kaukura connaît une fréquentation relative surtout liée aux rotations effectuées depuis Tahiti vers la commune de Arutua. Plus à l'est, l'île de Fakarava, est aussi desservie directement 17 fois par an par le Mareva Nui (1 250 tonnes d'emport et 12 passagers) et 22 fois par an par le St Xavier Maris Stella III (1 150 tonnes et 12 passagers). Egalement, le Dory effectue des rotations vers Fakarava à l'est de Niau et l'atoll de Kaukura au nord-ouest (50 fois par an, 500 tonnes et 12 passagers), et le Koura Orall et le Cobia 2 qui croisent au large de Niau desservent Fakarava 12 fois par an.

Les routes des paquebots battant pavillon étranger et qui accostent à Papeete et parfois dans certaines îles comme Bora-Bora sont d'itinéraires variés et irréguliers ne pouvant ainsi être figurés sur une carte.

Nous n'avons pas d'information relative à la circulation des cargos

dans le secteur de Kaukura. En général, les Tuamotu sont évités en raison des difficultés de navigation dans cette zone.

3. Localisation des projets de classement environnementaux

La Polynésie française compte 32 espaces naturels protégés et/ou gérés, répartis dans 15 îles des archipels de la Société, des Tuamotu et des Marquises. Parmi ceux-ci, il existe différentes réserves marines ou terrestres, et des projets variés à des stades d'avancement divers, qui peuvent avoir un impact sur l'exploration et l'exploitation des ressources minérales en eaux profondes et inversement. Il importe de les décrire et de discuter les craintes et les attentes des acteurs qui en sont les porteurs.

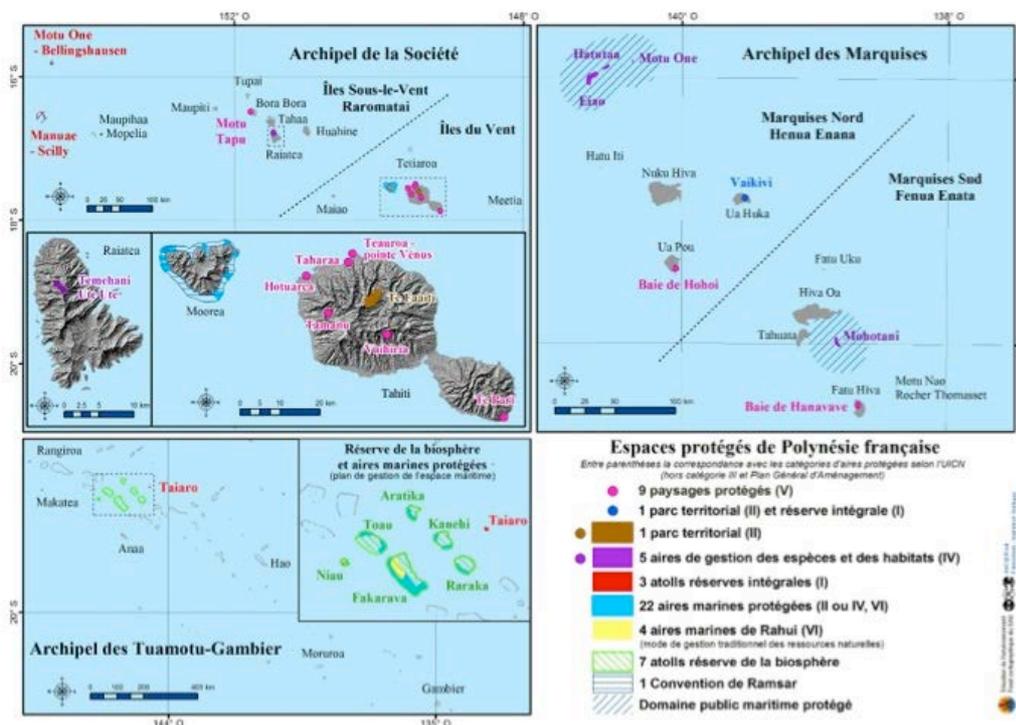


Figure 5 – Espaces protégés de Polynésie française. Source : <http://www.environnement.pf/les-espaces-naturels-protéges-et-geres-0> (consulté le 2 septembre 2015)

De plus, différentes espèces sont également protégées et réparties en catégories A et B selon le niveau de protection, dans le respect des réglementations internationales². Concernant les pélagiques, il s'agit en particulier en catégorie A :

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire
FAUNE ICHTYOLOGIQUE MARINE		
<i>Manta sp.</i>	Mobulidae	Raie manta , fafa piti
REPTILES MARINS		
<i>Caretta caretta</i>	Cheloniidae	Tortue caouanne
<i>Dermochelys coriacea</i>	Dermochelyidae	Tortue luth
<i>Eretmochelys imbricata</i>	Cheloniidae	Tortue imbriquée
<i>Lepidochelys olivacea</i>	Cheloniidae	Tortue olivâtre

En catégorie B, sont concernés :

- des requins (ou tous les animaux qui appartiennent à la sous-classe des Elasmobranches, à l'exception des raies) ;
- des mammifères marins (dont les dauphins et les baleines) ;
- de la tortue verte ou "honu" ou "tifai" (*Chelonia mydas*)

La protection de ces espèces marines présentes en haute mer ou en eau profonde implique des craintes quant à l'exploitation des ressources minérales en eaux profondes dans la mesure où nous avons peu de connaissances scientifiques concernant d'une part, le cycle biologique de certaines de ces espèces et d'autre part concernant l'impact réel d'une exploitation sur ces espèces.

3.1. Marquises

Depuis quelques années les élus locaux marquisiens réunis au sein de la communauté de communes des Marquises, ont souhaité la création d'une grande AMP entourant les Marquises. Fin 2013, le gouvernement de la Polynésie française a également annoncé sa volonté de soutenir cette initiative aux Marquises sur l'ensemble de sa surface maritime (700 000 km²). Les objectifs du projet sont d'assurer la protection des patrimoines naturel et culturel et d'accompagner le développement durable

² Les éléments sont issus de la Direction de l'Environnement de la Polynésie française. Site web consulté le 2 septembre 2015.

des Marquises. Plusieurs réunions thématiques se sont tenues au cours de l'année 2015, réunissant de nombreux acteurs et les six comités de gestion. Ces consultations ont permis l'élaboration d'une carte de macro-zonage avec des objectifs de protection et de valorisation de chaque zone identifiée.

Dans la perspective d'une exploration des ressources minérales en eaux profondes, les objectifs définis pour la zone maritime des Marquises seraient incompatibles avec une exploitation minière ou nécessiteraient de nouvelles consultations des populations et des comités de gestion ainsi qu'une redéfinition des zones possibles rendant les activités compatibles.

3.2. Tuamotu

Il existe une aire marine protégée dans la commune de Fakarava au Tuamotu. Cette commune est originale dans la mesure où elle réunit 7 atolls, dont 6 habités (Fakarava, Niau, Aratika, Raraka, Kauehi, Toau) réunis sous le label Unesco « L'homme et la Biosphère ». L'obtention de ce label a nécessité une démarche combinant participation de la population et protection de la biodiversité exceptionnelle terrestre et marine de cette commune. Des plans de gestion sont en cours d'élaboration et les activités en vigueur et permises dans les espaces protégés sont régulièrement évaluées dans la mesure où la labellisation internationale est renégociée tous les 10 ans. Depuis plus d'un an, les 6 comités de gestion de la réserve de biosphère de Fakarava envisagent et discutent de l'extension de la réserve non plus aux seuls lagons des atolls de la commune mais à un cordon qui relierait tous les atolls entre eux, soit une surface sous protection d'environ 3 000 km². Dans ce périmètre, toute activité destructrice de la biodiversité et des paysages associés serait interdite sous peine de perdre la labellisation.

En ce qui concerne les ressources minières en eaux profondes, il convient de distinguer le cas de l'exploration de celui de l'exploitation.

Dans la mesure où la phase exploratrice apporterait de nouvelles connaissances en matière de biodiversité en eaux profondes, celle-ci pourrait être favorablement accueillie y compris aux abords de la biosphère de Fakarava. En revanche, il semble que l'exploitation des ressources minérales en eaux profondes impliquerait la perte irrémédiable du label Unesco auquel les Paumotu paraissent attachés. Depuis une décennie, avec la crise de l'industrie perlière, ce label a permis de faire de Fakarava une destination touristique attractive, bien qu'on ne puisse pas en indiquer l'importance économique.

En résumé, il nous semble qu'une activité minière au sein de la réserve est à proscrire. Aux abords de la réserve, la question de l'impact de l'exploitation minière se posera avec acuité et il n'est pas certain que des

mesures compensatrices soient suffisantes pour faire accepter l'idée d'une activité minière dans la zone de la commune de Fakarava.

Enfin, s'agissant de la pêche palangrière, les zones de prospection minière au sud des Tuamotu peuvent correspondre avec les zones de pêches actuelles. Comme dans le cas des Marquises, il paraît raisonnable de penser que toute activité exploratoire et d'exploitation minière durable dans cette zone implique une démarche de consultation des acteurs, voire la mise en place d'une procédure de consentement préalable libre et éclairé (voir contribution II-4). Une telle dynamique peut aboutir soit à un partage du territoire traduit dans le cadre d'un zonage de l'espace maritime ou à des mesures compensatoires possibles en raison des pertes de production de la flotte hauturière.

Dans tous les cas, l'espace maritime Paumotu concerne de si nombreux enjeux et acteurs qu'une dynamique de consultation et de participation des populations paraît plus que nécessaire, d'autant que sous la pression des associations culturelles et d'environnement, elle est déjà à l'œuvre dans le cadre d'autres politiques publiques.

3.3. Australes

L'archipel des îles Australes comprend 5 îles habitées (Rurutu, Rimatara, Raivavae, Tupuai et Rapa) et deux îles ou îlots non habités, Marotiri au sud de Rapa et l'îlot Maria entre Rurutu et Rimatara.

La haute mer qui entoure cet archipel représente environ 1 million de km².

L'île de Rapa, tardivement rattachée à l'île de Tubuai par un simple arrêté publié au journal officiel de Tahiti en 1887, selon des termes juridiques discutables (Bambridge et Ghasarian 2004, Bambridge 2009) dispose d'un conseil de Toohitu, de sages, qui, depuis plus de 20 ans a ré-institué une gestion traditionnelle de son espace foncier terrestre et de son espace marin proche –le rahui. L'association coutumière et familiale "Oparo paruru ia Rapa" (Oparo ancien nom de Rapa), via sa présidente Roti Make, rappelle que depuis toujours et par les documents enregistrés en date du 8 février de l'an 2000, la nation Rapa exerce sa pleine propriété des îles de Rapa et de Morotiri à travers le droit international des premiers occupants. Il s'agit du droit, conféré pour toujours à tous les ayants droits, de disposer de leur droit inaliénable de propriété coutumière concernant terre, air, mer, incluant les limites de ses eaux maritimes (Bambridge et Ghasarian 2004). Dans l'hypothèse d'un intérêt avéré pour une exploration minière en eaux profondes dans la zone Rapa, il est indispensable, dans le cadre du consentement préalable, libre et éclairé (voir recommandations de l'axe IV),

d'obtenir l'autorisation préalable des autorités coutumières et des ayants droits de souches rapa.

Depuis 2014, la Polynésie française a également missionné une fondation environnementale américaine, « the PEW Charitable Trust », de réaliser un inventaire de la richesse de la biodiversité marines en mer ainsi que des activités associées dans la perspective de la mise en place d'une grande aire marine protégée de près d'un million de km² (Salvat *et al.*, 2015). Le projet de la Fondation PEW est de favoriser la mise en place d'une grande aire marine intégrale (« *no take area* ») où seules les activités de pêches locales seraient autorisées dans un rayon de 20 milles autour de chaque île. Le zonage proposé par la Fondation PEW reste minimal puisqu'il consiste en une zone restreinte d'activités autorisées et un immense espace placé sous un régime de protection intégrale.

Si, à l'initiative de la Fondation PEW, ont été organisées des consultations locales, notamment auprès des habitants et des communes des Australes, aucune consultation plus large, réunissant d'autres acteurs institutionnels (Etat et Pays) ou sectoriels (notamment de la pêche palangrière), n'a débuté. Il n'existe pas non plus, à l'instar de la présente étude et du projet d'AMP des Marquises, de comité de pilotage associant l'Etat et la Polynésie française.

4. Dispositifs de politique publique et importance de l'enjeu environnemental

Comme le laissent clairement entendre les conclusions de la question relative aux représentations polynésiennes de la ressource et du milieu, on observe sans surprise que la question de l'exploration des ressources minérales profondes s'inscrit dans un contexte marqué par le poids de l'enjeu environnemental. Cet enjeu est général mais il est différencié spatialement selon les spécificités culturelles et écologiques des archipels polynésiens, leur vulnérabilité, et selon les dispositifs environnementalistes existant.

La question environnementale renvoie plus largement aux orientations et organes des politiques publiques polynésiennes.

4.1. Les administrations en charge de la question environnementale

4.1.1 Les directions de la Polynésie française

Il existe une Direction de l'environnement (DIREN) qui a une compétence générale sur les questions environnementales, et plusieurs directions et services en charge d'aspects sectoriels, dont la Direction des ressources marines et minières (DRMM) et le Service de l'aménagement. Leurs champs d'intervention s'inscrivent dans le cadre de 4 codifications réglementaires : le code de l'environnement, des pêches, de l'aménagement et des mines.

La DIREN est à l'origine de plusieurs classements en sites protégés à Teahupoo (Taiarapu ouest, Tahiti), Fakarava, Raiatea (Iles-sous-le-vent) et aux Marquises.

La DRMM dispose également d'un outil réglementaire, la « zone de pêche réglementée » qui lui permet de protéger et valoriser des ressources marines dans différentes îles et atolls de la Polynésie française.

Enfin, les plans généraux d'aménagement maritime (PGAM) et les plans généraux de l'espace maritime (PGEM) sont des outils réglementaires gérés par le service de l'aménagement. Le lagon de l'île de Moorea, notamment, fait l'objet d'un classement de type PGEM, géré par un comité de gestion comprenant les acteurs de la commune, des représentants de la commune et des services de la Polynésie française.

4.1.2 La place des communes dans les dispositifs politico-administratifs locaux

En principe, les communes n'ont pas de compétences environnementales, autre que la gestion des déchets et des eaux usées. Elles sont pourtant des acteurs essentiels dans le cadre des politiques publiques.

En effet, le dispositif réglementaire polynésien prévoit soit que les communes soient systématiquement consultées, soit que l'origine d'un classement (en PGEM ou dans le cadre du code de l'environnement) soit un vœu exprimé par une commune.

En outre, compte tenu de l'extrême dispersion des communes polynésiennes, elles demeurent parfois les seules représentantes des administrations publiques, dans certaines îles ou dans de nombreux atolls. La commune polynésienne se retrouve parfois comme un pêcheur pris dans un maelstrom (au sens de Elias, 1993), vis à vis de sa population, car elle doit informer, parfois lui rendre des comptes, à propos de politiques

publiques qu'elle ne maîtrise pas et qui ne relèvent pas de sa compétence (voir Bambridge *et al.* 2015 b).

4.1.3 Les agences d'Etat

Compte tenu de la répartition des compétences entre l'Etat et la Polynésie française, les questions environnementales relèvent de celles du Pays. Il existe cependant deux agences d'Etat, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et l'Agence des aires marines protégées (AAMP) qui disposent de représentations en Polynésie française. Ces agences ne se substituent pas aux services et directions de la Polynésie française, mais fournissent une assistance technique dans le cadre des politiques publiques élaborées par la collectivité territoriale.

L'Agence des AMP est particulièrement active dans le cadre de la mise en place d'une grande AMP aux Marquises car elle a coordonné et souvent financé les études relatives à cette AMP. Elle a participé à la concertation avec les populations locales dans ce cadre comme dans celui du dossier de préparation au classement de l'archipel des Marquises comme patrimoine mondial culturel et naturel, terrestre et marin.

En ce qui concerne l'ADEME, ses principales actions sont relatives aux économies d'énergie et à l'accompagnement d'un plan climat énergie en Polynésie française. L'ADEME est un partenaire important dans l'élaboration des politiques publiques relatives à l'énergie et au climat.

4.2. Le dispositif de recherche en Polynésie française

Le dispositif de recherche en Polynésie française est très important. Il se caractérise par la multipolarité de « ses » infrastructures d'enseignement supérieur et de recherche, chaque organisme implanté sur le territoire ayant développé une plate-forme adaptée à ses thématiques de recherche ou secteurs de compétences. Sont présents en Polynésie :

- Une université : l'Université de la Polynésie française (UPF);
- Des établissements d'enseignement public à caractère scientifique, culturel et professionnel que sont l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE) et le Centre National des Arts et Métiers (géré par l'UPF depuis 2013);
- Des organismes de recherche avec les 2 EPST que sont le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et l'Institut de la Recherche pour le Développement (IRD) ; 4 EPIC : l'Institut français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) ; l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN); le Commissariat à l'Energie atomique et aux Energies Alternatives

- (CEA) – Laboratoire de Géodésie (LDG) et l’Institut Louis Malardé (ILM, de personnalité morale polynésienne) ainsi que 2 EPA : Météo France et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) ;
- Une antenne de l’Université de Californie : la station « Richard B. Gump ».

Malgré leur dynamisme, aucune de ces institutions ne possède les ressources humaines, scientifiques et matérielles leur permettant de réaliser leurs projets de façon autonome. D’où, leur regroupement pour mener des programmes en collaboration. Ainsi, il convient de relever les coopérations successives mises en place entre ces différents acteurs qui ont permis de nombreuses réalisations autour de la recherche et de sa valorisation :

Au niveau « territorial » :

- L’unité de service et de recherche CNRS-EPHE-UPVD « Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l’Environnement (CRIOBE) », USR "CRIOBE" sous tutelle du CNRS, de l'EPHE et de l'UPVD ;
- La fédération de l’UPF, de l’ILM et de l’IRD au sein du Centre polynésien de Recherche et de Valorisation de la Biodiversité Insulaire (CPRBI) ;
- L’unité mixte de recherche « Ecosystèmes Insulaires Océaniques » : UMR Ecosystèmes Insulaires Océaniques (EIO) qui rassemble autour de l’UPF, l’IRD, l’Ifremer et l’ILM ;

Au niveau régional :

- le Groupement d’Intérêt scientifique (GIS) Grand Observatoire de l’environnement et de la biodiversité terrestre et marine du Pacifique Sud (GOPS) réunissant 11 institutions de recherche et universités françaises, dont 2 de statut néo-calédonien et polynésien ;
- l’Institut des Récifs Coralliens du Pacifique de l'EPHE (IRCP) ;
- le Service d’Observation "CORAIL" de l'INSU;
- le réseau de coopération bilatérale Pacifique-Europe PACE-NET coordonné par l’IRD et incluant plusieurs institutions de recherche de la région ;

Au niveau interrégional français et international

- le LABEX CORAIL porté par l’UMR CNRS-EPHE ;
- le Groupement de Recherche International sur les récifs coralliens (GDRI) porté par le CNRS.

L'adéquation des principaux champs scientifiques et des démarches d'innovation avec les entreprises polynésiennes repose sur les actions de deux principales entités : d'une part, une association labellisée « grappe d'entreprises » en 2010 : le pôle d'innovation polynésien « Tahiti Fa'ahotu », qui a établi des conventions de partenariat avec le Pôle mer Bretagne, le Pôle mer PACA et la Cosmetic Valley ; d'autre part, le cluster maritime polynésien, branche du cluster maritime national actif dans le domaine de l'innovation en matière de ressources marines en eaux profondes.

4.3. Le Conseil économique, social et culturel

Le Conseil économique, social et culturel de la Polynésie française est la troisième institution du Pays. Il est composé d'acteurs de la société civile (employeurs, salariés et vie association et culturelle). Bien que cette institution n'émette que des avis consultatifs, elle a souvent un positionnement critique vis-à-vis du gouvernement de la Polynésie française en ce qui concerne les textes de loi qui lui sont soumis. Disposant également du pouvoir d'auto-saisine, le CESC s'est régulièrement intéressé aux grandes questions de politique publique comme l'économie marine, les programmes socio-économiques structurants, la formation, la santé et l'éducation. Les rapports émis par le CESC sont en général de grande qualité tant en ce qui concerne le contenu de ses travaux qu'en ce qui concerne les questions abordées.

5. Société civile, opinion publique et information

La structuration de la société civile polynésienne est marquée par le renouveau culturel que le pays connaît depuis plusieurs années (Saura, 2009). La montée du souci environnemental s'inscrit pour partie dans ce cadre, au sens où les préoccupations écologiques ne sont pas séparées des enjeux culturels.

Cela est vrai au niveau des associations polynésiennes, mais pas (ou beaucoup moins) concernant les ONG environnementalistes internationales (PEW, IUCN) qui véhiculent un discours écologique qui se veut scientifiquement informé. L'Unesco quant à elle propose des modalités d'inscription au patrimoine mondial de l'humanité qui peuvent être culturelles (cf. le dossier de Raiatea), naturelles ou mixtes (Marquises).

Les acteurs religieux, en particulier les Eglises protestantes et catholiques s'expriment dans le cadre de l'espace public sur des sujets généraux intéressants les populations polynésiennes. L'Église protestante Maohi s'est ainsi, depuis des décennies, clairement prononcée contre les essais nucléaires, et s'inscrit plus récemment dans une doctrine morale de la théorie de la libération où le Peuple Maohi doit être libéré. L'Église catholique, généralement plus pro-français, est également préoccupée par les conséquences sanitaires des essais nucléaires, comme en témoigne la création récente d'une association demandant de faire la lumière sur cette question. Les questions minières en eau profonde, si elles devaient prendre de l'ampleur en Polynésie française, susciteront sans doute l'intérêt des églises dominantes, généralement prudentes et attentives aux conséquences sociales, morales et économiques des activités sur les populations polynésiennes.

Les médias sont peu nombreux (Deux chaînes de télévision, Polynésie première et TNTV, des chaînes nationales et internationales via le réseau satellitaire et câblé), deux quotidiens, plusieurs magazines d'information hebdomadaires ou mensuels. Si les médias sont des relais essentiels de l'information, il faut aussi tenir compte des réseaux sociaux qui s'expriment au travers d'internet, particulièrement actifs en Polynésie française. D'une manière générale, les médias d'information sont très satisfaisants et permettent un regard critique des populations sur le monde qui les entoure. Cela étant, les deux quotidiens existants ne sont pas reconnus pour leur ton critique vis à vis des pouvoirs existants, depuis la disparition des Nouvelles de Tahiti.

6. Bibliographie

- AER, 2010 – *Analyse éco-régionale marine de Polynésie française, Synthèse des connaissances Usages et Pressions.*
- BAMBRIDGE T., DOUMENGE J. P., BRUNO O., SIMONIN J., WOLTON D. (Eds), 2002. *La France et les Outre-Mers. L'enjeu multiculturel*, CNRS Editions, Hermès n° 32-33, 634 p.
- BAMBRIDGE T., GHASARIAN CH., 2002. « Juridictions françaises et droit coutumier à Rapa. Les enjeux d'une traduction », *Droit et Cultures*, n°44, pp. 153-182.
- BAMBRIDGE T., 2009. *La terre dans l'archipel des îles Australes. Etude du pluralisme juridique et culturel en matière foncière.* Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et Aux Vents des îles, 412 p.
- BAMBRIDGE T., 2014. "Le foncier terrestre et marin en Polynésie française. L'étude de cas de Teahupoo". *Land Tenure Journal*, Vol. 2, n°12, pp 118-143, FAO, Rome Italie.
- BAMBRIDGE T., RIGO B, HOPUU T. 2015 a. « Vaihiria : entre développement durable et éthique de la responsabilité », in S. Blaise, C. David et V. David (dir.), (2015), *Le Développement durable en Océanie : vers une éthique nouvelle ?* dans la collection "Espace et développement durable. Presses Universitaires de Provence et Presses Universitaires d'Aix-Marseille
- BAMBRIDGE T., TORRENTE F., IRIBARNE P., 2015 b. *La République, le Pays et le Tavana. Les politiques publiques à l'échelle communale en Polynésie française.* Editions de l'Agence française de développement, Paris, sous presse.
- BOUTILIER R., THOMSON I., *Establishing a Social Licence to Operate in Mining.* EduMine [Online course] 2009 Version: 03 November 2009 [cited 2012 January 26]; Available from: <http://www.edumine.com/xutility/html/menu.asp?category=xcourse&course=Xlicence>.
- DECOUDRAS J.-M., LAPLACE D., TESSON F., 2005, Makatea, atoll oublié des Tuamotu (Polynésie française) : de la friche industrielle au développement local par le tourisme, *Cahier d'Outre-Mer* 230 : 189-214.
- ELIAS N., 1993. *Engagement et distanciation.* Paris: Fayard.
- EYLES J., FRIED J., (2012). "'Technical Breaches' and 'Eroding Margins of Safety' - Rhetoric and Reality of the Nuclear Industry in Canada." *Risk Management* 14 (2): 126-151.
- FIRTH R., 1957. A Note on Descent Groups in Polynesia. *Man* 57 (1): 4-8.
- FIRTH R., 1965. *Essays on social organization and values.* University of London. London school of economics. Monograph on social anthropology n° 28. The Athlone Press.

- GHASARIAN C., BAMBRIDGE T., GESLIN P., 2004. « Le développement en question en Polynésie française », *Le Journal de la Société des Océanistes* [En ligne], n°119, Année 2004-2, pp. 211-222.
- LE MEUR, P.-Y., 2011. *Anthropologie politique de la gouvernance. Acteurs, ressources, dispositifs*. Sarrebruck : Editions universitaires européennes.
- SALVAT B., BAMBRIDGE T., TANRET D., PETIT J., 2015. Environnement marin des îles Australes. Editions PEW, l'Institut des Récifs Coralliens du Pacifique Sud, Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement.
- SAURA B., 2009. *Tahiti Ma'ohi. Culture, religion et nationalisme en Polynésie française*, Papeete, Au Vent des Iles.
- TORRENTE F., 2012. *Buveurs de mers, mangeurs de terres. Histoire des guerriers d'Anaa, archipel des Tuamotu*. Te Pito o te fenua, Papeete, 395p.

II-6. Dispositifs d'administration et de gouvernance existants ou nécessaires

T. BAMBRIDGE, C. DAVID, P.-Y. LE MEUR

Ce chapitre partira de l'état actuel de l'administration du secteur minier en Polynésie pour ensuite proposer des pistes de réflexions quant aux options possibles en la matière, si une activité minière sous-marine se développe dans le pays. L'état des lieux est relativement bref dans la mesure où l'essentiel reste à faire en termes juridiques et administratifs et que les questions précédentes ont déjà traité les questions juridiques ; c'est donc la dimension prospective qui va être au cœur de ce chapitre qui doit faire la synthèse des éléments de réflexions des questions précédentes portant sur les acteurs, la gouvernance et la participation.

Il s'agit d'imaginer les types de dispositifs juridico-administratifs qui pourraient permettre d'encadrer une activité minière sous-marine naissante. Pour ce faire nous regarderons les orientations prises par les pays du Pacifique, Tonga, Kiribati, Nouvelle-Calédonie, et en particulier les îles Cook voisines, qui ont montré un fort sens de l'anticipation en la matière.

La capacité d'anticipation est essentielle dans la mesure où il s'agit potentiellement d'un secteur d'activité de grande ampleur faisant entrer en jeu de très grosses firmes internationales. Le risque est grand pour l'administration polynésienne d'être dépassée par les capacités d'expertise (technique, économique, voire juridique) de ses interlocuteurs et par la dimension des enjeux (en particulier politiques et économiques). D'où l'importance de prévoir des garde-fous, d'anticiper avant même la première demande de permis d'exploration, en définissant une ligne de politique publique, en mettant en place des dispositifs administratifs et juridiques adaptés et en renforçant (ou créant) les compétences et l'expertise nécessaires.

L'indispensable travail d'anticipation inclut une réflexion sur le type d'organe de gouvernance adapté, et en particulier sur l'option d'un organe ou établissement indépendant (pour la délivrance des permis et les études d'impact social et environnemental par exemple), établissement qu'il est juridiquement possible de créer via une loi du pays.

Il est clair qu'il s'agit ici d'aller au-delà d'une réflexion limitée à l'administratif et l'organisationnel pour réfléchir plus largement en termes d'orientation de politique publique et de dispositif de gouvernance. Nous allons par conséquent commencer par une analyse des enjeux de gouvernance pour ensuite faire des propositions justifiées par cette analyse de la situation et des enjeux.

1. Un enjeu de gouvernance et de politique publique

1.1. Gérer les déséquilibres et les asymétries

Les risques de déséquilibre et de dépendance caractérisent la situation créée par un développement minier important dans un pays de taille limitée. La question de la dépendance possible à la rente minière a été traitée dans les contributions portant sur les scénarios économiques (voir contribution I-5) et la distribution de la rente (voir contribution I-6). Il s'agit ici de prendre en compte la configuration d'acteurs et d'enjeux créée par un développement minier dont on sait à quel point il peut être « contesté et ambigu » (Bebbington *et al.* 2008). Or cette configuration est marquée par des déséquilibres profonds et de divers ordres.

Premier point, le flux de ressources financières et matérielles véhiculé par un projet minier est considérable, potentiellement générateur de stratégies de captation diverses et actives. Ensuite, les technologies apportées par un projet minier sont souvent importées et non maîtrisées par les instances locales et cette maîtrise (ou non maîtrise) constitue un second facteur de déséquilibre. Enfin, l'afflux de ressources généré par un projet minier s'accompagne souvent d'un relatif vide normatif et donc d'une forte incertitude relative aux « règles du jeu ». Le déséquilibre réside dans une asymétrie d'information quant aux normes en particulier internationales. Il est accentué par la stratégie d'autorégulation du secteur minier à l'échelon global mais aussi (de manière contradictoire en apparence) par le fait que les normes de type NI 43-101 ou équivalentes ne s'appliquent qu'aux étapes 2 à 5 du projet minier (faisabilité) mais pas aux phases de l'exploitation. La

communication autour de la phase d'exploitation relève d'autres pratiques relevant d'obligations légales de publicité des comptes (variables en fonction de l'Etat de domiciliation de l'entreprise minière, de son statut juridique, de ses modes de financement, et du lieu de ses activités) et de formes d'engagement volontaire de l'entreprise en matière de responsabilité sociale et environnementale et de rapportage de ses performances.

Concernant les enjeux technologiques et normatifs, il s'agit pour le pays d'accueil de gros projets de développement de mobiliser et développer des compétences techniques, administratives, juridiques de manière à être en capacité de négocier avec les différents départements d'une firme minière (voir contribution III-5).

Le rétablissement d'un certain équilibre dans les relations passe par une stratégie d'anticipation : les compétences nécessaires doivent être construites en amont de tout projet pour que les administrations concernées soient en « ordre de marche » quand une demande de permis est déposée.

1.2. Favoriser la transparence et régler les conflits d'intérêts

Le déséquilibre créé par l'afflux de ressources financières et matérielles (le premier des trois notés dans la section précédente), source de stratégies de captation de rente, nécessite également un traitement adapté. La question des compétences est essentielle, mais son traitement ne suffit pas.

La politique d'anticipation préconisée plus haut doit s'accompagner d'une politique de transparence. La diffusion de l'information (sous une forme claire et accessible) et la consultation/participation des populations doivent être organisées très tôt (voir contribution II-4) pour éviter de mettre les personnes concernées devant un « fait accompli » ou perçu comme tel. Cette nécessaire politique de transparence doit s'attaquer à tous les penchants à l'opacité générateurs d'une suspicion (Larmour, 2012) et d'une défiance très difficiles à contrer lorsqu'elles sont installées. Or en Polynésie française, cette tendance s'est fortement implantée, en lien avec la politique du secret qui a entouré la politique nucléaire militaire française (Mawyer, à paraître). L'héritage est lourd et il y a un très gros travail à faire en la matière.

La transparence est aussi nécessaire dans l'identification et le règlement des conflits d'intérêts. Il faut être extrêmement attentif à cet enjeu car les biais qu'il peut impliquer sont forts et difficiles à redresser, incluant diverses formes de corruption, qui peuvent s'ancrer dans des pratiques culturelles admises ou dans une culture de la corruption spécifique (voir Larmour, 2012 ; Blundo et Olivier de Sardan, 2006). Il est très dommage à cet égard que les études régionales dans ce domaine aient laissé de côté les

territoires français dans le Pacifique, par exemple celle sur les « systèmes d'intégrité nationale » des petits États insulaires du Pacifique (Larmour et Barcham, 2006) et la série d'études menées par Transparency International.

Les conflits d'intérêt peuvent être très divers et il ne s'agit pas de les lister ici. On peut identifier de grandes catégories basées sur des conflits entre fonctions, comme entre évaluateur et opérateur, ou entre régulateur et actionnaire. La résolution de ces conflits fonctionnels passe par la conception, la mise en œuvre et le suivi de tout un ensemble de procédures administratives, de découpages sectoriels, de recours judiciaires, et *in fine*, de choix politiques combinés à des mécanismes de responsabilité (*accountability*).

Les expériences régionales pourront être riches d'enseignement, comme par exemple les dispositions légales promulguées à Tonga en 2014 pour éviter les conflits d'intérêt chez les fonctionnaires.

C'est sur la base des enjeux de gouvernance brièvement recensés dans cette section, en particulier de l'analyse des conflits d'intérêts possibles, et aussi des expériences régionales qu'il sera possible de fonder et de justifier des choix raisonnés en matière de dispositif administratif. Il faut auparavant procéder un rapide état de la situation en la matière.

2. Services de l'administration de la Polynésie française : carence administrative et juridique

Les moyens actuels de la Polynésie française pour la mise en œuvre d'une réglementation et pour accueillir une filière d'exploitation minière sous-marine, sont extrêmement limités.

Aujourd'hui le code des mines de la Polynésie française est très rudimentaire. Les dispositions relatives à l'octroi d'une licence d'exploration ou d'exploitation sont sommaires. Le code ne prévoit pas de dispositif fiscal approprié. Les règles en matière environnementale sont également très limitées et devraient en partie être partagées avec le code de l'environnement qui ne prévoit aucun dispositif concernant les ressources minérales en eaux profondes. Enfin, il n'existe aujourd'hui aucune réglementation spécifique en ce qui concerne l'exploration et l'exploitation des ressources minérales en eaux profondes.

Auparavant rattaché au service de l'énergie et aujourd'hui rattaché à la direction des ressources marines et minières (DRMM), le « service des

mines » ne compte qu'un cadre de rang A qui a également d'autres tâches relatives aux ressources marines (pêches). L'ensemble de la DRMM ne compte qu'un juriste qui n'est pas un spécialiste des mines. Conscient des manques en la matière, la Polynésie française souhaite se rapprocher du BRGM pour obtenir une assistance technique à l'élaboration de son code minier en tenant compte des avancées de connaissances et des pratiques dans le domaine.

3. Quels options et critères de régulation ?

Dans ce contexte, les éléments qui vont suivre sont essentiellement prospectifs et se fondent sur les analyses réalisées des dispositifs, eux-mêmes récents dans le domaine des ressources minérales en eau profonde. Certains aspects sont développés de manière détaillée dans des contributions spécifiques (voir contributions II-3 pour les dimensions juridiques, II-4 pour les enjeux de participation et IV-4 pour les recommandations socio-environnementales). Il s'agit ici de situer les facteurs à prendre en compte dans l'élaboration d'un dispositif de gouvernance des ressources minérales sous-marines.

Pour que la Polynésie française bénéficie de la richesse de ses ressources minérales des fonds marins, si elle était avérée, elle devra attirer des investissements dans les domaines de l'exploration et de l'exploitation de ces ressources. A l'instar de pays insulaires comme les îles Cook, elle devra créer un environnement propice pour les investisseurs s'inspirant des meilleures pratiques internationales et de dispositions réglementaires modernes, tout en veillant à se garder des marges de manœuvre et à limiter les impacts négatifs au plan social et environnemental.

La Polynésie française devra se doter d'un cadre réglementaire sur les minéraux des fonds marins (cf. cadre législatif des îles Cook depuis 2009), mais une des questions à résoudre concernera le positionnement de ce cadre réglementaire et des dispositifs administratifs associés par rapport aux politiques minières, environnementales et de la mer. Pour schématiser, on a d'un côté l'option sectorielle (avec un cadre politico-juridique minier terrestre et marin), de l'autre l'option territoriale (avec par exemple une politique de la mer englobant la mine sous-marine, les questions environnementales lagonaires et océaniques, et la pêche).

Tenant compte des contextes décrits, la Polynésie française devra prendre la mesure que les enjeux d'une filière minière en eaux profondes impliquent.

3.1. Une consultation/participation de différents acteurs

Mis à part l'aspect réglementation (faut-il créer une autorité particulière chargée de réguler le secteur ?), un conseil consultatif des fonds marins pourrait être créé afin de représenter les intérêts de l'État, de la Polynésie française, de la société et des communautés locales dans la prise de décision concernant la gestion de certains aspects du secteur des minéraux des fonds marins, en particulier ceux qui relèvent de l'impact sur la biodiversité, sur l'économie locale, sur les risques de pollution.

Il y a en effet une reconnaissance croissante du rôle que jouent les dimensions sociales dans le monde minier. On ne peut certes pas exiger des sociétés minières qu'elles fonctionnent comme des organisations environnementales, mais les dimensions socio-environnementales sont un enjeu important pour l'industrie, le gouvernement et la société polynésienne qui n'oppose pas ontologiquement la nature de la culture.

L'organisation de la consultation/participation concerne aussi le partage des retombées financières. Elle pourrait s'inspirer du dispositif des *development forums* mis en place en Papouasie Nouvelle Guinée depuis les années 1990 (Filer, 2008 ; 2012) et qui fonctionnent comme des arènes de négociations des modalités et clés de répartition de la rente minière entre les différents échelons politico-administratifs et les populations locales (représentées en l'occurrence par les propriétaires fonciers).

Exemple des îles Cook

Aux îles Cook par exemple, l'Autorité des ressources minérales consacre une part importante de son énergie à aborder des considérations sociales et à « protéger le mode de vie des îles Cook » (<http://www.seabedmineralsauthority.gov.ck/social-impact>). Dans cette perspective, la participation du public est construite comme un outil de gestion des projets miniers et cela se reflète au travers des objectifs et de la composition du conseil consultatif associé à l'Autorité. Ce conseil a clairement pour mission d'être un lien entre le gouvernement et les communautés locales. Il est composé de différents acteurs de la société dont des chefs traditionnels, des acteurs de l'environnement et des représentants d'intérêts commerciaux. Sous l'égide de l'Autorité, il organise les consultations publiques dans les îles, il met à disposition du public les informations relatives aux minéraux des fonds marins par différents moyens (rencontres, site web, communiqué de presse, livret, brochures).

3.2. Un système de licences

Le principal outil de réglementation pour la gestion du secteur des minéraux des fonds marins est un système de licences normalisées en vertu

duquel les participants du secteur privé (sociétés minières des fonds marins) demanderont des licences pour être autorisés à effectuer des opérations de prospection, d'exploration et/ou d'exploitation des fonds marins, lesquelles stipuleront les obligations qui y sont associées. L'objectif du système de licences est de s'assurer que les droits miniers seront attribués seulement aux sociétés minières qui possèdent les moyens financiers nécessaires, l'expertise, l'expérience et la réputation pour mener à bien les activités d'exploration et d'exploitation minière des fonds marins.

Un système de licences normalisées permet d'envisager des opérations minières sur une base stable et prévisible et d'assurer l'égalité de traitement des investisseurs. Il améliore également la capacité des autorités gouvernementales à administrer le système efficacement et dans la transparence.

Le système de Licences aux îles Cook

Par exemple, aux îles Cook, il existe quatre types de licences d'exploitation minière des fonds marins disponibles pour répondre aux différentes phases de l'activité minière des fonds marins. Il s'agit des licences de prospection, d'exploration, de rétention, et d'exploitation.

Il est garanti au titulaire d'un permis des fonds marins la sécurité de ses droits, y compris le droit de passer de l'exploration à l'exploitation des minéraux, une fois la faisabilité commerciale de l'exploitation minière établie, en contrepartie de l'exécution satisfaisante d'engagements spécifiques requis aux titulaires de permis. Cette sécurité est garantie par l'Autorité des fonds marins qui enregistre les termes et les conditions de la licence.

L'Autorité est chargée de la procédure internationale d'appel d'offres pour la délivrance des permis d'exploration, sur la base des meilleures pratiques internationales. Le Secrétariat du Commonwealth fournit une assistance technique concernant la mise en œuvre de cette procédure.

3.3. Zone réservée

Aux îles Cook, l'Etat s'est réservé la possibilité d'exclure de l'exploitation minière une réserve d'une partie des minéraux des fonds marins à des fins stratégiques nationales. Cela peut permettre de concevoir des arrangements spécifiques avec les entreprises d'exploitation dans l'intérêt national supérieur des îles Cook. Cette option est partie intégrante du cadre législatif mis en place. Il s'apparente à la mise en réserve technique opérée par les provinces de Nouvelle-Calédonie s'agissant de zones à potentiel minier : l'objectif est de suspendre tout projet d'exploitation sur un espace donné pour une durée d'une quinzaine d'années, ce qui laisse le

temps d'élaborer une stratégie de développement adaptée et, pour les entreprises mineures, de proposer un programme d'opérations inscrit dans un terme suffisamment long pour inclure les opérations de réhabilitation post-extraction.

3.4. Gestion de l'environnement

Selon les nouveaux principes éthiques, les codes de bonne conduite et les normes les plus ambitieuses actuellement développées dans le secteur minier (notamment, ERS 2009, World Bank 2002, PDAC, Equator Principles 2011), l'objectif en matière de gestion de l'environnement de l'activité des minéraux des fonds marins est habituellement de parvenir à un équilibre socialement acceptable entre l'activité minière en eau profonde et l'environnement physique, écologique et humain, et de veiller à ce que les normes internationales reconnues dans les domaines de la santé, de la sécurité de l'exploitation minière et de la protection de l'environnement, soient observées par tous les participants dans le secteur minier.

Une des questions sensibles sera donc de minimiser les impacts d'une exploitation minière et de les rendre viables avec d'autres activités (pêche, protection de la biodiversité). Cela impliquera sans doute un schéma directeur de la ZEE Polynésienne ou à minima un zonage des espaces permettant à chaque secteur d'y exercer en minimisant les risques pour les autres activités.

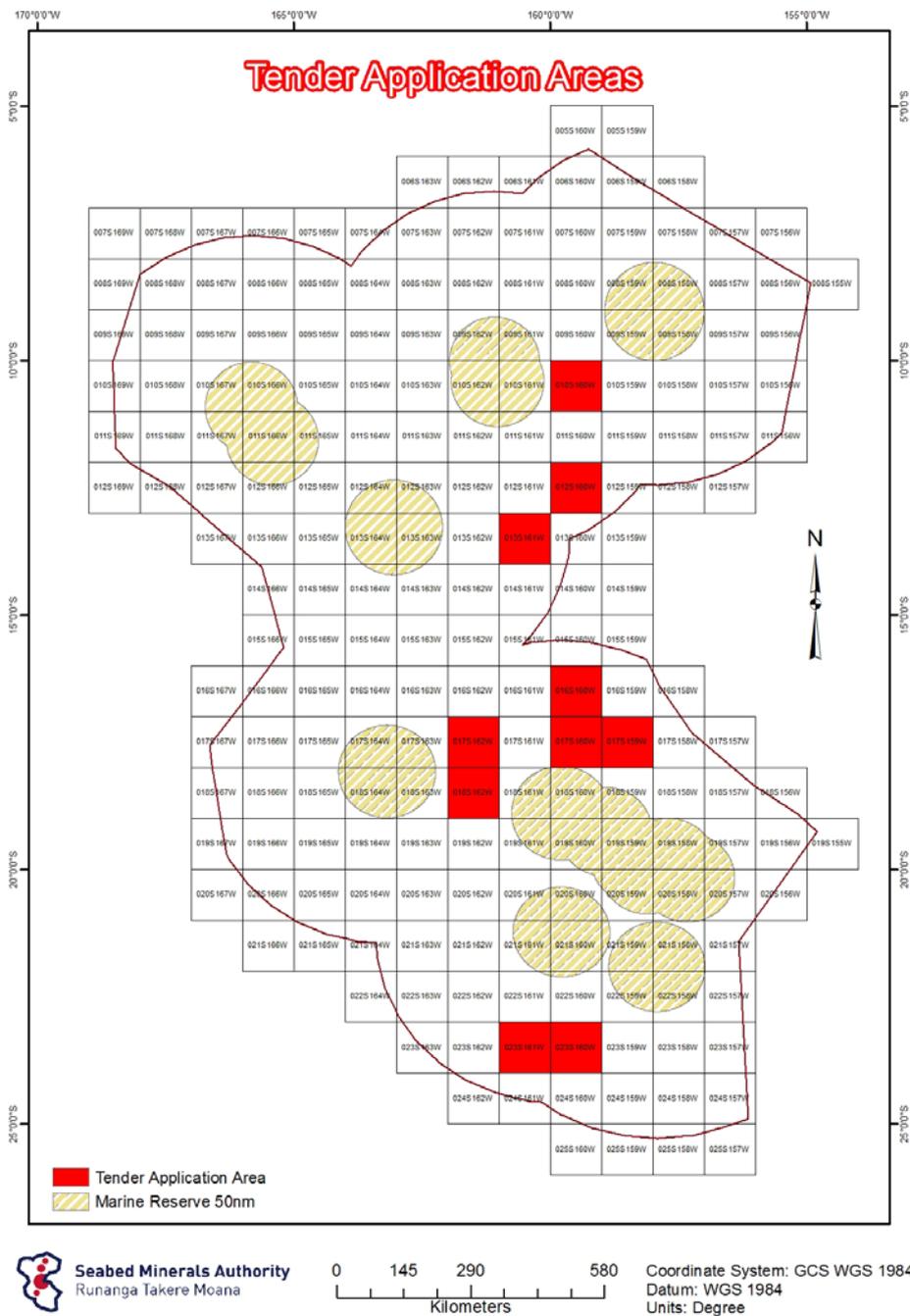


Figure 1 – Exemple de carte de la ZEE des îles Cook de zonage des espaces réservé à la prospection minière en eaux profondes (source : Seabed Minerals Authority, Cook islands)

Comme soulevé lors de nos enquêtes, la législation en matière minière devra être harmonisée avec la législation environnementale existante ou à venir, en particulier les dispositions de la réglementation relatives aux pollutions des mers et à la protection de la biodiversité marine.

Dans l'exemple des îles Cook, l'autorité créée travaille avec le Service national de l'environnement pour assurer que les normes internationales établies, les principes et les pratiques de protection et de gestion de l'environnement, sont appliquées au secteur des minéraux des fonds marins.

La gestion de l'environnement de l'activité des minéraux des fonds marins devra suivre les meilleures pratiques internationales qui s'inscrivent dans les principes proposés par l'UNCLOS. Trois obligations particulièrement importantes méritent d'être signalées : la mise en œuvre du principe de précaution (voir contribution II-2), les meilleures pratiques environnementales et l'évaluation et la gestion des incidents. Dans ce dernier cadre, et à l'instar de ce qui a été mis en place aux Iles Cook, il pourrait être prévu un système de caution laquelle serait versée au moment de l'attribution du permis d'exploitation.

4. Réflexion sur une autorité indépendante

La réflexion sur la possibilité de création d'une autorité indépendante doit porter sur plusieurs éléments : rôle, forme juridique, relations avec les pouvoirs publics.

À titre comparatif, les Iles Cook et le Royaume des Tonga ont mis en place une telle autorité dans le cadre de leur réglementation sur l'activité minière sous-marine. A bien y regarder, il apparaît en réalité qu'il s'agit plutôt d'agences, rattachées au Gouvernement, dont on peut certainement discuter la réelle autonomie par rapport aux pouvoirs publics. S'il ne semble pas pertinent de s'intéresser à la structure mise en place aux Tonga dans la mesure où l'autorité est le ministre en charge du secteur minier sous-marin lui-même, assisté d'un responsable exécutif et d'agents du ministère, l'autorité des fonds marins des Iles Cook paraît plus intéressante.

Souvent citée en référence, la Cook Island Seabed Minerals Authority, mise en place en juin 2012 par le Gouvernement des Iles Cook a pour objet de développer et mûrir la réflexion sur l'exploitation des fonds marins et de réguler le secteur afin d'optimiser les profits pouvant être tirés de cette activité par l'État et les populations, tout en tenant compte des considérations sociales et environnementales.

Dotée de la personnalité morale, cette autorité, qualifiée d'agence gouvernementale par le Seabed Mining Act de 2009, est dirigée par un commissaire, nommé par le ministre en charge du secteur, en concertation avec le Gouvernement. Son mandat est d'une durée de 3 ans maximum et

est renouvelable. Il est possible de mettre fin à son mandat dans des cas limitativement énumérés par la loi (incompétence, incapacité, négligence ou faute). Il est responsable de ses actions devant le ministre. Il est assisté de fonctionnaires et peut solliciter le concours de consultants extérieurs.

Cette autorité, souvent présentée comme exemplaire, s'avère néanmoins fragile eu égard à son autonomie. En effet, si la démarche de créer une autorité séparée des services ministériels va dans le bon sens, il ne semble pas à la lecture de la loi qui l'institue que le régime juridique de cette agence présente les garanties nécessaires à une véritable indépendance dans la prise de décision.

En effet, rien dans le statut du commissaire qui dirige cette autorité ne permet de lui assurer une véritable autonomie dans la prise de décision. La courte durée de son mandat (3 ans) et son caractère renouvelable vont par exemple à rebours des règles standards en la matière qui préconisent des mandats longs (6 à 9 ans) et non renouvelables. Par ailleurs, un autre élément généralement requis devrait résider dans l'inamovibilité du commissaire durant son mandat laquelle n'est pas assurée, les motifs permettant de mettre fin de manière anticipée à ses fonctions couvrant un spectre très large de possibilités du fait de leur imprécision. Enfin, l'autorité de nomination ne peut pas garantir l'indépendance du commissaire. La pratique en la matière consiste en une désignation par l'autorité législative à la majorité qualifiée alors qu'il est désigné par l'autorité exécutive aux Iles Cook.

Les mêmes réserves peuvent être formulées à l'égard de la composition du Conseil d'administration de l'agence, présidé par une personnalité là encore désignée par le ministre en charge du secteur minier sous-marin et composé du commissaire, de cinq membres représentant les communautés et d'autres membres dont le nombre n'est pas défini pour un mandat de 3 ans.

De même, l'autorité dispose de pouvoirs assez globalement mis sous tutelle du Gouvernement des Iles Cook même si, contrairement à la situation tongienne, la délivrance des permis n'est pas soumise à une validation par le Gouvernement.

On le voit, la mise en place d'une autorité véritablement indépendante nécessite de tenir compte d'un certain nombre d'éléments dont le statut juridique de l'autorité et de ses membres constitue un point central. Dès lors, le questionnement relatif à la création d'une autorité indépendante des fonds marins en Polynésie française impose de s'interroger sur la forme juridique de cette structure.

À cet égard, la forme juridique qui semble particulièrement appropriée est certainement l'autorité administrative indépendante, dans la mesure où l'objet d'une telle autorité est justement de déconnecter la prise

de décision du pouvoir exécutif dans des secteurs sensibles, notamment d'un point de vue économique. En effet, le propre de l'autorité administrative indépendante, qui constitue un organisme administratif pouvant être doté de la personnalité morale, est d'agir au nom de la collectivité et de disposer d'un réel pouvoir, y compris réglementaire le cas échéant, sans pour autant relever de l'autorité du Gouvernement.

Le Conseil d'État s'est prononcé sur la possibilité pour la Polynésie française de créer des autorités administratives indépendantes dans un avis n° 383075 du 17 novembre 2009. A l'occasion de cet avis, le Conseil d'État a précisé qu'« aucune considération d'ordre général, ni aucune règle supérieure dans la hiérarchie des normes, ne fait obstacle par elle-même à la création d'une autorité administrative indépendante dans un domaine de compétence de la Polynésie française ». Le Conseil d'État soulevait néanmoins un certain nombre de difficultés liées à la répartition des compétences entre les autorités de Polynésie française, rendant impraticable la création d'une telle autorité. En effet, le Conseil d'État considérait alors que « seule une modification de la loi organique permettant aux autorités de Polynésie française de doter une autorité distincte du conseil des ministres, du président de la Polynésie française et de l'assemblée de pouvoirs propres dans le domaine des télécommunications, ne procédant pas d'une délégation de l'exécutif, permettrait à ces autorités d'instituer une véritable autorité administrative indépendante dans le domaine des télécommunications ».

En conséquence, la loi organique statutaire de Polynésie française a été modifiée sur ce point en 2011 et il a été inséré un article 30-1 qui dispose que : « La Polynésie française peut, pour l'exercice de ses compétences, créer des autorités administratives indépendantes, pourvues ou non de la personnalité morale, aux fins d'exercer des missions de régulation dans le secteur économique.

L'acte prévu à l'article 140 dénommé "loi du pays" créant une autorité administrative indépendante en définit les garanties d'indépendance, d'expertise et de continuité.

Il peut lui attribuer, par dérogation aux dispositions des articles 64, 67, 89 à 92 et 95, un pouvoir réglementaire ainsi que les pouvoirs d'investigation, de contrôle, de recommandation, de règlement des différends et de sanction, strictement nécessaires à l'accomplissement de ses missions. »

On le voit, la possibilité de créer de telles autorités est limitée par le législateur organique au secteur économique. De ce point de vue, il nous semble que la création d'une autorité administrative indépendante dans le secteur des activités minières sous-marines pourrait être considérée comme relevant du secteur économique.

Si tel n'était pas le cas, il resterait la possibilité pour les autorités de la Polynésie française, comme cela était suggéré par le Conseil d'État dans son avis du 17 novembre 2009 de « créer une instance administrative dotée d'une compétence consultative ou de proposition, notamment dans les domaines relevant de la compétence du conseil des ministres de la Polynésie française. Elles pourraient également, dans les limites des délégations de pouvoir ou de signature autorisées par la loi organique, doter cette instance d'un pouvoir de contrôle des opérateurs et de vérification de conformité des matériels, installations, services et d'une compétence de médiation ».

Dans ce cadre, il serait encore loisible aux autorités de la Polynésie française de conférer une certaine autonomie à cette structure en prévoyant une composition susceptible de lui garantir une certaine indépendance (experts indépendants, magistrats, par exemple), un mandat de ses membres d'une durée importante et irrévocable et notamment la publication de ses avis et décisions.

Pour le Conseil d'État, « une telle solution, qui ne serait pas assimilable à la création d'une autorité administrative indépendante, au sens de la jurisprudence du Conseil constitutionnel, créerait néanmoins les conditions d'une plus grande neutralité des autorités publiques bénéfique aux acteurs et aux usagers du secteur » concerné.

La détermination de la forme juridique d'une telle instance reste ouverte. Elle peut aller de la simple instance ayant ni plus ni moins le statut d'un service du Gouvernement à une structure dotée de la personnalité morale. Si la première solution ne permet pas de conférer une autonomie décisionnelle ou réglementaire à l'instance ainsi créée, les possibilités offertes par la seconde option paraissent plus adéquates dans l'optique de la création d'une autorité indépendante.

Il devient dès lors nécessaire de jauger la capacité du droit positif français et surtout des règles de droit applicables en Polynésie française à répondre concrètement aux enjeux de l'activité minière sous-marine pour construire la légitimité de structures éventuellement pluri-acteurs. Cela implique un inventaire des structures proposées, celles-ci pouvant relever d'un statut de droit public ou de droit privé, chargées d'une mission de service public. La gestion de l'encadrement de l'activité minière sous-marine peut reposer sur un organisme, plus ou moins indépendant de l'administration de rattachement, qui est soit déjà existant, soit créé spécialement pour assumer cette tâche.

Parmi les structures les plus classiques, on peut ainsi identifier les établissements publics, les syndicats mixtes et les groupements d'intérêt public. La mise en place de tels organismes *ad hoc* de droit public présente l'intérêt de doter la structure de la personnalité juridique et morale ainsi que de l'autonomie financière.

4.1.L'établissement public

Un service public est organisé en établissement public lorsqu'il est considéré qu'une personnalité morale de droit public distincte de celle de la collectivité locale dont il relève est nécessaire. C'est une personne publique spécialement créée pour gérer un service public. L'établissement public dispose d'un patrimoine et d'un budget propres, peut passer des contrats et agir en justice, et jouit de la capacité de recevoir des dons et legs. Il dispose d'un organe délibérant (conseil d'administration) et d'une autorité exécutive (président du conseil d'administration ou directeur général). Le conseil d'administration incarne l'organe décisionnel, au sein duquel peuvent être représentés une pluralité d'acteurs comme l'Etat, les collectivités territoriales intéressées et leurs groupements, le personnel et les usagers, les associations de protection de l'environnement... Il est fréquent que la collectivité de rattachement choisisse elle-même, outre ses propres représentants, les représentants des usagers, les personnalités et l'autorité exécutive. L'autonomie des établissements publics doit ainsi être relativisée.

Leur dépendance est d'ailleurs confirmée par leur régime de tutelle. Leurs actes demeurent soumis au procédé de l'approbation préalable relevant de l'administration de rattachement. Le recours à l'établissement public répond aux motivations les plus variées : responsabilisation des décideurs, meilleure efficacité de l'activité, participation du personnel et des usagers.

La volonté d'adapter les instruments de gestion de l'environnement à des espaces donnés et particuliers conduit à instituer des agences organisées sous forme d'établissements publics autonomes permettant la participation des intéressés mais restant sous la tutelle du Ministère de l'Environnement. Ces agences, telle que l'Agence des aires marines protégées en métropole, peuvent être considérées comme une forme autonome de services extérieurs du Ministère de l'Environnement.

4.2.Le syndicat mixte

Autre possibilité, le syndicat mixte qui est là encore un établissement public. Cet organisme peut être constitué par accord entre des institutions d'utilité commune comme la Polynésie française, des établissements publics de coopération intercommunale, des communes, les chambres de commerce et d'industrie, d'agriculture, de métiers et d'autres établissements publics, en vue d'œuvres ou de services présentant une utilité pour chacune de ces personnes morales. Un tel établissement public ne peut donc accueillir des partenaires privés.

4.3. Les groupements d'intérêt public (GIP)

Créés depuis 1982 par diverses lois, les groupements d'intérêt public sont une quatrième catégorie de personnes publiques, distincte des trois premières que constituent l'Etat, les collectivités territoriales et les établissements publics.

Leur originalité majeure consiste à associer des personnes publiques et privées, ou des personnes publiques entre elles, à la réalisation d'une mission de service public. Il s'agit d'un cadre de coopération stable, d'un espace de partenariat public/privé doté de la personnalité morale et donc de l'autonomie juridique et financière. Le GIP apparaît comme fortement inspiré du groupement d'intérêt économique qui existait depuis 1967. Il a néanmoins été libéré des principaux inconvénients du GIE qui restreignaient très largement l'entrée des établissements publics dans ces structures de groupement, en raison notamment de l'exigence d'un objet économique. Le GIP présente l'avantage de concilier les principes fondamentaux régissant les personnes morales de droit public en matière de contrôle essentiellement, et la souplesse de gestion indispensable à une structure de coopération, notamment lorsque des personnes morales de droit privé en sont membres.

Dès lors qu'il y a nécessité d'instaurer une coopération stable entre plusieurs organismes chargés d'une mission de service public, la structure du GIP doit être choisie préférentiellement à d'autres statuts. Dès lors que l'organisation d'un service public nécessitant l'association de moyens privés et publics pour satisfaire l'intérêt général exige la personnalité morale, le recours au GIP permet, dans un cadre de coopération sécurisé, de se doter d'avantages certains par rapport au simple cadre conventionnel : autorité propre, budget propre, capacité à agir en justice.

Le GIP peut apparaître comme un juste milieu entre :

- le formalisme lourd des établissements publics ;
- le reproche de démembrement et de dérive de l'action publique lié au recours à l'association ;
- l'absence pénalisante de personnalité morale dans le cadre d'une convention plurilatérale.

La présence d'au moins une personne morale de droit public est indispensable à l'existence d'un GIP, quel qu'il soit. Si les personnes morales de droit public doivent posséder la majorité des voix, le GIP peut comporter des personnes morales de droit privé de toute nature (associations...).

4.4. Le groupement d'intérêt économique (GIE)

Enfin, une dernière structure envisageable est le groupement d'intérêt économique (GIE). Les GIE ont été créés par l'ordonnance du 23 septembre 1967. Ils permettent également la coopération entre personnes publiques et privées. Leur objet est de faciliter ou de développer l'activité économique de ses membres, sans toutefois réaliser des bénéfices sauf à titre accessoire. Les membres du GIE (au moins deux) sont des personnes physiques ou morales, de droit privé ou de droit public. Ils exercent une activité économique qui trouve son prolongement dans celle du GIE et est susceptible d'être développée par leur participation au GIE. Cette forme juridique ne paraît néanmoins pas adaptée.

D'une part, les règles relatives à la participation de personnes publiques dans un GIE restent incertaines. Il semble néanmoins établi que la participation d'une collectivité locale est soumise à autorisation par décret en Conseil d'État, au moins lorsque le GIE se livre à une activité lucrative.

D'autre part, les GIE étant le prolongement de l'activité économique de leurs membres, ceux-ci doivent eux-mêmes avoir une activité économique, c'est-à-dire une activité se rapportant à la production, à la distribution ou à la consommation de richesses. Les activités de service public industriel et commercial s'accordent donc parfaitement avec le but économique du GIE, peu importe qu'elles soient exercées en régie ou par le biais d'un établissement public. La doctrine considère notamment que le GIE puisse même « valoriser une activité purement administrative, à travers par exemple la réalisation de travaux d'études ou l'exploitation d'une découverte ».

La plasticité du GIE permet aux personnes publiques de pouvoir maîtriser un certain nombre de décisions, quelle que soit leur participation financière.

On le voit, l'éventail de possibilités pour mettre en place une structure *ad hoc* dédiée à la mine sous-marine est large et le choix de la structure dépendra du rôle que les autorités polynésiennes souhaiteront voir jouer à cette autorité.

5. Bibliographie

BEBBINGTON A., HINOJOSA L., HUMPHREYS BEBBINGTON D., BURNEO M.-L. and WARNAARS X., 2008 – Contention and Ambiguity: Mining and the Possibilities of Development, *Development and Change* 39 (6): 887-914.

BLUNDO G., OLIVIER DE SARDAN J.-P. BAKO-ARIFARI N. & M. TIDJANI-ALOU 2006 – *Everyday Corruption and the State: Citizens and Public Officials in Africa*, Londres: Zed Books.

FILER C. 2008 – Development Forum in Papua New Guinea: Upsides and Downsides, *Journal of Energy & Natural Resources Law* 26 (1): 120-150.

FILER C., 2012 – The development forum in Papua New Guinea. Evaluating outcomes for local communities, in: Langton, Marcia & Judy Longbottom (eds.) *Community Futures, Legal Architecture: Foundations for Indigenous People in the Global Mining Boom*, London, Routledge: 147-161.

HUMPHREYS D., *A business perspective on community relations in mining*. Resources Policy, 2000 – 26(2000): p. 127 – 131.

LARMOUR P., 2005 – *Foreign Flowers: Institutional Transfer and Good Governance in the Pacific Islands*. Honolulu: University of Hawaii Press.

LARMOUR P., 2012 – *Interpreting Corruption: Culture and Politics in the Pacific Islands*. Honolulu: University of Hawaii Press.

LARMOUR P., BARCHAM M., 2006 – National Integrity Systems in Small Pacific Island States, *Public Administration and Development* 26:173-184.

MAWYER A., à paraître, *The Maladie du Secret: Witnessing the Nuclear State in French Polynesia*.

Prospectors & Developers Association of Canada (PDAC), 2009 – *Excellence in Social Responsibility e-toolkit (ERS)*.

Prospectors & Developers Association of Canada (PDAC), *Principles and Guidance, ine3PLUS: A Framework for Responsible Exploration*: <http://www.pdac.ca/e3plus/English/pg/pdf/e3plus-pg-full.pdf>

The Equator Principles Associations. *About the Equator Principles*. 2011. Available from: <http://www.equator-principles.com/index.php/about-the-equator-principles>.

World Bank and International Finance Corporation, 2002 – *Large Mines and Local Communities: Forging Partnerships, Building Sustainability*, International Finance Corporation.

Axe III.

Enjeux technologiques de l'exploration et de l'exploitation

Expert coordonnateur :

Pierre COCHONAT

III-1. Quelles sont les technologies connues pour l'exploration et l'extraction des ressources minérales profondes, identifiées en Polynésie française ?

P. COCHONAT, S. SAMADI, N. ARNDT

Experts consultés : J. DENEGRÉ, H. BOUGAULT

1. Les technologies d'exploration

1.1 Introduction

Parmi les enjeux de l'exploration sous-marine, **la connaissance** scientifique pour l'identification de nouvelles ressources et pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes est fondamentale. Le développement et le maintien de cette expertise scientifique est absolument indispensable pour le lancement de **programmes miniers en mer profonde**. En mer, cette expertise scientifique s'appuie plus qu'ailleurs, sur une capacité d'intervention sous-marine profonde fondée sur le **développement de technologies** de pointe et sur l'accès à de moyens lourds. Cette activité peut d'ailleurs générer une nouvelle industrie avec en arrière-plan le marché des technologies grands fonds, au-delà du domaine de l'offshore pétrolier. D'autre part, la préservation des environnements et notamment de la biodiversité, constitue aujourd'hui un défi majeur pour une activité qui n'est pas perçue comme exemplaire dans ce domaine. Accès à la ressource et environnement devront nécessairement cohabiter.

Quelques pays, comme le nôtre, ont su, et pu, développer les compétences et les outils nécessaires. Ces moyens sont ceux de la recherche océanographique publique des États avec leur propre règle quant à l'accès à ces lourdes infrastructures.

1.1.1. Le théâtre des opérations de l'exploration minière profonde

Les infrastructures de recherche et les moyens à la mer adaptés pour l'exploration océanique des ressources minérales marines ont été développées et sont gérées dans les grands organismes de recherche publics et parfois privées (Etats-Unis) ; ils sont normalement accessibles par des appels d'offres relatifs à la recherche. Pour utiliser ces moyens très spécifiques et en traiter les données acquises il faut disposer d'une solide expertise scientifique pour monter les projets d'exploration et les conduire.

Des compagnies privées, sociétés de services, notamment celles qui assurent l'exploration pétrolière, ont encore peu développées de réelles compétences pour l'exploration des ressources minérales, mais elles le feront certainement lorsque le marché sera plus mature. Certains outils sont évidemment communs, mais l'expertise scientifique est différente : essentiellement bassins sédimentaires pour l'offshore pétrolier et croûte océanique (pour les amas sulfurés et les encroûtements) et approche plus superficielle des bassins sédimentaires profonds (pour les nodules et les terres rares). D'autre part, encore peu d'industriels miniers ce sont lancés dans la course à l'exploration des ressources minérales profondes, mais des collaborations entre le public et le privé ont vu le jour ces dernières années.

Compte tenu de l'engouement pour ces nouvelles ressources minières, des initiatives nouvelles vont être lancées, à l'instar de ce qui s'est passé pour la recherche pétrolière ces dernières décennies. Mais dans un futur immédiat les opérations se dérouleront probablement sous un fort contrôle des Etats souverains ou des instances internationales (ISA) compte tenu des enjeux géostratégiques de la course aux métaux de l'expertise nécessaire et des exigences environnementales, même si des groupes privées seront nécessairement impliqués.

1.1.2. La nécessité d'une stratégie multi-échelle et pluridisciplinaire

L'exploration océanique devant in fine conduire à la découverte de gisements exploitables implique une approche emboîtée mettant en œuvre des technologies spécifiques. L'objectif est de comprendre les processus géologiques et chimiques, évaluer qualitativement et quantitativement les minéralisations et caractériser les environnements et la biodiversité. Outre

les navires, les technologies existantes (ou à développer), pour localiser et étudier ces ressources potentielles, sont à considérer sur trois niveaux dans les grandes lignes.

Cela correspond aux trois types d'approche pour mener les campagnes à la mer successives : (1) reconnaissance géophysique à large couverture, (2) étude de site plus ciblée, et (3) opérations en station. Une seule campagne peut regrouper plusieurs de ces approches. L'expérience a d'ailleurs montré qu'avec des moyens modernes et des campagnes vraiment pluridisciplinaires, l'exploration peut avancer assez rapidement grâce à la mise en œuvre combinée de nombreux outils : cartographie bathymétrique, imagerie sonar (réflectivité), prélèvements par câble grand fond, mise en œuvre d'un ROV (pour l'observation et le prélèvement), d'un AUV (cartographie HR), de châssis instrumenté (mesures in situ), dépose et récupération de mouillages etc... Ces approches répondent pour l'essentiel aux deux premières phases du projet minier, tel que présenté en première partie de la synthèse générale, pour la partie « exploration proprement dite » avant de passer aux études économiques et études de faisabilité

1.1.2.1. EXPLORATION REGIONALE

Au-delà des données satellitaires à très basse résolution (plusieurs km par pixel) et hors Extraplac, les cartes bathymétriques régionales acquises avec des moyens modernes sont quasi inexistantes dans la ZEE polynésienne. Afin de définir les zones potentiellement intéressantes, il est nécessaire de conduire des levées de surface à grande échelle réalisés à l'aide de méthodes indirectes telles que les méthodes acoustiques (bathymétrie, réflectivité sonar), potentielles (gravimétrie et magnétisme) ou sismiques. Les outils de cartographie actuels permettent, par exemple, de réaliser des cartes régionales ayant des résolutions de plusieurs dizaines à une centaine de mètres. Aucune étude de site ne peut être lancée sans disposer de cette connaissance générale préalable qui permet de mieux comprendre le contexte géologique et morphologique. Des premiers prélèvements géologiques et biologiques peuvent être menés à bien lors de ces campagnes, essentiellement pour répondre au besoin de vérité terrain.

1.1.2.2. ETUDE DES SITES ET EVALUATION DES RESSOURCES

Il s'agit d'identifier et de caractériser des zones à gisements potentiels (échelle régionale). Cette phase nécessite de se rapprocher du fond pour mettre en œuvre des outils in situ capables de fournir des données haute à très haute résolution (ROV, AUV, submersibles). L'imagerie 2D (surface) et 3D (sub-surface) nécessaire pour l'identification et la caractérisation d'éventuels gisements est rendue possible par l'utilisation et le traitement des données acquises selon les différents types

de ressources recherchées (nodules, encroûtements, amas sulfurés, sédiments à terres rares). La marinisation des techniques d'analyses chimiques in-situ près du fond (Spectromètres de masse GC-MS, permettra de détecter les traceurs organiques ou radio-actifs, Techniques Raman pour l'analyse *in situ* des solides, ...). Certains de ces équipements devront être adaptés aux AUV et ROV. Les cartes détaillées ainsi obtenues, avec des résolutions métriques voire même décimétriques dans certains cas, permettent de connaître la morphologie et la structure des fonds, d'orienter les futurs travaux sur des cibles identifiées et de réaliser des premiers prélèvements pour la vérité terrain mais aussi procéder à une première évaluation minière.

Suivant le type de ressources visées ces prélèvements seront nécessaires pour couvrir le besoin de connaître l'épaisseur variant de quelques cm en surface (nodules) à quelques dizaines de mètres (amas sulfurés et sédiment riches en terres rares), et de quelques cm à quelques dizaines de cm pour les encroûtements. A ce stade des carottages voire des forages carottés permettront de mesurer la teneur en métaux, de connaître la distribution spatio-temporelle des minéralisations et d'affiner la connaissance du volume des ressources.

1.1.2.3. SUIVI DE L'EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE CES SITES A DES FINS DE SURVEILLANCE ET DE PRESERVATION DES ENVIRONNEMENTS

Afin de minimiser l'impact de l'exploitation des ressources des grands fonds, des outils spécifiques sont nécessaires pour établir des états de référence notamment biologiques. Ces approches impliquent le développement d'outils permettant de suivre la variabilité temporelle : les observatoires fond de mer permettront de suivre l'évolution de l'environnement du site à différents stades :

- état zéro avant exploitation ;
- évaluation de l'impact des activités d'extraction sur les écosystèmes ;
- suivi post-exploitation.

1.2 Les navires océanographiques hauturiers

Une description relativement détaillée des principales flottes océanographiques mondiales et de l'instrumentation scientifiques a été réalisée et publiée récemment dans le rapport CNRS – Ifremer sur les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes (J. Dymont *et al.*, 2014). Le lecteur peut trouver toutes ces informations détaillées dans les tableaux de ce rapport d'accès libre sur

les sites du CNRS, de l'Ifremer ou des ministères de la recherche et de l'Ecologie (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Expertise-scientifique-collective,38968.html>). Nous résumons ici cet inventaire en faisant mention de quelques nouvelles réalisations ou nouveaux projets de développement en cours dont nous avons connaissance.

Voir aussi en annexe de ce chapitre un tableau de synthèse issu d'une importante étude réalisée pour la Commission Européenne sur l'état des connaissances du « deep sea mining » (Ecorys 2014). En ligne : webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656_DSM.

L'exploration des ressources minérales profondes en Polynésie Française, comme ailleurs, nécessite d'utiliser des navires hauturiers capables de produire des reconnaissances bathymétriques, géophysiques et de mettre en œuvre toute une panoplie d'engins d'observations, de mesures et de prélèvements in situ, pour des recherches dans les domaines des géosciences marines, de l'océanographie physique et biologique, la biogéochimie et la chimie des océans, l'halieutique, la paléo-océanographie, la biodiversité marine. La France fait partie des quelques pays qui ont pu s'équiper depuis les années 70 d'une flotte océanographique tout océan d'un niveau mondial, comme d'autres pays européens (Allemagne, Royaume-Uni, Espagne..) et les Etats-Unis d'Amérique, le Japon, la Russie, l'Australie, la Nouvelle Zélande ...Aujourd'hui d'autres pays émergents comme la Chine, l'Inde et la Corée construisent rapidement de nouveaux navires modernes.

L'analyse des navires mondiaux capables de conduire des campagnes océanographiques hauturières pour l'exploration des fonds océaniques océanographiques publiée récemment dans le rapport CNRS – Ifremer sur les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes (J. Dymont *et al.*, 2014) indique l'existence de 49 navires hauturiers du type public ou académique, dont 18 en Europe . Voir <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Expertise-scientifique-collective,38968.html>.

La France fait « encore » partie du peloton de tête avec 6 navires

1.2.1. La flotte océanographique française

Voir le site <http://www.flotteoceanographique.fr/La-flotte> de l'UMS Flotte.

Les moyens navals de recherche océanographique français du CNRS, de l'Ifremer, de l'IPEV et de l'IRD composent depuis 2008 la Très Grande Infrastructure de Recherche (TGIR) Flotte océanographique française.

La panoplie des navires hauturiers et engins sous-marins de la TGIR Flotte océanographique française permet l'accès à tous les océans et mers du globe, hors zone polaire. La TGIR flotte occupe une place de premier rang sur la scène internationale, de par la qualité des publications issues des campagnes océanographiques, le niveau de performance de ses moyens et l'avance significative dans certains segments innovants comme les systèmes sous-marins et le carottage sédimentaire profond.

Une étape significative dans l'intégration des moyens navals français a été franchie en mars 2011 avec la constitution de l'UMS Flotte océanographique française, commune au CNRS, l'Ifremer, l'IPEV et l'IRD. Elle est en charge de l'élaboration d'une programmation intégrée, de la prospective, de la définition et la coordination du plan d'évolution de la flotte et des politiques d'investissement annuelles.

La flotte océanographique française est utilisée pour effectuer des recherches scientifiques et des observations dans les domaines mentionnés ci-dessus. Elle répond également à des besoins de surveillance, d'expertise pour le compte de l'Etat ou de valorisation auprès de partenaires industriels, elle permet d'aborder les thèmes de l'environnement côtier, les ressources minérales, énergétiques ou pétrographiques, ainsi que les aléas sismiques, volcaniques et gravitaires (tsunami). Elle participe également à la formation à la recherche en liaison avec les universités. Des partenariats public-privé développés au service des politiques industrielles nationales participent de même à l'acquisition de connaissances. La mise au point d'équipements, la valorisation des connaissances et des résultats sont une source de progrès au service de la société. Les données collectées lors de programmes nationaux et internationaux sont compilées et sauvegardées dans des bases de données nationales et internationales, afin d'être diffusées vers les communautés scientifiques et les acteurs du monde professionnel.

La flotte hauturière, utilisable pour l'exploration des fonds océaniques dans le Pacifique, est principalement constituée de six navires opérés par l'Ifremer (Le Suroit, La Thalassa, L'Atalante, le Pourquoi Pas ?), l'IRD (l'Alis) et l'IPEV (Le Marion Dufresne) qui vont de 28,5 à 120 m de longueur et sont capables d'embarquer de 14 à 110 passagers scientifiques.

Les navires hauturiers de l'UMS flotte¹ :

L'Alis

Le N/O Alis est un chalutier de 28,50 m qui opère dans l'océan Pacifique Sud-Ouest de la Polynésie Française à la Papouasie-Nouvelle Guinée. Il réalise des missions océanographiques de physique, de biologique et bathymétrie.



L'Atalante

Le navire de recherche pluridisciplinaire et tous océans *L'Atalante* est destiné aux géosciences marines, à l'océanographie physique et à la biologie marine.



Auteur : ©Ifremer - Olivier DUGORNAY

Légende : Atalante pendant la mission PHARE. **Lieu :** L'Atalante **Année :** 2002

Résolution : 3360x2240

Le Suroît

Le Suroît, construit en 1975, a été modernisé en 1999 pour des missions recentrées sur le plateau continental jusqu'au bas de la pente et limitées à des fonds de 4000/4500 m (bathymétrie, carottage, dragage, chalutage à perche, sismique haute résolution et très haute résolution, bathysonde/hydrologie, engins remorqués du type SAR, mouillages, travaux de station.



©Ifremer - Olivier DUGORNAY

Légende : Le Suroît en mer de Marmara - campagne Marmesonet

Lieu : Mer de Marmara **Année :** 2009

¹ (<http://www.flotteoceanographique.fr/La-flotte/Navires/Navires-hauturiers>)

Marion Dufresne

Navire polyvalent, Il assure deux fonctions principales : **la recherche océanographique** : sur tous les océans non glacés, sous la responsabilité de l'IPEV - 217 jours par an et **la logistique des îles subantarctiques françaises** : Crozet, Kerguelen, Amsterdam/Saint-Paul, sous la responsabilité des TAAF – 120 jours par an (4 x 30 jours).



©Ifremer –

Michel GUILLOU

Légende : Marion-Dufresne II dans la rade de Brest

Lieu : Brest **Année** : 1995,

Pourquoi pas ?

Navire le plus important de la flotte océanographique française très pluridisciplinaire peut mettre en œuvre plusieurs instruments pendant la même campagne (engins remorqués (SAR, sismiques), téléopérés (ROVs) autonomes (AUVs), submersible habité (Nautil), châssis lourd posé sur le fond (Penfeld), carottier grande longueur)



©Ifremer - Stéphane LESBATS

Légende : Le navire Océanographique pourquoi Pas ? pendant les tonnerres de Brest 2012

Lieu : Brest **Année** : 2012

Thalassa

Navire de recherches halieutiques qui peut mettre en œuvre occasionnellement le robot téléopéré Victor 6000



©Ifremer - Michel GUILLOU

Légende : Thalassa à Brest

Lieu : France - Brest (29) **Année** : 2003

1.2.2. Les flottes océanographiques européennes

La flotte allemande à elle seule rassemble 5 navires (Poseidon, Maria S, Merian, Sonne, Meteor, Polarstren) de 60 à 118 m de longueur. 7 autres navires du même gabarit sont répertoriés dans d'autres pays européens : Royaume-Uni (James Cook, JC. Ross) espagnol (Sarmebto de Gamboa), Portugal (Don Carlos1, Pays-bas (Pelagia) et Norvège (G.O.Sars et H. Mosby)

A titre d'exemple, le nouveau navire océanographique allemand Sonne :

Le Sonne : le nouveau navire océanographique allemand de 116 mètres de long a rejoint la flotte océanographique du ministère de la recherche allemand en janvier 2015. Il y remplace son aîné, également baptisé Sonne, âgé de 44 ans. Le nouveau navire sera principalement dédié à la recherche en eaux profondes dans les océans Indien et Pacifique. Il pourra transporter 40 chercheurs. Sa construction a coûté 124.4 millions d'euros. <http://www.meretmarine.com/fr/content/le-nouveau-navire-oceanographique-allemand-boucle-ses-essais-en-mer>.



1.2.3. Autres flottes mondiales

Le consortium nord-américain (UNOLS : University National Laboratory System) regroupent 21 navires de recherche dont 7 sont destinés à l'exploration des grands fonds. Ils sont tous propriété de la Marine Nationale et sont opérés par les instituts de recherche américains : Scripps Intitution of Oceanography (Melville, Roger Revelle et Agor 28) Woodshole Oceanographic Institution (Knorr, Atlantis) Lamont-Dohertu Earth Institution (Marcus Langseth) et Unviversity of Whashington (Thompson).

Les sept navires japonais tous opérés par le JAMSTEC (Japan Agency for Marien'Earth Scienvce and Technology) dont le récent navire de forages scientifiques : le Chikyu

La flotte océanographique russe dépend essentiellement de l'Académie des sciences et comporte 6 navires hauturiers. La flotte chinoise dont les moyens sont gérés par le COMRA, comprend cinq navires hauturiers mais se développent très rapidement comme la flotte coréenne qui comporte trois navires hauturiers. Rajoutons deux navires australiens et un navire néo-zélandais.

1.2.4. Les navires privés

Des navires privés peuvent être affrétés pour des campagnes océanographiques. A titre d'exemple on peut citer le navire câblé Ile de Ré, basé en Nouvelle Calédonie et opérationnel dans le Pacifique sud <http://www.meretmarine.com/fr/content/alcatel-lucent-reprend-la-flotte-cabliere-dalda-marine>.

1.3. Les outils de cartographie

1.3.1. Les sondeurs multi-faisceaux (SMF)

Hérités des outils militaires à l'origine (instrumentation de N/O Jean Charcot avec le Seabeam dans les années 80), les sondeurs multi-faisceaux (SMF) sont devenus l'un des outils de base de la recherche océanographique en fond de mer. Pour information détaillée voir : <http://flotte.ifremer.fr/Presentation-de-la-flotte/Equipements/Equipements-acoustiques/Sondeurs-multifaisceaux>.

Ces systèmes acoustiques permettent d'obtenir de manière précise et rapide:

- des relevés topographiques du relief sous-marin (**bathymétrie**) ;
- des images sonar présentant la réflectivité locale du fond, et donc sa nature (**imagerie**) ;

Un sondeur multifaisceaux mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions, déterminées par les faisceaux de réception du système. Ces faisceaux forment une fauchée perpendiculaire à l'axe du navire. On explore ainsi le fond sur une large bande (de l'ordre de 5 à 7 fois la profondeur), avec une assez bonne résolution et avec différentes couvertures et résolutions adaptées à différents besoins (côtier ou profond, pouvant intégrer ou non la tranche d'eau pour mesures halieutiques).

Avec un outil moderne (type EM122 sur le N/O l'Atalante) on peut espérer produire des documents cartographiques avec une résolution de l'ordre de 40 m par 1000 m de fond, voire 12,5 m en mode haute densité (la résolution est en fonction de la profondeur)

La fréquence de l'impulsion sonore émise est un élément important dans la définition d'un écho-sondeur. Elle détermine :

- la portée du sondeur ;

L'amortissement du son dans l'eau augmente très vite avec la fréquence. On distingue généralement 4 classes d'équipements :

<i>Sondeurs</i>	<i>Plage de profondeur</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Types de levé</i>
<i>Grands fonds</i>	100 à 12 000 m	10 – 15 kHz	Talus, dorsale et plaines abyssales
<i>Moyens fonds</i>	30 à 3000 m	30 – 50 kHz	Plateau, talus
<i>Petits fonds</i>	5 à 500 m	80 – 120 kHz	Plateau continental
<i>Très petits fonds</i>	0 à 100 m	200 à 400 kHz	Zones littorales

- la pénétration dans les matériaux mous : plus la fréquence est basse, plus elle pénètre les matériaux mous tels que les sédiments ;
- la taille des antennes : la génération de signaux basse fréquence nécessite des antennes de grandes dimensions ;
- la résolution spatiale (liée à la finesse des faisceaux), d'autant meilleure que la fréquence est élevée et les antennes grandes.

Le SMF est utilisé pour établir des cartes bathymétriques régionales à partir de la surface (sondeur de coque) mais il peut l'être aussi par grand fond grâce à des systèmes montés sur divers type de support (AUV ou ROV, voir plus loin) pour produire des documents cartographiques haute à très haute résolution.

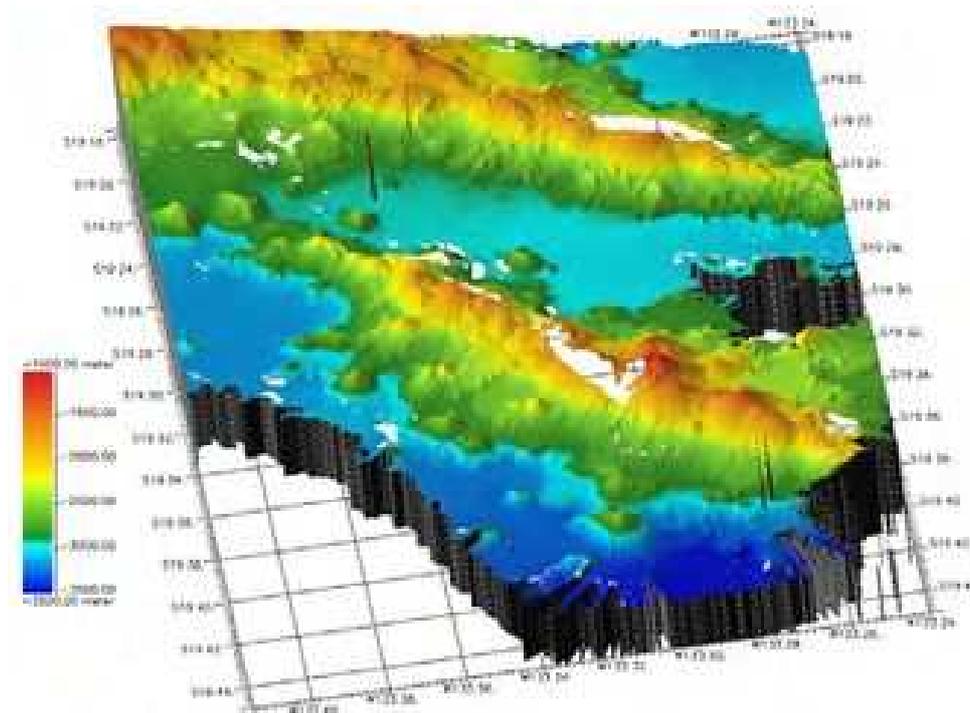


Figure 1 – Exemple de carte bathymétrique réalisée lors de la campagne Polyplac 2015 Monts sous-marins cartographiés pendant la campagne deux dragues ont été réalisées sur cet édifice ©Ifremer

1.3.2. La mesure de la réflectivité

Les SMF peuvent aussi fournir une imagerie sonar. En prenant en compte l'amplitude du signal réfléchi corrigée en fonction de la distance parcourue (time varying gain) est traduite en réflectivité. Elle s'exprime en dB et est liée à la nature du fond. La mesure de réflectivité est disponible à la cadence d'échantillonnage du sondeur. La distance inter-échantillon diminue avec l'incidence. Les données ainsi acquises sont utilisées pour caractériser la nature des fonds, par contraste entre la réponse de différents types (densité) de terrain (à tester pour les encroûtements s'ils peuvent se différencier de l'environnement basaltique ou carbonaté ?)

L'utilisation des sondeurs multifaisceaux sera l'un des éléments essentiels pour la cartographie des zones potentiellement riches en encroûtements cobaltifères.

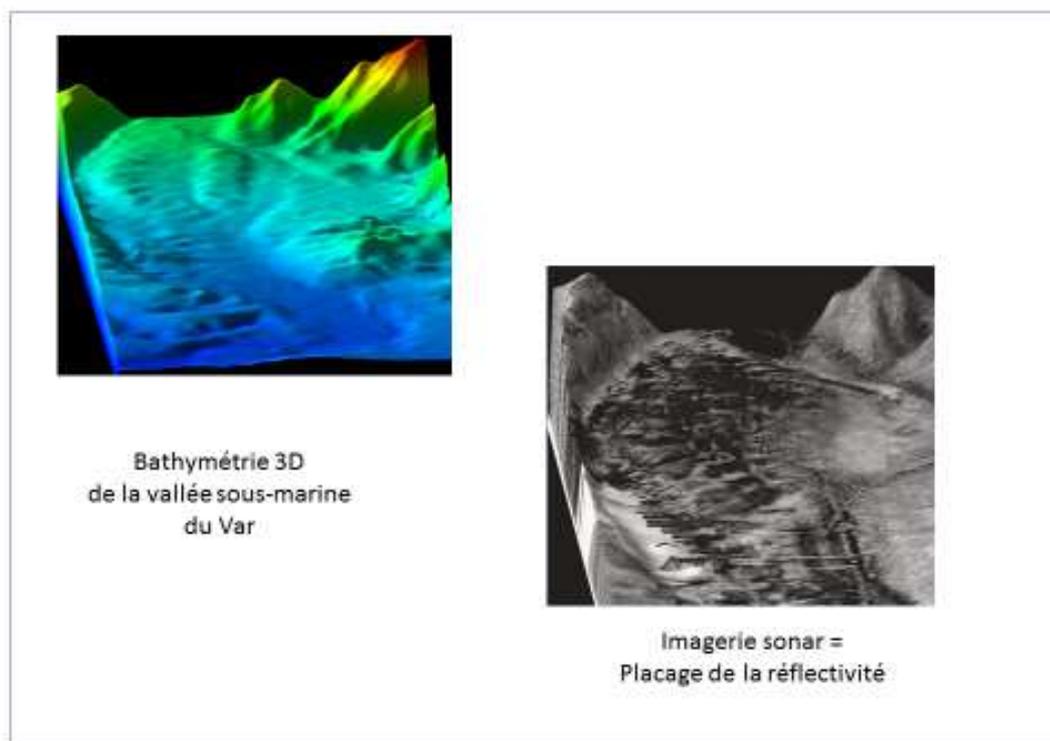


Figure 2 – Exemple de la vallée sous-marine du Var. Les fortes réflectivités traduisent la présence de galets dans le fond de la vallée. © Ifremer B. Savoye

1.4. Les autres outils de reconnaissance géophysique de surface

1.4.1. Les mesures sismiques

L'imagerie sismique (coupe 2D à travers le terrain) est obtenue à partir de la mesure du temps de propagation d'une onde acoustique à travers les couches du sous-sol. Les différentes sortes de sismiques dépendent de la fréquence de la source qui détermine la pénétration et la résolution :

- la très haute résolution avec une fréquence de l'ordre de plusieurs centaines de Hz à quelques KHz (pour les sondeurs de sédiments) dont la pénétration est de 100 m à quelques dizaines de m dans le sédiment et résolution métrique à décimétrique ;
- la haute résolution avec une fréquence 50 à quelques centaines de Hz pour une pénétration de l'ordre du km avec une résolution de l'ordre de la dizaine de mètres ;
- la sismique basse fréquence, de l'ordre du Hz, pour une pénétration de plusieurs km dans la croûte avec une résolution de l'ordre de la centaine de mètres.

Dans les environnements à roches dures, basalte, plateforme carbonatée ou encroutements, tels que ceux qui caractérisent les fonds marins polynésiens, l'intérêt de la reconnaissance sismique reste limité car le signal HR ou THR ne pénètre pas sauf dans les sédiments (zones à terres rares possibles) où elle trouve toute son utilité pour évaluer l'épaisseur sédimentaire et positionner au mieux les prélèvements par carottages gravitaires.

1.4.2. Les mesures magnétiques et gravimétriques

Ces données géophysiques de champs potentiels sont classiquement acquises lors des reconnaissances bathymétriques régionales. Le magnétisme permet de dater la croûte océanique à large échelle car le champ magnétique ambiant est enregistré dans la croûte océanique au moment de sa formation au fur et mesure de son expansion latérale par accréation.

D'autres effets non lié à la polarité mais à des anomalies d'amplitude dont la détection exploitable si des mesures près du fond à haute résolution, sont effectués peut permettre de détecter des couches à signature magnétique très différente comme par exemple la présence d'amas sulfurés (Tyvey and Dymant, 2010)

Les mesures gravimétriques permettent de mesurer la variation de densité des roches et ainsi de détecter les anomalies gravimétriques souvent corrélées à la topographie des fonds à grande échelle.

1.5 Les systèmes sous-marins opérant près du fond

Les systèmes sous-marins opérationnels et disponibles pour la communauté scientifique, peuvent être classés en deux catégories

- submersible habité ;
- engins remorqués ou téléopérés.

1.5.1. Submersibles scientifiques habités

Ils permettent à trois personnes (pilote, copilote et scientifique) d'investiguer 97 % des fonds marins, par 6000 m de profondeur d'eau. Leur autonomie normale est de l'ordre de 5 à 8 h sur le fond. Ils sont équipés de projecteurs, caméras, bras articulés, d'un panier pour conserver les échantillons et de divers instruments de mesures in situ qui peuvent aussi être utilisés sur un ROV.

Ils ont été beaucoup utilisés lors d'opérations d'envergure (souvent bien exploitée dans les médias) et permettent l'irremplaçable présence humaine in situ. Voir par exemple l'observation in situ des nodules polymétalliques réalisés pour la première fois par l'homme grâce au Nautille (campagne NIXONAUT 1998).

Nom	Opérateur / pays	Année construction	Profondeur max. (m)	Poids (t)	Epaisseur de la coque (mm) / nb de hublots
ALVIN	Woods Hole Oceanographic Institute / USA	1964 (upgrade en cours)	4500 (6500)	17 (20)	50 / 3
NAUTILE	Ifremer / France	1984	6000	18,5	- / 3
MIR I et II	Russian Academy of Sciences / Russie	1987	6000	18,6	50 / 3
JIAOLONG	China Ship Scientific Research Centre	2010	7500	25	- / 3
SHINKAI 6500	Jamstec	1989	6500	26,7	73,5 / 3



© Ifremer Olivier DUGORNAY
Légende : Nautille et Atalante
Lieu : Toulon **Année** : 2007
Résolution : 4288x2848



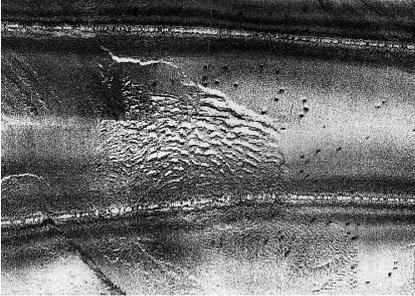
Image prise lors d'une plongée sur la zone à Nodules (Clarion Clipperton) mission NIXONAUT 1988

1.5.2. Engins remorqués ou téléopérés

1.5.2.1 LES SONARS LATÉRAUX

Un sonar latéral a pour fonction de constituer des images acoustiques détaillées des fonds marins. Un faisceau sonore étroit est émis avec une incidence rasante, et intercepte le fond. A l'intérieur de cette zone, le signal émis, très court, va délimiter une zone insonifiée de très faible dimension qui va balayer toute la zone couverte ou fauchée. L'écho ainsi recueilli au cours du temps est une représentation de la réflectivité du fond le long de la fauchée, et surtout de la présence d'irrégularité ou de petits obstacles qui sont "vus" par le signal très résolvant. Ce signal, enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar (side-scan sonar) est juxtaposé aux signaux successifs déjà obtenus par le sonar pendant son avancée, constituant ainsi, ligne après ligne, une véritable "image acoustique du fond".

<p>Le système SAR de l'Ifremer est un vecteur équipé de plusieurs capteurs dont le sonar latéral est l'élément de base. Il offre les fonctionnalités suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Imagerie sonar latéral 180 kHz de portée 1,5 km et de résolution 0,25 m ; • Profil sédimentaire par sondeur pénétrateur de sédiment 3,5 kHz de pénétration 80 m sur sol sédimentaire ; 	<p>http://flotte.ifremer.fr/Presentation-de-la-flotte/Equipements/Equipements-acoustiques</p>
--	--

<ul style="list-style-type: none">• Coupe sismique grand fond (20 Hz - 2 kHz) ;• Magnétométrie tri axiale de résolution 0,1 nT ;• Mesure d'attitude de l'engin par centrale intégrée : tangage, lacet, pilonnement, cavalement ;• Positionnement utilisant un système "base longue" (balises posées sur le fond) ou "base ultra courte" (capteur installé sur le navire support).	 <p>Exemple d'image sonar obtenue avec le SAR. Glissements sur la marge de Nouvelle Ecosse. Campagne HUDSAR © Ifremer P. Cochonat</p>
--	---

1.5.2.2. LES ROVS (REMOTELY OPERATED VEHICLES)

Les ROVs sont des véhicules téléguidés et contrôlés à distance très utilisés pour l'exploration et l'intervention sous-marine profonde. Ils permettent une acquisition rapide et sécurisée d'informations et sur les gros ROV –notamment les versions utilisées pour la recherche scientifique par grand fond- des prélèvements et mesures in situ à partir de système de mesure emportés. Ils peuvent être équipés de sonar de SMF, d'appareils de mesures géochimiques, de mini carottier etc... De nombreux modèles existent dans le milieu industriel et dans les instituts de recherche (Ifremer, Geomar, Alfred Wegener Institute, Jamstec ...)

<p>Le système disponible pour la communauté scientifique française est le ROV Victor 6000 de l'Ifremer. Il peut opérer jusqu'à 6000 m et offre les fonctionnalités suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">• Prise de vue par caméras vidéo et photo ;• Détection d'objets au sonar panoramique ;• Manipulation et prélèvement grâce à deux bras et à un panier escamotable et isotherme ;• Emport d'équipements complémentaires, outillages spécifiques ou augmentation de la capacité de	
---	--

<p>prélèvement ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des outils standards ou spécifiques peuvent être développés et embarqués à la demande ; • Positionnement en surface par "base ultra courte " (capteur installé sur le navire support) ; • Acquisition et enregistrement des données de navigation et des mesures effectuées par les capteurs embarqués : altitude, pression, température, cap, vitesse et heure. <p>Le VICTOR 6000 peut être embarqué à bord de 2 navires océanographiques français L'Atalante et La Thalassa ou de navires d'opportunité.</p>	<p>Auteur: ©Ifremer - Olivier DUGORNAY Légende : mise à l'eau du ROV Victor sur le Pourquoi pas? Lieu : Atlantique Année : 2009</p>
---	---

De nombreux systèmes existent « sur étagère » et sont utilisés dans l'industrie, notamment pour l'offshore pétrolier, mais seulement dix ROVs utilisés en recherche océanographique par des profondeurs de plus de 3000 m et avec une capacité d'emport importante ont été identifiés (Dyment et al., 2014):

ROV profond	Opérateur / Pays	Profondeur (m)	Poids (t)
JASON	Woods Hole Oceanographic Institution / USA	6500	3,7
ROPOS	Canadian Scientific Submersible Facility / Canada	5000	-
KAIKO 7000 II	JAMSTEC / Japon	7000	3,9
VICTOR	IFREMER / France	6000	4
LUSO	Portuguese Task group for the Extension of the Continental Shelf	6000	2,2
ISIS	University of Southampton	6500	3
HOLLAND I	Marine Institute / Irlande	3000	3,2

QUEST 5	Research Center Ocean Margin / Allemagne	4000	3,5
PHOCA	GEOMAR / Allemagne	3000	1,6
KIEL 6000	GEOMAR / Allemagne	6000	3,7

1.5.2.3. LES ENGINs AUTONOMES (DRONES SOUS MARINS OU AUV)

<p>Les AUVs (Autonomous Underwater Vehicles) sont les drones, engins inhabités totalement autonomes, essentiellement utilisés pour des levés cartographiques de haute résolution grâce à des capteurs emportés (sismique, bathymétrie et imagerie, gravimétrie, magnétisme, température, néphélométrie). Ils peuvent se déplacer près du fond à des vitesses relativement élevées de l'ordre de 2 à 5 Nds avec une autonomie de 14 à 22 h sur le fond. Des mises au point de piles à combustible sont en cours de test.</p>	<p>AUV Aster X de l'Ifremer © Ifremer</p> 
---	--

Quelques AUVs à forte capacité d'emport, donc multi capteurs ont été développés (voir ci-dessous) mais de nouveaux projets se mettent en place pour développer des flottilles de drones, comme par exemple le récent projet accepté par le Concours mondial de l'innovation MESSIDOR (Sté Créocéan) qui vise à développer une flotte de drone équipés de magnétomètre pour la détection des amas sulfurés.

Les principaux AUVS utilisés en recherche océanographique sont :

	Opérateur/ pays	Profondeur max. (m)	Longueur (m)	Poids (kg)
Aster X et Idef X	Ifremer / France	3000	4,5	800
Autosub	Southampton Oceanographic Center/ UK	-	7	-
Seal	Marum / Allemagne	5000	5,5	1300
Remus 3000	Woodshole Oceanographic Institution	3000	3,7	335
Remis 6000	Woodshole Oceanographic Institution	6000	3,84	862

1.5.2.4. LES ROV HYBRIDES

Une nouvelle génération de systèmes sous-marins a fait son apparition : les H-ROVs ou ROV hybrides. Il s'agit d'un véhicule à énergie embarquée qui offre des possibilités de déploiement en mode téléopéré (ROV), ou autonome (AUV).

Le Woods Hole Oceanographic Institution a développé plusieurs HROV capable d'intervenir par très grand fond (dont une version 11000 m). L'Ifremer vient de développer le HROV Ariane, en cours de test. Il sera utilisé pour des applications côtières (jusqu'à 2500 m), à partir de navires côtiers ou hauturiers. Il pourra réaliser des missions d'intervention, d'observation et de cartographie des fonds marins, y compris dans les reliefs sous-marins difficiles de type canyon sous-marin ou falaise suivant deux modes :

- mode téléopéré (ROV), grâce à une fibre optique légère déployée à partir d'un lest dépresseur ou d'une cage. La gestion de cette laisse permet d'opérer l'engin depuis des navires n'offrant pas de positionnement dynamique ;

- mode autonome (AUV), avec possibilité de communication par acoustique. Le ROV hybride a son énergie embarquée sous forme de batteries ce qui réduit le poids et l'encombrement des moyens sur le pont. ;

1. 6. Les outils de prélèvement

De nombreux systèmes existent pour prélever des sédiments ou des roches dures depuis la surface :

- les classiques carottiers gravitaires à câble et à piston stationnaire type Kullenberg ou carottier Calypso pour les sédiments, ils équipent la plus part des navires océanographiques dotés d'un câble grand fond (carottes de plusieurs à plusieurs dizaines de m de longueur) ;

- les carottiers libres type Benthos (beaucoup plus courts) ;
- les carottiers boîtes type TAAF pour les sédiments superficiels ;
- les châssis posés sur le fond, par exemple carottier pyrotechnique pour prélever des roches ou forages carottés type Rockdrill ;
- le Cnexoville carottier libre pour roche ;
- la drague à roche mise en œuvre par câble grand fond classiquement utilisée pour le prélèvement de croûte océanique en tirant la drague sur le fond ;
- la benne (« grab sampler ») souvent équipée d'une vidéo pour le choix du lieu de prélèvement
- les forages océaniques scientifiques ou pour l'exploration pétrolière nécessitant l'utilisation de navires foreurs, navires océanographiques (Joides Resolution ou Chickyu) ou les navires et plateforme de forages des sociétés de services parapétrolières, ils visent des pénétrations importantes de plusieurs centaines de mètres.

Pour ce qui concerne les besoins en PF, si les carottiers classique (Kullenberg) répondent au besoin des prélèvements de sédiments (pour les terres rares par exemple), pour les encroûtements, les dragues à roches, voire une benne de grosse taille, permettent de prélever des croûtes, mais elles ne suffiront pas pour répondre aux critères suivants (Sterk, R. & Stein, J.K., 2015) :

- précision (*accuracy*) du positionnement ;
- d'exactitude et répétabilité (*precision*) des prélèvements ;
- de représentativité des échantillons.

Pour y répondre il convient d'intervenir avec des systèmes de forage et de carottage de roches à partir de châssis posés sur le fond et hautement automatisés. Il en existe quelques uns comme le PROD3 de Benthic (USA), SFD de Gregg Marine (USA), leMeBo2 de Marum en Allemagne ou le Rockdrill de BGS au Royaume-Uni. La société Nautilus a utilisé le ROV Drill de Perry Slingsby Systems pour forer plusieurs puits d'une vingtaine de mètres pour l'exploration des amas sulfuré de Solwara.

Cependant pour les encroûtements, le besoin porte sur des carottages superficiels (50 cm de longueur max. pour des croûtes de quelques cm à quelques dm d'épaisseur sur un peu de substratum) mais devant répondre parfaitement aux critères de Sterk et Stein. Des outils de forage innovants instrumentant des submersibles ou des ROVs devront être développés pour cela. (voir contribution III-3)

1.7 Les observatoires fond de mer (OFM)

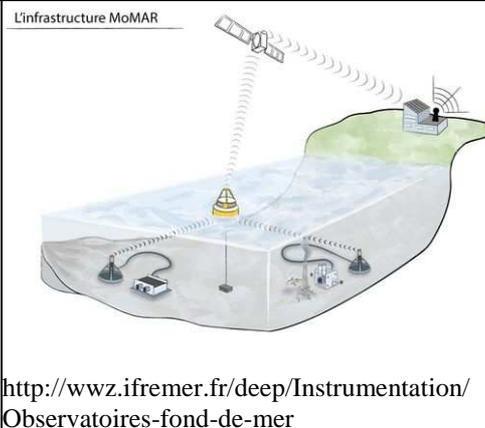
Il s'agit d'observer et de suivre en continu, et sur le long terme, de sites sélectionnés grâce à l'acquisition simultanée de multiples variables océanographiques. Les OFM peuvent être mis en œuvre de deux manières :

- une instrumentation multi-capteur fond de mer câblée reliée à la terre par un câble sous-marin qui fournit l'énergie nécessaire à son fonctionnement et permet un lien permanent et haut débit ;
- des mouillages autonomes en énergie, qui peuvent être équipés de capacité de transmission en temps quasi réel via une liaison fond de mer-surface puis satellite.

En dehors des nombreux systèmes de suivi de l'environnement côtier et des observatoires orientés vers la surveillance des risques sismiques (Italie, Japon ...) de nouveaux observatoires pluridisciplinaires ont été lancés. Ils assurent le suivi et l'analyse du fonctionnement des écosystèmes et de leur environnement profond dans le cadre de grands projets dont les plus ambitieux sont le réseau câblé Neptune Canada et le projet européen EMSO avec une composante française EMSO-Fr sur différents sites dont celui des Açores (projet Momar).

D'autre part, des courantomètres, qui permettent de mesurer la vitesse et la direction d'un courant à une profondeur donnée, et de pièges à particules, qui captent et concentrent les particules dans un cône de surface connue, pourraient permettre d'appréhender conjointement l'évolution des caractéristiques physiques des eaux autour des sites d'exploitation.

Exemple de l'**observatoire Momar** installé sur le site Lucky Strike au large des Açores et qui comprend le nœud d'observation « SEAMON ouest » dédié à la géophysique. Ce nœud est constitué de 2 modules attachés sur une même plate-forme : un OBS câblé et une jauge de pression permanente (JPP). Le nœud d'observation « SEAMON est » est quant à lui dédié à l'écologie, l'étude de la faune hydrothermale et de son environnement. Il comprend 2 modules : le module d'observation TEMPO et un turbidimètre qui évalue les variations de la charge en particules au cours du temps



1.8. Niveau de maturité des technologies d'exploration

A titre d'information voir le tableau ci-joint en annexe montre bien le faible niveau de maturité technologique pour les prélèvements de qualité (forage) en complément des classiques dragues à roche (ECORYS 2014).

En ligne :

webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656_DSM.

Il existe donc une panoplie importante de navires et engins disponibles pour l'exploration sous-marine des grands fonds. La technologie d'exploration est relativement mature ; nous avons cependant identifié les lacunes ou besoins technologiques nouveaux qui restent à couvrir notamment pour l'exploration des encroûtements cobaltifères (voir contribution III-3).

1.9. Conclusions et recommandations

1. Reprendre des recherches sur la formation des encroûtements afin d'établir un modèle géologique de la formation des encroûtements tenant compte de l'âge du substratum, des courants océaniques, des échanges eau de mer / substratum rocheux, microbiologie etc.... et pouvant servir de guide d'exploration de **gisements** pour une exploitation future.

2. Obtenir une meilleure connaissance des caractéristiques physiques et minérales des encroûtements, par des prélèvements de qualité et répétitifs (forage), reconnaissance géophysique près du fond et mesures in situ, pour ce qui concerne :

- la **mesure de l'épaisseur des encroûtements** qui peut varier de quelques centimètres à 25 cm, ce qui fait de très grandes différences pour l'évaluation des ressources, et sur la nature du substratum (carbonates, phosphorites...);
- la **mesure de la teneur en métaux** (analyse de carottes prélevées ou mesures in situ ?);
- la connaissance précise de la micro-topographie pour connaître l'extension des gisements et leur rugosité de surface.

3. Obtenir une bonne connaissance des écosystèmes susceptibles d'être perturbés par l'exploitation (état zéro)

- connaissance de la **biodiversité** et des interactions écologiques entre les écosystèmes ;
- mesure de **l'évolution des caractéristiques physico-chimiques** des eaux de fond (courantologie, pollution par panache, résilience des habitats en cas de destruction...idem pour les eaux de surface.

Voir même contribution III-3 pour les solutions techniques pour couvrir ces besoins

2. Les technologies d'extraction

2.1. Introduction

La mise au point des équipements et des techniques d'exploitation des grands fonds marins est l'une des grandes entreprises scientifiques et technologiques de ces 50 dernières années. C'est pour le développement de l'offshore pétrolier profond que les plus grands progrès ont été réalisés. Par des profondeurs d'eau de 3000 m, les appareils de forage pétrolier en mer sont à présent capables de contrôler leurs trépan à six kilomètres de distance des fonds marins.

Pour ce qui concerne l'exploitation des ressources minérales, on peut considérer que l'extraction minière n'est autre qu'un déplacement de matières: une fois que le matériau du gisement est prélevé ou collecté, il faut le transporter jusqu'aux installations où il sera concentré ou traité puis raffiné pour donner un produit commercialisable. Il n'en va pas de même lorsqu'il s'agit d'une exploitation dans les grands fonds sous-marins où les travaux doivent être effectués sous l'eau, les opérations étant commandées à distance à partir d'une plate-forme flottante en surface.

À chaque étape du processus, selon la nature du gisement, la masse manipulée diminue et des déchets sont rejetés (gardons à l'esprit que les concentrations en Cobalt dans les encroûtements que l'on peut penser exploitables sont de l'ordre de 1%). Pour un gisement de nodules polymétalliques par exemple, les trois métaux, nickel, cuivre et cobalt, forment moins de 3 % du gisement, à l'exclusion des sédiments. Si l'on ajoute le manganèse, les métaux représentent environ 30 % de la masse. Par contre, un gisement d'agrégats, galets et sable, pourra renfermer très peu de déchets. Chaque gisement est différent et de nombreux procédés techniques peuvent être appliqués.

À ce jour, on n'a jamais procédé à des opérations de longue durée pour la collecte à des fins commerciales de minéraux solides à des profondeurs supérieures à 200 mètres; mais les premiers essais effectués par Nautilus Minerals avec des systèmes de ramassage des sulfures polymétalliques à des profondeurs de 1700 mètres, où ils se détachent sans difficulté du plancher marin, montrent que rien ne s'oppose, du point de vue technique, à l'exploitation de ces gisements ou de gisements analogues.

Les progrès réalisés en matière de capacité de forage, de creusement de tranchées et de production de pétrole de profondeur ont élargi sensiblement la gamme de moyens techniques disponibles mais ceux-ci devront faire l'objet de modifications importantes, voire d'innovations, pour convenir aux procédés d'extraction plus sélectifs requis pour les gisements

de minéraux plus durs et plus superficiels, comme cela sera le cas pour les encroûtements qui nous intéressent dans la ZEE de la Polynésie française.

2.2. L'exploitation des encroûtements

Dans tous les océans reposent ce qu'on appelle familièrement des "encroûtements », croûtes rocheuses massives, pouvant parfois atteindre 25 cm d'épaisseur maximum et couvrant des kilomètres carrés de sol marin. Au total, on estime que 6,35 millions de kilomètres carrés, soit 1,7 % de la surface des océans, sont tapissés de ces encroûtements (<http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Encroutements-cobaltiferes>). On les trouve à des profondeurs variant entre 400 et 4.000 mètres de profondeur, sur les monts sous-marins isolés et les alignements volcaniques, au niveau des élévations sous-marines intra-plaques, ou encore dans les formations coralliennes d'anciens atolls immergés

Les enjeux d'une exploitation des encroûtements pour le cobalt et le platine, voire le manganèse et le titane sont réels. Mais à quel prix et avec quelles technologies ? Avant de définir et de développer des outils d'extraction, il manque encore des données de terrain et des calculs précis: contrôles géologiques de zones riches, volume exploitable (épaisseur des croûtes), propriétés géomécaniques de la croûte et du substratum, continuité des dépôts, rugosité du fond, influence du substratum sur la dilution au ramassage, etc.

Comparativement aux nodules polymétalliques qui ont fait l'objet de beaucoup d'études (48 campagnes d'exploration de la zone Clarion – Clipperton) et des travaux du GIP Gemonod, très peu a été entrepris pour les encroûtements. La récupération des nodules est relativement aisée puisqu'ils reposent sur un substratum de sédiments meubles, tandis que les encroûtements sont plus ou moins solidement rattachés au substratum. Pour une exploitation réussie, il est indispensable de récupérer les croûtes sans enlever le substratum rocheux, ce qui diluerait considérablement la teneur en minerai.

D'après J Dymant et al., (2014), cinq opérations se succéderaient : la fragmentation, le broyage, l'enlèvement, le ramassage et la séparation. Des véhicules autopropulsés se déplaceraient à une vitesse d'environ 20 cm/s sur le fond marin (ce qui paraît élevé) et seraient attachés à un navire d'exploitation minière en surface, au moyen d'un système d'enlèvement hydraulique et d'un câble électrique. Le volume de la production est ainsi estimé grossièrement à environ 1 million de tonnes par an. Ce scénario offre une efficacité de 80% en ce qui concerne la fragmentation et de 25 % pour ce qui est de la dilution de la teneur en minerai. D'autres méthodes sont proposées pour séparer les croûtes du substratum, telles que le décapage par

jet d'eau, les techniques de lixiviation in situ et le détachement par effet acoustique.

Aucun concept n'a été réellement développé pour l'excavation des encroûtements jusqu'à maintenant. D'après les travaux du groupe de travail Synergie grand fond du Cluster Maritime Français, c'est dans le domaine du système de ramassage et du véhicule de support que les technologies sont les moins bien maîtrisées.

A titre comparatif le tableau présenté en annexe montre bien la faiblesse du niveau de maturité technologique des procédés de traitement métallurgique des encroûtements par rapport aux autres types de ressources.

L'aspect traitement métallurgique, en devenir, est traité en contribution III-4 qui concerne les tendances actuelles des développements technologiques pour l'exploitation des ressources minières sous-marines adaptées au cas de la PF.

2.3. Besoin d'un démonstrateur

La plupart des techniques d'exploitation des fonds marins ont été conçues à l'origine pour de faibles profondeurs et leur utilisation a été étendue au fur et à mesure des besoins. Il est donc nécessaire que, pour combler les lacunes, les techniques applicables sous de grandes profondeurs soient mises au point par perfectionnement des systèmes classiques, dont un grand nombre sont empruntés à d'autres secteurs industriels.

L'expérimentation idéale d'un projet reste l'expérimentation au travers d'un démonstrateur ou d'une unité-pilote. On appelle «unité-pilote» ou plus simplement «pilote» ou «démonstrateur», un dispositif expérimental dont une partie au moins a un fonctionnement représentatif de la partie qui lui correspondra dans l'unité industrielle.

Pour les amas sulfurés, des études conceptuelles ont déjà été menées (par exemple par la Sté Technip), mais pour aller plus loin et finaliser l'élaboration d'un pilote, notamment pour les encroûtements, il faut déterminer avec précision les contraintes dynamiques et mécaniques auxquelles ce pilote devra être confronté. Les campagnes d'exploration envisagées devront fournir un volume d'échantillons utilisable pour l'évaluation minière, mais également pour l'étude de ces propriétés géomécaniques des encroûtements, afin de dimensionner les engins de ramassage grâce à une meilleure connaissance du minerai.

2.4. Conclusions et recommandations

Il convient de proposer une activité extractive exemplaire et acceptable, du point de vue de l'impact sur l'environnement en se fondant sur la meilleure connaissance du milieu et des technologies innovantes.

D'un point de vue strictement technologique, le développement d'un prototype de système de ramassage adapté aux encroûtements est à entreprendre. Pour son dimensionnement il convient de :

- définir les propriétés géotechniques des encroûtements pour adapter les systèmes d'excavation ;
- disposer idéalement d'outils capables de mesurer l'épaisseur de la croûte et la teneur en métaux à l'avancement de système de ramassage ;
- se poser la question de jusqu'où aller pour le prétraitement du minerai in situ par rapport au traitement de surface sur barge ou après transport du minerai onshore.

Bibliographie

BOUGAULT H. et SAGET P., 2011– « Les Encroûtements Cobaltifères De Polynésie Française ». *Mines et Carrières 6 Industrie Minérale* – oct 2011- n°185 - Hors série p 70-85

DYMENT J., LALLIER F., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P-M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coord.), 2014 – *Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*. Expertise scientifique collective, Rapport, CNRS-Ifremer, 930 p.

Equipements flottes océanographiques, 2014 – <http://flotte.ifremer.fr/Presentation-de-la-flotte/Equipements/Equipements-acoustiques/Sondeurs-multifaisceaux>, consulté le 20 mai 2015

ECORYS 2014. Study to investigate the state of knowledge of deep-sea mining Final Report under FWC MARE/2012/06 - SC E1/2013/04 Client: European Commission - DG Maritime Affairs and Fisheries Rotterdam/Brussels, 28 August 2014. En ligne : webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656_DSM

EMSO (European Multidisciplinary Seafloor and Water Column Observatory). <http://www.emso-eu.org/about/what-is-emso.html>? Consulté le 21/09/2015

Encroûtements cobaltifères (2014) (<http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Encroutements-cobaltiferes>, consulté le 20 mai 2015

Etude prospective globale des activités liées à l'exploration et l'exploitation des ressources minérales océaniques profondes en Polynésie Française, 2012 – Rapport CREOCEAN pour le Ministère de l'Environnement de l'Energie et des Mines. Service de l'Energie et des Mines. Polynésie Française

FOUQUET Y. AND LACROIX D., 2012 – *Les ressources minérales marines profondes: étude prospective à l'horizon 2030*, Editions Quae.

FOUQUET Y. ET LACROIX D., 2011 – *Les ressources minérales marines profondes. Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030*. <http://wwz.ifremer.fr/institut/Les-ressources-documentaires/Prospectives>

FOUQUET Y., 2013 – "Les ressources minérales marines État des connaissances sur l'importance des dépôts." *Annales des Mines – Responsabilité et environnement* n°70

Ile de Ré, 2014 – <http://www.meretmarine.com/fr/content/alcatel-lucent-reprend-la-flotte-cabliere-dalda-marine>, consulté le 10 juin 2015

MARTEL-JANTIN B., LAMOUILLE B. (BRGM), BOUGAULT H., LE SUAVE R. et FOUQUET Y. (Ifremer), BONNEVILLE A. (IPG Paris), TROLY (SIM), 2002 – *Evaluation stratégique et prospective préliminaire des encroûtements polymétalliques sous-marins de la ZEE de la Polynésie française*. Rapport confidentiel BRGM – IFREMER

MEYER W., 2015 – <http://www.meretmarine.com/fr/content/le-nouveau-navire-oceanographique-allemand-boucle-ses-essais-en-mer>, consulté le 20 mai 2015

Momar (MoMAR) Monitoring the Mid-Atlantic Ridge. <http://www.insu.cnrs.fr/node/2379> consulté le 21/09/2015

RADEMAEKERS K, WIDERBERG O., SVATIKOVA K, VAN DER VEEN R, PANELLA E, *Technology options for deep-seabed exploitation- Tackling economic, environmental and societal challenges – report to the Science and Technology Options. Panel of the European Parliament - Study IP/G/STOA/FWC/2013-001/Lot3/C4*

March 2015 [http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU\(2015\)547401](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU(2015)547401)

STERK, R. et STEIN, J.K., 2015 – Seabed Mineral Deposits: A Review of Current Mineral Resources and Future Developments. Paper presented to: Deep Sea Mining Summit. Aberdeen, Scotland. 9-10 February 2015. 27 pp.

TIVEY, M. A. et DYMENT J., 2010 – The magnetic signature of hydrothermal systems in slow spreading environments, *Diversity of Hydrothermal Systems on Slow Spreading Ocean Ridges*: 43-66.

Annexe

Tableau résumant l'ensemble des technologies-clés pour chaque étape d'un projet minier sous-marin avec estimation de leur niveau de maturité technologique. Traduction française d'un extrait du rapport Ecorys 2015 - *Study to investigate the state of knowledge of deep-sea mining Final Report under FWC MARE/2012/06 - SC E1/2013/04*
 (webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656_DSM_Final_report.pdf)

Phase d'activité	Type de ressources	Technique	Niveau de maturité technologique							Commentaires	
			-						+		
Exploration	LOCALISATION										
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Navires océanographiques									
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Bathymétrie multifaisceaux									La bathymétrie multifaisceaux a déjà fait ses preuves pour l'exploration marine profonde
	Amas sulfurés	Électromagnétisme									La technologie a fait ses preuves pour les opérations à partir de bateaux (TRL-9), il n'y a eu que des tests pour les mesures électromagnétiques à partir d'AUVs (TRL-7)
	Amas sulfurés	Analyse géochimique de l'eau de mer								Les technologies et la connaissance sont jusqu'ici limitées aux événements hydrothermaux actifs. De la recherche et de nouvelles technologies sont nécessaires pour détecter les événements inactifs.	

	Encroûtements	ROV ou (AUV?) pour forages courts (50 cm à 1m) et analyses in-situ																			Il y a besoin de développer un équipement robotisé permettant de réaliser rapidement des forages courts et répétés dans les encroûtements, d'assurer la récupération des carottes et de réaliser l'analyse in situ de l'encroûtement et de son substratum.	
	Amas sulfurés	Sondeuses basées sur des navires.																			Jusqu'ici ces navires n'ont pas été en mesure d'atteindre la même pénétration que les sondages réalisés à partir de plates-formes ou de ROVs. Ils n'ont pas été utilisés pour le forage des Amas sulfurés.	
	MODELISATION DE LA RESSOURCE																					
Évaluation et calcul des ressources et des réserves. Planification de l'exploitation minière.	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Modélisation spatiale en 3D																			Les techniques de modélisation doivent être adaptées pour prendre en compte les multiples sources de données (directes et indirectes).	
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Modélisation multi-variables en 2D																			Les techniques sont déjà commercialement disponibles. Il n'y a pas besoin de développements additionnels.	
	ESTIMATION DES RESERVES																					
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Planification à long terme																				Les méthodes et les procédures d'évaluation et d'investigation pour la conception de fosses, incluant les pentes et les conditions géotechniques ainsi que la prévision des efficacités d'extraction font l'objet de recherches actuelles. Elles devront cependant être validées au laboratoire et dans les conditions réelles. SMS, Nodules, Crust Short and medium term planning X Reserve/Resource reporting codes.
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Planification à court et moyen terme																				
	NORMES DE RAPPORTAGE DES RESSOURCES ET DES RESERVES																					
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Normes de rapportage																				Les normes de rapportage de type NI 43-101 seront à adapter aux spécificités des minéralisations marines profondes

CONCEPTION ET OPERATION DE L'EXCAVATION										
Manipulation des matériaux	Amas sulfurés	Taillleur à tambour (ROV)								Des tests limités ont été réalisés à 1 600 m sous le niveau de la mer, avec un tambour utilisé à terre. Des problèmes techniques doivent être résolus, en particulier la taille efficace et l'enlèvement des débris de roches de la face rocheuse entaillée.
	Amas sulfurés	Tête rotative de découpe montée sur ROV								Les têtes de découpe sont utilisées avec succès pour des opérations de dragage peu profond. Des expériences devraient se focaliser sur l'applicabilité de la technologie pour découper des Amas sulfurés en environnement marin profond..
	Amas sulfurés	Drague preneuse								Cette technologie est déjà utilisée avec succès aujourd'hui, mais elle ne peut pas être considérée comme une option pour l'exploitation industrielle. La recherche devrait se focaliser sur le développement de l'efficacité en liaison avec un système sous-marin de découpe ou de broyage.
	Nodules	Collecteurs passifs								L'inefficacité et le manque de contrôle, combiné avec un fort impact environnemental (formation massive de plumes sédimentaires), ont conduit à l'abandon de cette méthode.
	Nodules	Collecteurs mécaniques actifs								Les collecteurs mécaniques actifs ont démontré leur opérationnalité et la technique a été testée à une profondeur de 410 m par NIOT (Inde). Des tests sont prévus à une profondeur de 6 000 m, en environnement opérationnel.
	Nodules	Méthodes hydrauliques actives								Développement en cours depuis le début des années 1990 par le COMRA (Chine). Cette technologie a été testée avec succès au laboratoire en utilisant des conditions réelles simulées. Il y a besoin de tests en environnement opérationnel.

Encroûtements	Aucune méthode										Les besoins en équipement ont été identifiés mais à cause de l'épaisseur limitée des indices, et donc de la difficulté de leur exploitation, les encroûtements ne sont pas, pour le moment, considérés comme techniquement, économiquement et environnementalement exploitables.
PRE-TRAITEMENT SUR LE PLANCHER OCEANIQUE AVANT LA REMONTEE											
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Identification										Développement de capteurs pour déterminer les zones à exploiter avant le tranchage (cartographie des teneurs) et pour obtenir une carte en temps réel de leur distribution afin de décider d'exploiter, ou non/ de définir la séquence d'exploitation/ la combinaison de zones à exploiter.
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Séparation										Les techniques de séparation sont bien connues et ont diverses applications dans le traitement des minerais de gisements « à terre ». Ces techniques peuvent significativement améliorer la valeur des flux de minerai traités et permettre de réduire le volume de sédiments déplacés. Il n'y a pas de recherches sur l'application de ces techniques dans le domaine marin profond à part la séparation nodules/sédiments.
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Réduction de taille des fragments prélevés										Le broyage est nécessaire pour séparer des matériaux ayant une valeur des matériaux stériles. Il est appliqué en combinaison avec la concentration.
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Concentration										Le développement de cette étape est nécessaire afin de prè-enrichir la teneur moyenne du minerai envoyé au système de transfert avant sa remontée.
COLLECTE ET STOCK TAMPON											
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Systèmes de stockage et de distribution										Un système de stockage et de distribution est nécessaire pour servir de tampon entre le système d'excavation et le système de remontée. Il doit également permettre le mélange de minerai à fin d'assurer une teneur plus ou moins constante du minerai à traiter par la suite.

REMONTEE DU MINERAI									
Nodules	Système de ramassage par lignes de dragage ("Contluous line bucket" - CLB)								Le manque de manœuvrabilité et de contrôle de la production, la formation de plumes sédimentaires importantes et le faible pouvoir de coupe font que cette méthode est inefficace et a été abandonnée.
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Système de ramassage hydraulique par injection d'air ("Air-lift")								Une technique éprouvée, largement utilisée dans le dragage en faible profondeur d'eau, méthode validée par un test pilote pour transporter les nodules depuis une profondeur d'environ 5000 m. Elle est largement remplacée par des pompes hydrauliques dans des études récentes à cause des besoins énergétiques élevés des systèmes des rifts et de leur vulnérabilité au colmatage. La maturation de cette technologie est prise en compte dans le projet 7° PCRD Blue Mining.
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Système de ramassage hydraulique à pompes centrifugeuses ("Hydraulic lift")								Cette technologie existe actuellement. Elle est appliquée dans l'industrie du gaz et du pétrole pour transporter des fragments de roche depuis les forages en milieu océanique profond. Le système devrait être testé pour le transport de minerai marin profond (résistance au colmatage, taille des particules pouvant être remonté, usure du système). La maturation est prise en charge par le projet 7° PCRD "Blue Mining".
Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Système de ramassage par lots, à câble.								Un tel système n'existe pas à ce jour. La technologie devrait être assez facile à appliquer s'il est possible, de manière répétée, de descendre/remonter des ROV lourds vers/ depuis le plancher océanique. Il paraît facile d'améliorer le TRL par modélisation expérimentale et essais in situ.

OPERATIONS DE SURFACE											
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Essorage									Un tel système n'existe pas à ce jour. La technologie devrait être assez facile à appliquer s'il est possible, de manière répétée, de descendre/remonter des ROV lourds vers/depuis le plancher océanique. Il paraît facile d'améliorer le TRL par modélisation expérimentale et essais in situ.
	Amas sulfurés, Encroûtements	Concentration	x								Les applications à terre sont bien connues. Leur applicabilité au traitement des minerais sous-marins profonds n'a fait l'objet que de tests limités. Les principaux sujets à traiter sont : manipulation de minerais humides, consommation énergétique et d'autres intrants, gestion des déchets.
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Tratement métallurgique									La métallurgie des sulfures massifs des gisements terrestres est parfaitement maîtrisée. Celle des encroûtements et des nodules reste largement à développer, des travaux de recherche ayant déjà été conduits. La recherche de procédés permettant la valorisation simultanée, à bas coût, d'un maximum de métaux doit être considérée comme une priorité.
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Navire support									
	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements	Plate-forme									
Transport maritime et stockage	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements										
Stockage	Amas sulfurés, Nodules, Encroûtements										

GESTION DES RESIDUS (TAILINGS)									
	Mise en décharge des résidus								En particulier si le traitement du minerai a lieu en mer une solution doit être développée pour la gestion des déchets de traitement (boues très fines "tailings")
EXTRACTION DES METAUX									
Amas sulfurés	Concentration, lixiviation acide/basique ou bio lixiviation, pyrométallurgie, raffinage								La nature chimique et minéralogique des Amas sulfurés est identique à celle des sulfures massifs terrestres d'origine volcanogénique (VMS), par conséquent le concentré peut être transféré à une fonderie. L'échelle de l'exploitation et la nécessité de stocks tampon sont problématiques pour une mise en œuvre à bord de navires, tout comme les besoins en énergie et les questions de sécurité.
Nodules	Procédé Cuprion, lixiviation acide/basique ou bio lixiviation, pyrométallurgie, raffinage								Plusieurs méthodes d'extraction des métaux ont été identifiées et testées à petite échelle
Encroûtements	Séparation magnétique, concentration, lixiviation acide/basique ou bio lixiviation, pyrométallurgie, raffinage								Les techniques de concentration des matériaux extraits par le système d'exploitation minière, la séparation du substratum, les techniques métallurgiques sont relativement proches de celles utilisées pour les nodules

III-2. Quels sont les acteurs, leurs rôles respectifs et les moyens disponibles pour l'exploration *des ressources minières sous-marines ?*

P. COCHONAT, P. CHRISTMANN, S. SAMADI

1. Introduction

Le domaine concerné par les ressources minérales sous-marines est celui des grands fonds, hors granulats, phosphates et placers (notamment pour les diamants) que l'on trouve sur le plateau continental (<200 m profondeur d'eau). Les techniques d'investigation de ces deux domaines sont souvent communes dans leur principe (fondée sur l'approche géophysique ...) mais bien différentes par leur ampleur (fréquence acoustique, puissance, pénétration) et nécessite des moyens lourds à capacité d'intervention sous-marine profonde (jusqu'à 6000 m) comme on l'a vu dans le chapitre précédent. Les acteurs de l'exploration sous-marine profonde s'intéressent à l'étude de contextes spécifiques : tant d'un point de vue géologique (pentes, bassins profonds, plaines abyssales et croûtes océaniques) que biologique (faune benthique) qui caractérisent les grands fonds.

Les divers acteurs impliqués dans l'exploration des ressources minérales profondes sont donc ceux de la connaissance et de l'intervention sous-marine par grands fonds, océanographes géologues et biologistes, développeurs de technologie, opérateurs miniers, consortium divers... Ils appartiennent au domaine public ou étatique (organisme de recherche) et à des entreprises privées. Ils devront vérifier si les indices de minéralisation

découverts par l'exploration géologique peuvent permettre d'identifier des gisements à potentiel économique avéré. Leurs activités se déroulent essentiellement dans le cadre de permis d'exploration et de recherche délivrés par l'International Seabed Authority (ISA) pour les eaux internationales et par les Etats souverains dans leur ZEE.

Au niveau national, les acteurs du monde minier se sont peu intéressés au milieu marin jusqu'alors et en connaissent mal les spécificités. D'autre part, il n'y a plus de réelle vision stratégique de l'exploitation des ressources marines de la part des pouvoirs publics français par rapport à celle de certains pays (Chine, Japon, Inde, Corée, Allemagne, ...) Malgré les recommandations du Grenelle de la mer (2009) suivi du lancement du début du projet Wallis et Futuna, le comité interministériel de la mer de 2011 qui décidait de lancer une stratégie nationale sur les ressources minérales profonde et tous les efforts du Cluster Maritime soutenu par plusieurs industriels dont notamment ERAMET et TECHNIP, les activités qui relèvent essentiellement de la politique publique, restent en stand by.

Pour ce qui concerne l'international, l'exploration des ressources minérales marines profondes dans la « Zone » internationale, l'Autorité internationale des fonds marins AIFM (ISA - *International Seabed Authority*) a approuvé 26 contrats d'exploration. D'autres demandes sont attendues notamment suite à deux négociations en cours pour nouvelles règles pour l'exploitation des ressources qui aboutiront en 2016. (<https://www.isa.org.jm/>). On peut remarquer que parmi ces 26 contrats, 14 sont passés avec des Etats du Pacifique asiatique, sept avec des Etats de l'Europe occidentale, quatre avec des Etats d'Europe orientale et un avec un groupe latino-américain et caraïbe. Aucun état africain n'est impliqué (voir <http://www.miningweekly.com/article/african-states-urged-to-be-more-involved-as-seabed-mining-regulations-are-drawn-up-2015-08-07-1>).

2. Les acteurs impliqués dans l'exploration de permis miniers marins

1.1. Acteurs dans les eaux internationales

Pour les **nodules polymétalliques** les acteurs « pionniers », dont la France, sont les contractants historiques (depuis une quinzaine d'années) avec l'ISA. Après une première phase de 15 ans d'entretien du permis, ces pionniers vont se trouver très prochainement devant la nécessité de redéposer une demande de permis qui devra démontrer une réelle capacité à exploiter la ressource et la validité du modèle économique.

Plus récemment de nouveaux contractants avec l'ISA se sont manifestés, soulignant ainsi un regain d'intérêt pour les nodules (depuis 2010). A l'exception du seul permis indien qui se situe dans l'Océan Indien, tous les permis sont localisés dans la zone de fracture de Clarion-Clipperton dans le Pacifique nord-est central.

Quatorze permis (dont quatre signés les deux dernières années) et un en cours (Iles Cook), tous dans la zone Clarion-Clipperton sauf un dans l'Océan Indien. Voir ci-dessous la liste établie à partir des données de l'ISA.

Tableau 1 – Permis d'exploration accordés pour les nodules polymétalliques (Source : site le l'ISA <https://www.isa.org.jm>)

Nodules / contractors	Contract Start	Contract End	Sponsoring State	Location
Ocean Mineral Singapore Pte Ltd.	01/22/2015	01/21/2030	Singapore	Clarion-Clipperton Fracture Zone
UK Seabed Resources Ltd.	02/08/2013	02/07/2028	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Clarion-Clipperton Fracture Zone
G-TEC Sea Mineral Resources NV	01/14/2013	01/13/2028	Belgium	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Marawa Research and Exploration Ltd.	01/19/2015	01/18/2030	Kiribati	Clarion-Clipperton Fracture Zone

Tonga Offshore Mining Limited	01/11/2012	01/10/2027	Tonga	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Nauru Ocean Resources Inc.	07/22/2011	07/21/2026	Nauru	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Federal Institute for Geosciences and Natural Resources of Germany	07/19/2006	07/18/2021	Germany	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Government of India	03/25/2002	03/24/2017	n/a	Indian Ocean
Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer	06/20/2001	06/19/2016	France	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Deep Ocean Resources Development Co. Ltd.	06/20/2001	06/19/2016	Japan	Clarion-Clipperton Fracture Zone
China Ocean Mineral Resources Research and Development Association	05/22/2001	05/21/2016	China	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Government of the Republic of Korea	04/27/2001	04/26/2016	n/a	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Yuzhmorgeologiya	03/29/2001	03/28/2016	Russian Federation	Clarion-Clipperton Fracture Zone
Interoceanmetal Joint Organization	03/29/2001	03/28/2016	Bulgaria, Cuba, Czech Republic, Poland, Russian Federation and Slovakia	Clarion-Clipperton Fracture Zone

Les Iles Cook (Cook Islands Investment Corporation (CIIC)) ont déposé une demande dans la zone de Clarion-Clipperton ; elle est en cours d'instruction depuis son examen le 3 février 2014.

Pour les **encroûtements**, trois permis ont été récemment attribués par l'ISA dans l'océan Pacifique (signés depuis un an) et un en cours de négociation (Brésil) :

- Océan Pacifique : Magellan Mountains et Ouest Pacifique et Atlantique sud en cours ;

Tableau 2 – Permis d'exploration accordés pour les encroûtements (Source : site le l'ISA <https://www.isa.org.jm>)

Co-crusts / contractors	Contract Star	Contract End	Sponsoring State	Location
Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation	03/10/2015	03/09/2030	Russian Federation	Magellan Mountains, Pacific Ocean
Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC)	01/27/2014	01/26/2029	Japan	Western Pacific Ocean
China Ocean Mineral Resources Research and Development Association (COMRA)	04/29/2014	04/28/2029	China	Western Pacific Ocean

Une demande du Brésil sur la ride du Rio Grande, dans l'Atlantique, est en cours d'évaluation.

Pour les **amas sulfurés** quatre permis ont été distribués par l'ISA (les quatre dernières années) + deux sont en cours (Brésil et Allemagne)

Tableau 3 – Permis d'exploration accordés pour les amas sulfurés (Source : site le l'ISA <https://www.isa.org.jm>)

Massive sulphides	Contract Start	Contract End	Sponsoring State	Location
Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer	11/18/2014	11/17/2029	France	Mid-Atlantic Ridge
Government of the Republic of Korea	06/24/2014	06/23/2029	Korea	Central Indian Ridge
Government of the Russian Federation	10/29/2012	10/28/2027	n/a	Mid-Atlantic Ridge
China Ocean Mineral Resources Research and Development Association	11/18/2011	11/17/2026	China	Southwest Indian Ridge

Des demandes de permis du Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) allemand et le Geological Survey of Brazil (CPRM) brésilien, le premier sur la partie la plus méridionale de la dorsale centrale-indienne, le second sur la dorsale médio-atlantique Sud, sont à différents stades de préparation et d'évaluation.

1.2. Acteurs dans les zones économiques exclusives des États

Des permis d'exploration, voire d'exploitation, ont été délivrés à plusieurs entreprises ou consortiums par les autorités compétentes des États riverains.

Le cas le plus connu et le plus avancé (première exploitation d'un amas sulfuré sous-marin annoncée pour 2018) et celui de la société

canadienne Nautilus Minerals Inc. dont le capital est aussi contrôlé, en 2012, par Gazmetall Holdings, Anglo American et Teck Resources. Titulaire de nombreux permis dans les états insulaires du Pacifique Ouest, Le projet phare de Nautilus Minerals est le projet Solwara 1, en mer de Bismarck, dans la ZEE de Papouasie-Nouvelle Guinée. Ce projet, qui semblait près d'aboutir à une première exploitation en 2011, a longtemps été bloqué par des difficultés juridiques opposant Nautilus Minerals et le Gouvernement de Papouasie-Nouvelle Guinée. Il semble avoir été relancé par de nombreuses annonces dans la presse ces derniers mois. L'exemple de Solwara est suivi de près par le monde minier sous-marin, car cela sera le premier d'exploitation grandeur nature.

Nautilus a aussi signé un contrat avec Gardline CGG pour entreprendre un programme avec le navire MV Duke (Gardline) pour l'exploration des amas sulfurés de la ZEE des Iles Salomon.

Nautilus a soumis au secrétariat de l'ISA une proposition pour entrer en négociation afin de mettre en place une « joint venture » avec l'Entreprise dans le but de développer l'activité minière dans huit des zones réservées de la Zone Clarion Clipperton. L'entreprise est le bras armé commercial de l'ISA qui aurait ainsi le pouvoir de développer ses propres activités minières jusqu'à ce que l'exploitation devienne une réalité commerciale. (En effet, le régime de la Zone établi par la partie XI de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer repose sur le système dit parallèle, mis en place à l'article 153 de la Convention. Le système parallèle comporte un élément essentiel, qui est la réservation de secteurs, en vertu duquel, dans le cas des nodules polymétalliques, des sites sont réservés pour permettre à l'autorité de mener des activités par l'intermédiaire de l'entreprise soit elle-même, soit en association avec des États en développement. Voir <https://www.isa.org.jm/fr/secteurs-Réservés>)

D'autres sociétés sont listées dans le rapport Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective du CNRS – Ifremer (J. Dymont *et al.*, 2014) :

- Neptune Minerals Plc. (<http://www.neptuneminerals.com/>; enregistrée dans le Nevada, aux Etats-Unis) compte, en 2012, Newmont dans son capital (5%). Elle dispose de permis en Nouvelle Zélande, au Japon, et en Papouasie-Nouvelle Guinée. Son projet-phare est situé dans les îles Kermadec, au nord de la Nouvelle Zélande ;
- Diamond Fields International (<http://www.diamondfields.com/s/Home.asp>; enregistrée à Vancouver, Canada), connue pour avoir exploité les diamants dans les sédiments au large de la Namibie, a récemment racheté les droits

de Preussag AG sur le site de l'Atlantis II Deep, en mer Rouge, et envisage d'y exploiter les boues métallifères d'origine hydrothermale ;

- Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC, Japon; <https://www.jogmec.go.jp/english/>) est une compagnie japonaise qui développe un important programme de recherches minérales dans les eaux japonaises, notamment dans les arcs et bassins d'arrière-arc Izu-Ogasawara et d'Okinawa ;

- Enfin un consortium français (partenariat public-privé) constitué notamment d'Eramet (<http://www.eramet.com/>), de Technip (<http://www.technip.com/fr>) et d'Ifremer (<http://wwwz.ifremer.fr/institut>), travaille depuis 2010 sur les sulfures dans la ZEE française de Wallis et Futuna avec la collaboration scientifique de l'IPG Paris, UBO Brest, CNRS et CEA (Areva, BRGM et Agence des Aires Marines Protégées, présents au début du projet se sont retirés en 2012).

3. Vers une filière minière sous-marine en France ?

3.1. Les acteurs miniers français potentiels identifiés par le groupe Synergie Grand Fond du Cluster Maritime Français

Membres fondateurs du projet Wallis et Futuna, Eramet, Technip et Ifremer avaient accepté de participer à la mise en place d'une filière en relation avec la composante en charge des Mines au Ministère de l'Environnement et au Ministère du Budget : Eramet en tant que métallurgiste, et exploitant minier ; Technip en tant que architecture d'ensemble/intégrateur et Ifremer en tant qu'expert pour l'exploration géologique et biologique. Ces derniers ont été rejoints dans le cadre du Cluster Maritime Français par d'autres entreprises telles que Fayat travaux sous-marins, DCNS, Louis Dreyfus Armateur, Créocéan.

Eramet est un groupe minier et métallurgique français en forte croissance qui fonde l'exercice et le développement de ses activités sur un projet de croissance durable, rentable et harmonieuse. Le Groupe emploie environ 16 000 personnes dans plus de 20 pays sur les cinq continents et détient des positions mondiales de premier plan dans chacune de ses activités. Les trois branches du Groupe, Eramet Nickel, Eramet Manganèse et Eramet Alliages ont réalisé ensemble en 2008 un chiffre d'affaires de 4

346 M€ La R&D est au cœur du projet de croissance rentable, durable et harmonieuse d'Eramet. L'innovation dans les procédés de transformation des minerais et le développement de nouveaux produits constituent un facteur clé de différenciation et de compétitivité pour le groupe.

Technip, est le leader européen de l'ingénierie, des technologies et de la réalisation de projets pour l'industrie du pétrole et du gaz ainsi que des Mines & Métaux fort d'une expérience de plus de 50 ans. Grâce à l'expertise et au savoir-faire de ses équipes, Technip apporte une contribution déterminante au développement de technologies et de solutions durables pour valoriser les ressources énergétiques mondiales. Le Groupe emploie environ 23 000 personnes sur les cinq continents, et détient des positions mondiales de premier plan dans chacune de ses activités. Les trois branches du Groupe, Onshore, Offshore, Subsea ont réalisé ensemble en 2007 un chiffre d'affaires de 7 500 M€ En outre, Technip offre une large gamme de produits et de technologies dans le domaine du subsea (conduites sous-marines, ombilicaux) et possède une flotte de 19 navires ainsi que de nombreuses usines de fabrication. Fort de cette combinaison unique des savoir-faire, Technip a remporté auprès de Nautilus Minerals un contrat de service pour le système de liaison fond-surface du projet minier sous-marin Solwara 1 au large de la Papouasie Nouvelle Guinée. Enfin, Technip s'est vu attribuer par Neptune Minerals un contrat d'avant-projet pour l'étude d'une unité pilote au large de la Nouvelle Zélande.

L'Ifremer contribue, par ses travaux et expertises, à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et du littoral et au développement durable des activités maritimes. À ces fins, il conçoit et met en œuvre des outils d'observation, d'expérimentation et de surveillance, et gère des bases de données océanographiques. Créé en 1984, l'Ifremer est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle conjointe des ministères de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Il opère une part très significative de la flotte océanographique, dont l'ensemble des systèmes sous-marins et équipements lourds mobiles (8 navires (dont 4 hauturiers), 1 submersible habité, 2 engins téléopérés dont un pour grande profondeur (- 6 000 m) et 2 AUVs...). au sein de l'UMS Flotte en charge de la programmation et l'évolution de l'ensemble de la flotte océanographique française. L'Ifremer travaille en réseau avec la communauté scientifique française, mais aussi des organismes partenaires dans de nombreux pays. (Etats-Unis, Canada, Japon, Chine, Australie, Russie), et sur une politique méditerranéenne associant l'Europe à la rive Sud de la Méditerranée. L'Ifremer conduit une recherche finalisée afin de répondre aux questions sociétales actuelles (effets du changement climatique, biodiversité marine, prévention des pollutions, qualité des produits de la mer, ressources minérales et énergétiques...). Les résultats

couvrent la connaissance scientifique, les innovations technologiques ou les systèmes d'observation et d'exploration de l'océan. Le partenariat est public, privé ou associe les deux. Ifremer travaille sur un nouvel AUV qui sera spécialisé dans la recherche des ressources minérales.

L'intérêt des PME françaises pour les ressources minérales a été rappelé dans un récent article de l'Usine Nouvelle (Delamarche M., 2015). Quelques exemples sont repris ci-dessous :

- la société Créocéan, filiale rochelaise du groupe nantais Keran a mis au point, en collaboration avec l'Institut de physique du globe, une méthode d'exploration non invasive des planchers océaniques, utilisable en grande profondeur (3 000 mètres), à partir de mesures électromagnétiques. Sa technologie permet notamment de différencier les sites actifs d'amas sulfurés des sites inactifs (propices à l'exploitation), en mesurant leur niveau d'activité géothermique et biologique ;
- la société ECA, fournisseur historique de la défense conçoit des robots sous-marins depuis plus de quarante ans, secondent aujourd'hui la recherche scientifique et l'industrie. Ils sont prêts à « construire un AUV autour d'un capteur adapté à la ressource. » ;
- Ixblue spécialisées dans les systèmes de positionnement vient « de fournir à un institut indien un système pour la recherche de nodules polymétalliques à 6 000 mètres de fond.
- Mappem Geophysics, au départ, start-up issue d'une business unit de l'université de Bretagne occidentale (UBO), devenue une SAS, immatriculée fin 2014. Pascal Tarits son conseiller scientifique (UBO), est associé à Créocéan pour concevoir un système autonome non câblé, combinant un AUV et un ROV, dans le cadre du Concours mondial de l'innovation.
- Doremi, ce système géophysique s'appuie sur une nouvelle technique d'utilisation des champs électriques sous-marins pour rendre en trois dimensions le volume et les caractéristiques des ressources minérales. Projet lauréat du Concours mondial de l'innovation, il est, aussi porté par Pascal Tarits.

3.2. Le minier dans le milieu de la recherche scientifique en France

Le programme d'exploration des zones à nodules polymétalliques a été en France le programme phare dans le domaine des ressources minérales, avec le consortium « Afernod » qui en confie la maîtrise d'œuvre au Cnexo, puis à l'Ifremer. A partir des années 1970 et jusqu'en 1988, 48 campagnes à la mer seront ainsi conduites dans le Pacifique, dont certaines ont aussi permis opportunément la découverte des encroûtements cobaltifères des Tuamotu (Bougault H. et Saget P., 2011). Un important programme de développement technologique a accompagné cette aventure avec la réalisation du submersible habité « le Nautilus » et avec le développement d'un sonar grand fond le « SAR » (Système Acoustique Remorqué). Ce programme a conduit à l'attribution d'un premier permis minier en 1987 (signé en 2001), par l'Autorité Internationale des Fonds Marins, en anglais ISA International, Seabed Authority

L'effort dédié en France à l'étude des encroûtements cobaltifères, qui a été beaucoup plus modeste, est bien résumé dans l'article de Bougault H. et Saget P. (2011), il avait démarré avec le programme nodules lors de la première campagne NIXO 01 en 1971.

En 1974 une étape très importante dans la recherche et l'étude des grands fonds avait été franchie. Pour la première fois, deux pays, les Etats-Unis et la France, incontestables pionniers et leaders dans la recherche océanographique et la conquête des abysses, après avoir été un temps concurrents, décident de s'unir et mettent leurs ressources humaines et techniques en commun. C'est le projet **Famous : French American Mid Ocean Undersea Survey** monté dans le cadre de l'accord de coopération entre la NOAA américaine (National Oceanographic and Atmospheric Agency, la NASA de la mer) et le CNEXO français (Centre national pour l'exploitation des océans, devenu, en 1984, l'Ifremer) (http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-decouvertes/Structure-des-fonds/Les-dorsales/Famous) . Au plan scientifique, ce qui n'était encore qu'une théorie reposant sur des observations obtenues en aveugle depuis la surface et sur de nombreuses hypothèses, va être vérifiée par la vérité terrain (plongées en submersibles Cyana et Alvin). Famous a permis cette première observation directe validant toute une théorie. Famous a ouvert la voie à de nouveaux et nombreux programmes qui vont conduire géologues et géophysiciens sur de nombreuses dorsales dans divers océans, et conduira les biologistes aux découvertes extraordinaires qui ont accompagné l'étude des sources hydrothermales.

Des programmes de recherche ont alors été mis en place sur la croûte océanique principalement l'hydrothermalisme, tant à l'Ifremer qu'au CNRS pour l'étude de la croûte océanique au niveau des dorsales médio-

océaniques, le programme « Dorsales » piloté par le CNRS, composante du programme international « Interridge ».

L'expertise scientifique ainsi développée a permis de monter le projet Wallis et Futuna en partenariat avec les industriels (voir ci-dessus et détail du projet dans la contribution III-3)

L'expertise scientifique collective (« Esco ») « Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes » (Dyment J. *et al.*, 2014) liste les **acteurs académiques**, instituts de recherche impliqués dans l'exploration, la connaissance et le suivi des fonds océaniques, qui pourraient contribuer à l'exploration des ressources minérales : CNRS-INSU (Paris), CNRS-InEE (Paris), Ifremer (Brest), Institut de Physique du Globe de Paris, Géosciences marines (Paris), Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer (Brest), BRGM (Orléans), Museum National d'Histoire Naturelle, IRD, Université Pierre et Marie Curie: équipe "adaptation aux milieux extrêmes" (Paris), Université Pierre et Marie Curie: station de Villefranche sur mer, station biologique de Roscoff (Roscoff), station biologique de Banyuls (Banyuls), Université Paul Sabatier, Laboratoire Géosciences et environnement de Toulouse.

4. Autres acteurs mondiaux

4.1. La recherche scientifique en Europe

Comme en France de nombreuses équipes scientifiques étudient le milieu océanique profond et leur environnement géologique et biologique, notamment les dorsales, la croûte océanique, le volcanisme intraplaque ou les plaines abyssales dans le cadre de programmes de recherche qui ne sont pas particulièrement orientés vers les ressources minérales –loin s'en faut !– mais qui apportent l'indispensable connaissance du milieu et des processus qui ont pu conduire à la mise en place des dépôts riches en minéralisations de différentes natures (Dyment J. *et al.*, 2014). C'est aussi sur les données cartographiques ainsi acquises et les premiers indices découverts que les demandes de permis ont pu se faire dans différents pays (en Allemagne : BGR (Hannover), Geomar (Kiel), Marum (Bremen), en Belgique Université de Liège, en Norvège University of Bergen, au Portugal Université de Lisbonne, au Royaume Uni National Oceanographic Centre (Southampton), University of Cardiff, University of Durham.

4.2. Organisation institutionnelle des pays (hors Europe) pour l'exploration minière

Des associations ou alliances se sont mis en place dans certains pays, comme la « *Chinese Oceanography and Marine Research Association* » (COMRA) en Chine qui a signé en 2014 avec l'ISA un accord pour un permis sur les encroûtements dans l'Ouest Pacifique. Autre exemple, les autorités allemandes ont soutenu l'initiative tirée par les industriels pour mettre en place la DSMA « *Deep Sea Mining Alliance*. » Les buts principaux de cette Alliance sont la préparation de projets commerciaux, technologiques, scientifiques et environnementaux dans le domaine du « *deep sea mining* », et une meilleure coordination des activités nationales et internationales. Elle comprend 25 membres principalement industriels.

Comme en Europe beaucoup d'instituts et d'universités ont récemment développé des programmes de recherche sur les ressources minérales marines et le « *deep sea mining* » comme en Chine le *First Institute of Oceanography (Qingdao)* et le *Second Institute of Oceanography (Hangzhou)*. Le pays s'est aussi récemment engagé très fortement sur la recherche et le développement pour l'exploration de l'océan profond. Un centre de recherche est en cours de construction à Qingdao (Province de Shandong), pour les systèmes sous-marins opérant à grande profondeur.

Au Japon, le *Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (Jogmec)* a été mandaté par l'Agence des Ressources Naturelles et de l'Energie pour développer la technologie robotique pour le « *deep sea mining* », alors que le *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Jamstec)* vient de lancer un nouveau centre de recherche et de développement pour les ressources sous-marines (hydrothermalisme et encroûtements cobaltifères) et son centre de technologie et ingénierie marine (Maritec) développe des nouveaux systèmes d'exploration des ressources sous-marines (AUV et ROV). Un accord a été signé avec l'Ifremer à ce sujet. Deux autres grandes institutions contribuent à ces travaux : *Tokyo Institute of Technology (Tokyo)* *University of Tokyo (Tokyo)*.

Le *Korean Ocean Research and Development Institute (KORDI)* qui a conduit des recherches marines pendant 40 ans est devenu le *Korean Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)* en 2012 a supporté un fantastique développement des recherches océanographiques avec notamment la coordination des activités de recherche coréenne en faveur du développement des ressources marines et la protection de l'environnement marin avec d'autres organismes gouvernementaux, les universités et les industries privées.

D'autres pays émergents, comme l'Inde, l'un des derniers pays arrivé dans le concert international avec le *National Institute of Oceanography (Goa)*, ou la Russie un pionner dans le domaine de l'exploration océanique profonde avec l'Institut Vernadsky (Moscou) et VNIIOkeangeologia (Saint Petersburg).

D'autres institutions du monde académique international contribuent aux recherches océanographiques relatives aux ressources minérales profondes, notamment aux Etats-Unis : Lamont-Doherty Earth Observatory (Palisades), Scripps Institution of Oceanography (La Jolla), University of Washington (Seattle), Woods Hole Oceanographic Institution (Woods Hole), au Canada University of Victoria, en Australie University of Tasmania (Hobart), CSIRO Sydney, et en Nouvelle Zélande GNS Science National Institute of Water and Atmospheric Research.

4.3. Compagnies ou sociétés offshore pouvant offrir leurs services

Divers compagnies ou sociétés offshore peuvent offrir leurs services et leurs outils pour l'exploration minière par grand fond (d'après Dymont J. *et al.*, 2014)

- **des compagnies de service géophysique** comme la compagnie Fugro (<http://www.fugro.com/>), la CGG (<http://www.cgg.com/>), Schlumberger (<http://www.slb.com/>), Halliburton (<http://www.halliburton.com/en-US/default.page>) Gardline et Créocéan) ;

- **les fournisseurs d'instruments** dont les principaux fabricants majeurs d'équipements océanographiques (voir contribution III-1 technologies d'exploration) comme Kongsberg Maritime - Simrad (<http://www.simrad.com/>), Atlas Hydrographic (<http://www.atlashydro.atlas-elektronik.com/company-info/>), Teledyne Reson (<http://www.teledyne-reson.com/>), L3-ELAC Nautik - SeaBeam (<http://www.elac-nautik.de/>), Triton (<http://www.tritonimaginginc.com/site/>) ;

- **les fabricants d'AUV** : Bluefin Robotics (<http://www.bluefinrobotics.com/>), International Submarine Engineering (ISE, modèle Explorer, Theseus) (<http://www.ise.bc.ca/>), Lockheed Martin (modèles Marlin) (<http://www.lockheedmartin.com/>), Marine Autonomous Systems Engineering (Semi-Autonomous Underwater Vehicle for Intervention Mission) (<http://maseinc.com/>) ;

- les fabricants de ROV, le site http://www.rov.org/industry_manufacturers_rovs.cfm fournit une liste de fabricants d'engins légers. La Comex (<http://www.comex.fr/>) fournit des prestations en intervention sous-marine ;
- les compagnies disposant d'instruments de forage de faible profondeur dans des roches consolidées (typiquement des sulfures) : Benthic (<http://www.benthic.com/>): Portable Remotely Operated Drill (PROD) : Gregg Marine (<http://www.greggmarine.com/>): Seafloor Drill, Seafloor Geoservices Inc, ROVDrill 3 - Williamson & Associates (<http://www.wassoc.com/ocean-engineering/drills>).

5. L'accès aux infrastructures et aux moyens à la mer pour l'exploration en France

Un aspect important, sinon majeur, de l'exploration des ressources minérales marines concerne l'accès aux moyens à la mer.

5.1. En France : la Très grande infrastructure de recherche (TGIR) Flotte océanographique française

Tiré de <http://www.flotteoceanographique.fr/>

La panoplie des navires hauturiers et engins sous-marins de la **TGIR FOF « Flotte océanographique française »** permet l'accès à tous les océans et mers du globe, hors zone polaire. Les navires côtiers et de station permettent d'assurer un continuum avec les zones côtières et littorales. La TGIR occupe une place de premier rang sur la scène internationale, de par la qualité des publications issues des campagnes océanographiques, le niveau de performance de ses moyens et l'avance significative dans certains segments innovants comme les systèmes sous-marins et le carottage sédimentaire profond.

La Flotte océanographique française désigne l'ensemble des moyens navals français appartenant aux quatre organismes fondateurs. Elle se compose principalement des plates-formes hauturières, côtières et de station (de longueur supérieure à 10 m), des équipements lourds associés (*Nautile*, ROV *Victor 6000*, ...), et les équipements communs mobiles (gliders, carottiers, ...).

En 2011, le CNRS/INSU, l'Ifremer, l'IPEV et l'IRD, ont signé sous l'égide du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, le texte fondateur de **l'UMS Flotte océanographique française**.

L'UMS Flotte océanographique française a été créée avec pour objectif une gestion coordonnée de la TGIR Flotte océanographique française, prioritairement au service de la communauté scientifique, dans le respect des spécificités de ses membres, autour de trois missions :

- élaborer et mettre en œuvre la programmation intégrée des navires et des équipements lourds ouverts aux appels d'offres nationaux (hauturiers et côtiers);
- assurer la prospective, la définition et la coordination du plan d'évolution de la flotte, en prenant en compte les besoins des opérateurs nationaux publics non membres de l'UMS (TAAF, Marine nationale) ;
- coordonner les politiques d'investissement.

Les **différents domaines d'utilisation** de la Flotte correspondent chacun à plusieurs objectifs majeurs :

La flotte est utilisée prioritairement pour effectuer des **recherches scientifiques** et des observations dans tous les domaines de l'océanographie appartenant principalement aux sciences de l'univers et aux sciences de l'environnement : géosciences marines, océanographie physique et biologique, bio géochimie et chimie des océans, paléoclimatologie, biodiversité marine, etc.

Répondant également à des besoins de surveillance, **d'expertise ou de missions de service public** pour le compte de l'Etat, elle permet d'aborder les thèmes de l'hydrographie, de l'environnement côtier, des ressources halieutiques, de la délimitation de la ZEE, ainsi que les aléas sismiques, volcaniques et gravitaires (tsunami).

Afin de maintenir en conditions opérationnelles et de développer les nouveaux outils, une recherche technologique de haut niveau est développée, elle nécessite l'utilisation de la flotte pour conduire des campagnes spécifiques d'essais et de « **recherche technologique** ».

Elle est également sollicitée dans le cadre **d'affrètements, et de partenariats recherche-industrie** avec le monde socio-économique, notamment dans le domaine des ressources minérales et énergétiques, par exemple les partenariats public/privé avec de grands groupes : Total, EXXON Mobil, Technip, Eramet... Elle participe enfin à la formation à la recherche en liaison avec les universités.

La programmation des campagnes océanographiques découle d'un long processus rappelé dans le tableau suivant. Pour les campagnes de recherche scientifique, le processus prend généralement plusieurs années entre la réponse à l'appel d'offres des commissions d'évaluation (CNFH pour l'hauturier et CNFC pour le côtier) (<http://www.flotteoceanographique.fr/Campagnes-scientifiques/Campagnes-hauturieres/Appel-d-offres-hauturier-a-partir-de-2017>). Il se poursuit par l'évaluation des dossiers par les mêmes commissions et leur programmation par les opérateurs de la flotte. La programmation peut éventuellement être exceptionnellement plus rapide, si la logistique le permet, pour d'autres types de campagnes co-financées comme les campagnes de service public, les partenariats public-privé – industrie) ou les affrètements.

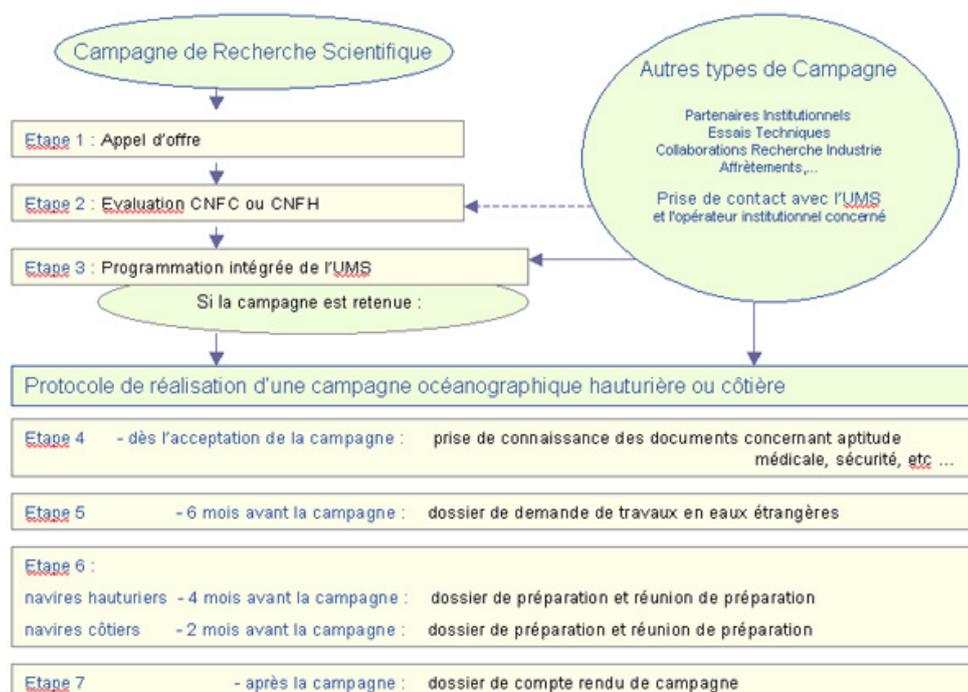


Figure 1 – Processus suivi pour la réalisation d'une campagne océanographique hauturière (Source : <http://www.flotteoceanographique.fr/Campagnes-scientifiques/Campagnes-hauturieres>)

Un récent rapport (avril 2015) du CGEDD (conseil général de l'environnement et du développement durable) du MEDDE propose une gestion de l'ensemble de la FOF par un service à comptabilité distincte qui pourrait être adossé à l'Ifremer.

5.2. Campagnes en partenariats institutionnels nationaux et européens

La structure juridique de l'UMS Flotte océanographique française ne lui permet pas de passer des accords internationaux ou d'être l'interlocuteur privilégié de la Commission européenne. Les accords passés par ses membres (à ce stade l'Ifremer) en font cependant un acteur majeur de la coordination des flottes européennes :

- des liens forts et anciens entre l'Ifremer, l'IEO (Espagne), l'Icram (Italie) pour la conception/utilisation de *Thalassa* et de *L'Europe* ;
- l'accord tripartite signé en 1996 entre l'Ifremer, le Nerc (*Natural Environment Research Council*) pour la Grande-Bretagne, le BMBF (*Bundesministerium für Bildung und Forschung*) pour l'Allemagne fédérale, afin de faciliter les échanges de grands équipements océanographiques (navires, Rovs, prêts de matériels...) en Europe (on parle d'échanges de temps-navire). Cet accord a été transformé depuis en OFEG (*Ocean Facilities Exchange Group*) avec l'adhésion des Pays-Bas, la Norvège et l'Espagne.
- une nouvelle étape a été franchie pour une coordination des flottes de recherche européennes, avec le projet Eurofleets. Le projet, Eurofleets II, coordonné par l'Ifremer, bénéficie d'un important financement de la Commission européenne sur la période 2013 – 2016.
- au niveau national, la flotte s'appuie sur des partenariats institutionnels forts avec en particulier les TAAF, la Marine nationale, et le SHOM.
- Le *Marion Dufresne* est opéré conjointement par les TAAF et l'IPEV, permettant ainsi une utilisation coordonnée du navire tant dans le domaine de la logistique pour la desserte des îles australes (quatre rotations de 30 jours par an), que pour la réalisation de campagnes scientifiques sur toutes les mers du monde (217 jours maxi par an).
- L'Ifremer a développé des relations originales et exemplaires avec la Marine nationale pour la construction et l'utilisation du *Pourquoi pas ?*. Le navire *Thalassa* a servi également de modèle à la construction du *Beautemps-Beaupré* (mise en service 2003, 80,65 mètres), navire hydrographique armé par la Marine nationale au profit du SHOM.

5.3. Campagnes avec des moyens privées ?

Pour certains projets la possibilité d'utiliser des moyens à la mer du secteur privé est actuellement examinée. Ces projets ne sont pas suffisamment matures pour les citer ici. Mais des industriels sont prêts à proposer leur service. Il faut cependant que la campagne soit montée et réalisée par une équipe scientifique disposant de l'expertise nécessaire pour mener une campagne de type de recherche scientifique et pour traiter et interpréter les données.

6. Quel plan de campagnes pour l'exploration des ressources minérales marines profondes en Polynésie française ?

Le programme Zepolyf avait permis la réalisation d'une synthèse bathymétrique complète à partir des données existantes rassemblées dans une grille au pas de $1 \times 1^\circ$ sur l'ensemble de la Polynésie française (Jordahl K. et al., 2004). Ce sont les données acquises par sondeur multifaisceaux lors de 65 expéditions menées entre 1980 et 2001 comprenant des campagnes océanographiques (comme par exemple, les campagnes Zepolyf, Nodco etc...) ou des transits passant par Tahiti. La figure ci-dessous montre la couverture bathymétrique par multifaisceaux existante. Les données bathymétriques récemment acquises lors des récentes campagnes Extraplac ne sont pas prises en compte ici, mais comme déjà signalé en I-4, le projet Extraplac n'a pas vocation à réaliser des reconnaissances complètes de la ZEE, les données sont acquises dans les zones d'extension possible du plateau continental à la périphérie de la ZEE.

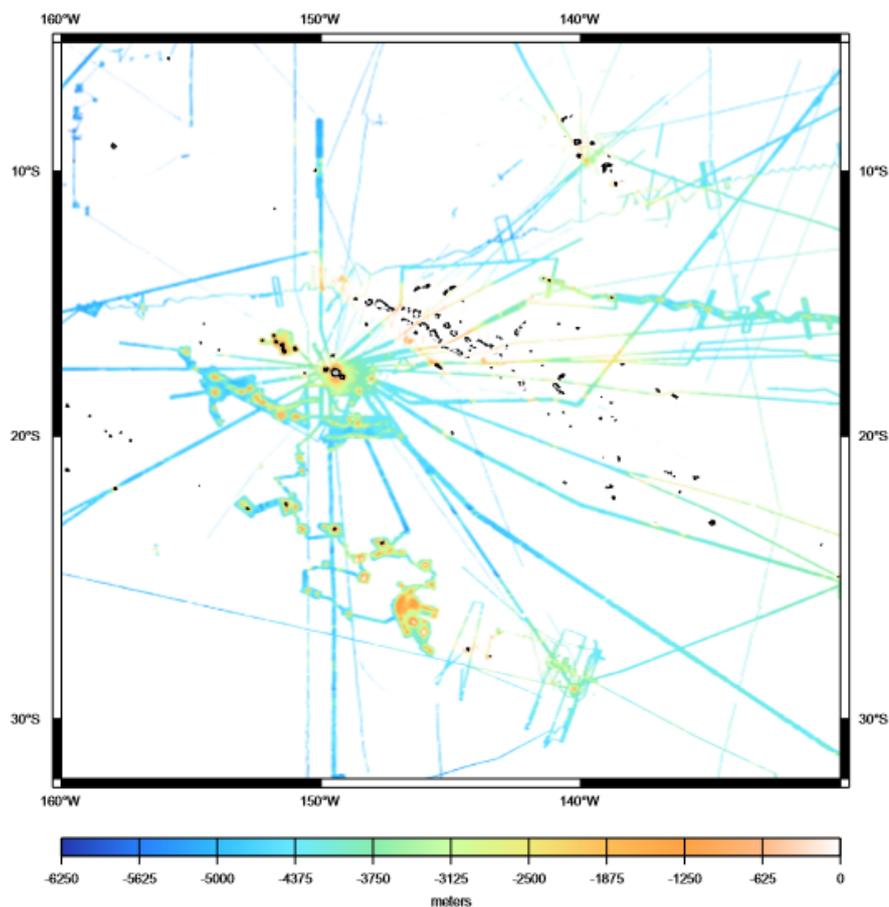


Figure 2 – New depth compilation for French Polynesia. Gaps between soundings have been left blank (Source: Jordahl *et al.*, 2004)

Ces données ont permis de fournir une carte synthétique en y incluant d'autres données dont les données altimétriques entre autres. Cette carte finale résulte d'une interpolation pour sa grande partie. C'est donc un premier document qui a une valeur certaine à l'échelle de l'ensemble de la Polynésie, mais qui manque cruellement de résolution dans le détail. Un programme de cartographie bathymétrique régionale ciblée sur les zones d'intérêt potentiel pour les ressources minérales profondes est donc un préalable indispensable

6. 1. Objectifs des campagnes

6.1.1. Première campagne

- validation des données existantes et confirmation de l'intérêt de certains secteurs, dont celui de Kaukura et de quelques secteurs favorables du point de vue morphologique pour la recherche de gisements d'encroûtements cobaltifères (campagne de validation préalable) ;
- donner un « Go / no Go » de poursuite d'un projet d'exploration (qui pourrait justifier le dépôt d'un permis d'exploration ?).

6.1.2. Objectifs généraux de toutes les campagnes

- disposer d'un fond bathymétrique régional (sur zones ciblées) réalisé à partir de données acquises avec des moyens modernes (résolution décimétrique) ;
- définir le potentiel minier de la ZEE de Polynésie française en établissant un modèle géologique de formation des encroûtements cobaltifères fondé sur une bonne connaissance de la géologie régionale ;
- structuration de la croûte océanique et du substrat carbonaté, interactions fond de mer / courants océaniques, rôle de la microbiologie ;
- géomorphologie régionale, notamment pour identifier des secteurs continus de faible pente (notion de pente limite à définir), carte des pentes ;
- à l'échelle des sites potentiels, microtopographie, variabilité de l'épaisseur et continuité des croûtes, variabilité de la teneur en métaux, nature du substrat etc... ;
- identification de cibles privilégiées pour y conduire des études haute résolution ;
- identifier des cibles de 100 km² continus d'encroûtements exploitables (teneur en métaux, épaisseur de la croûte, morphologie peu chaotique et à faible pente, microtopographie)
- environnements profonds : connaissance de la variabilité spatiale de la structure de la biodiversité et des interactions écologiques entre les écosystèmes à l'échelle de la Z.E.E et à l'échelle des sites (100 km²)
- observation temporelle
- reconnaissance d'autres zones de la ZEE que celles concernées par les encroûtements ?

6.2. Type de travaux

Il s'agit de monter un programme pluriannuel et fortement pluridisciplinaires, pour une phase d'exploration complète (campagnes, traitements et analyses de données, étude économique et de faisabilité) par étapes successives. Sachant qu'une décision importante sera prise à l'issue de la première campagne de validation des données existantes et de confirmation du potentiel géologique. Cette première campagne permettra aussi de mieux évaluer les besoins pour poursuivre l'exploration par l'évaluation des ressources.

Les moyens modernes peuvent permettre de réaliser de nombreuses opérations sur un navire de recherche océanographique (lors de plusieurs campagnes) :

- géophysique de surface, bathymétrie et imagerie acoustique (résolution bathymétrique de l'ordre de 40 m par 1 000 m de fond, voire 12,5 m en mode haute densité la résolution est fonction de la profondeur) ;
- géophysique fond de mer (bathymétrie et imagerie à résolution décimétrique, ROV (observation prélèvements, mesures in situ / spectromètre Raman ?) et AUV (cartographie et imagerie haute résolution près du fond) ;
- prélèvements (dragues à roches, carottages gravitaires et mini-forages carottés 50 cm) ;
- prélèvements de faune benthique (possibles en association aux opérations de drague à roche) ;
- mise en œuvre de châssis instrumenté pour autres mesures in situ ou prélèvements ;
- dépose et récupération de mouillages pour instrumentation de sites (observation de l'évolution spatio-temporelle biologique, courants...) ;
- traitement et analyse à bord : traitement des données de cartographie et d'imagerie et premières analyses chimiques et minéralogiques par fluorescence X et diffraction X.

Les trois types d'approches : reconnaissance géophysique à large couverture, étude de site plus ciblée, et opérations en station peuvent être regroupées partiellement lors d'une même campagne permettant ainsi de couvrir plusieurs phases classiques d'un projet minier (voir I-0, introduction de ce rapport). L'expérience des campagnes Futuna a par exemple montré qu'avec des moyens modernes et une approche vraiment pluridisciplinaire, on peut aller assez vite pour l'exploration... si on s'en donne les moyens.

A cela s'ajoute d'importants programmes d'interprétation des données cartographiques et géophysiques et des analyses post-campagne,

(notamment géomorphologiques, métallogéniques, géotechniques et biologiques).

Dans le cas de développements technologiques innovants, des campagnes d'essais technologiques sont aussi à prévoir (pas nécessairement en Polynésie).

6.3. Déroulement des opérations

6.3.1 Campagne de validation

6.3.1.1. CHOIX DES SITES D'ETUDES

Dans l'historique des travaux d'exploration profonde en Polynésie Française, tout est parti de quelques données acquises lors des campagnes Zepolyf, Nodco et Polydrag, il y a une trentaine d'années dans les Tuamotu. L'urgence nous paraît être de valider par une campagne préalable ces données pour ce qui concerne la réalité et l'étendue du potentiel géologique des encroûtements cobaltifères et d'avoir une meilleure connaissance morpho-bathymétrique de sites potentiellement intéressants (ex site de Kaukura ?).

Les **Tuamotu** présentent l'avantage d'une zone morphologiquement adaptée à nos besoins avec une vaste zone entre 800 et 2500, comme le montre l'étendue du secteur inférieur à 2500 m de profondeur sur la carte bathymétrique (figure 3), notamment mais pas exclusivement dans sa partie sud-ouest (zone de Kaukura, figure 4). La carte des pentes de la zone de Kaukura (figure 5) confirme l'existence de grandes surfaces à pente faible (<10%) dans la tranche inférieure à 2500 m de profondeur. De même une carte bathymétrique détaillée reprise d'une publication des résultats des campagnes Nodco (Bougault et Saget, 2011) montre la présence d'encroûtements attestée par des premiers prélèvements.

Il conviendra aussi d'y vérifier l'épaisseur et l'extension latérale des encroûtements. L'analyse bibliographique a montré que cette zone peut avoir un âge bien plus ancien que celui de toutes les autres structures volcaniques de Polynésie française (rappelons que c'est l'âge du plancher océanique carbonaté ou non qui supporte les encroûtements qui nous intéresse, davantage que l'âge de l'activité volcanique qui peut être ponctuellement plus récente).

Nous pouvons donc faire de la zone de Kaukura (hors secteurs à conflits d'usage potentiels) une cible privilégiée pour valider les données notamment en termes de volume de croûte (épaisseur et extension latérale) et surtout de teneur en métaux par de nouveaux prélèvements. Kaukura est

située dans la partie plutôt nord-ouest qui présente les arguments d'un âge de croûte océanique plus ancien.

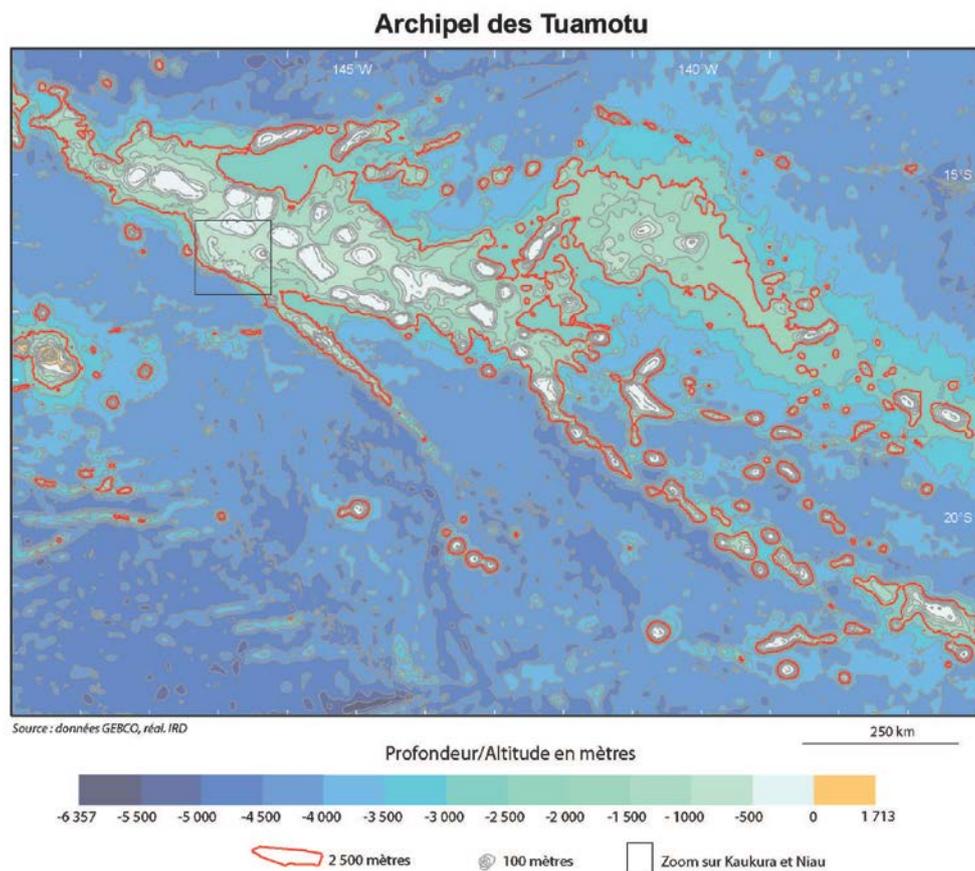


Figure 3 – Bathymétrie de la région de l'archipel des Tuamotu, montrant la répartition des zones où la profondeur est inférieure à 2500 m (isobathe 2500 m en rouge)

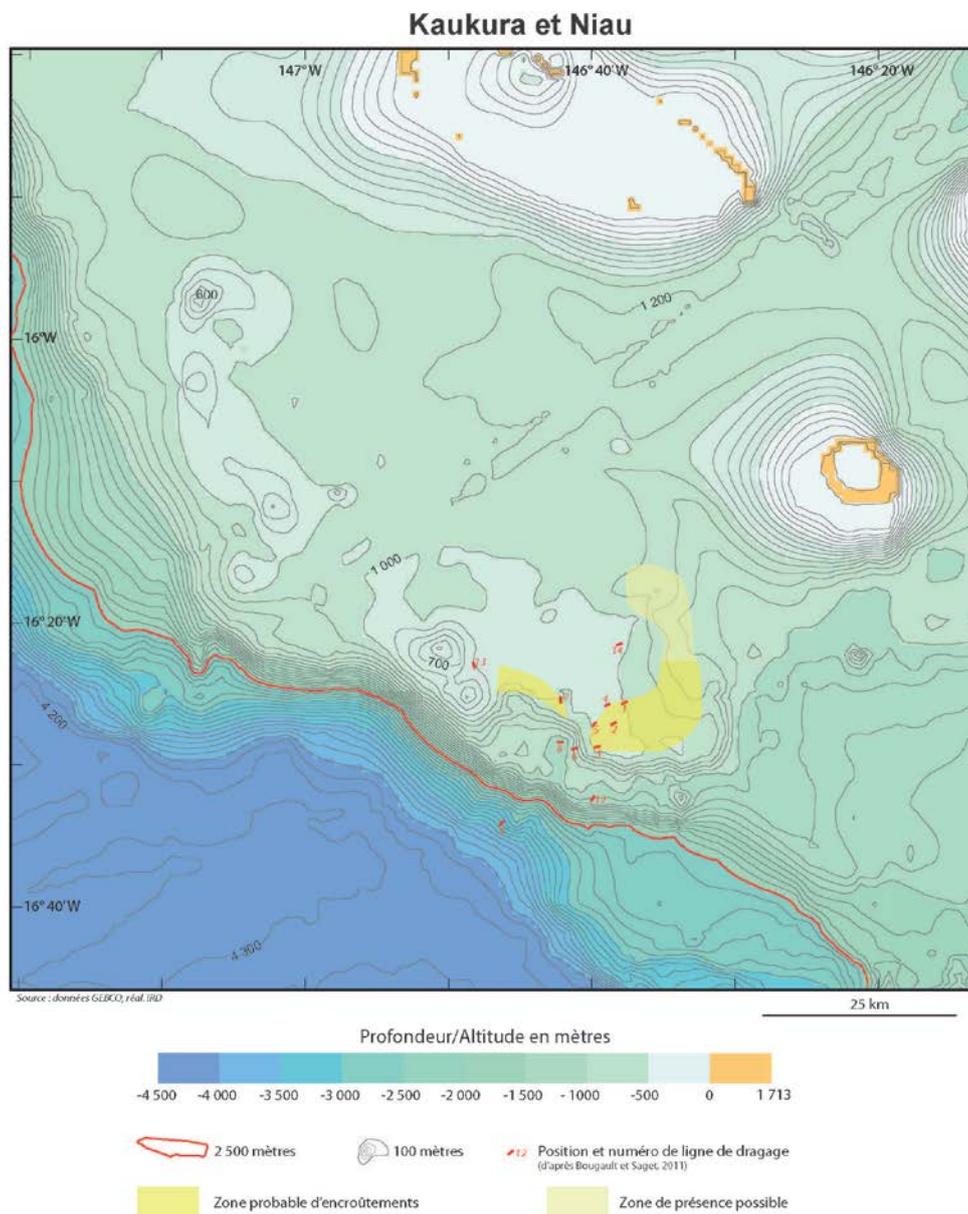


Figure 4 – Bathymétrie de la région de Kaukura et Niau, dans l'archipel des Tuamotu, avec positionnement des prélèvements effectués, d'après Bougault et Saget, 2011.

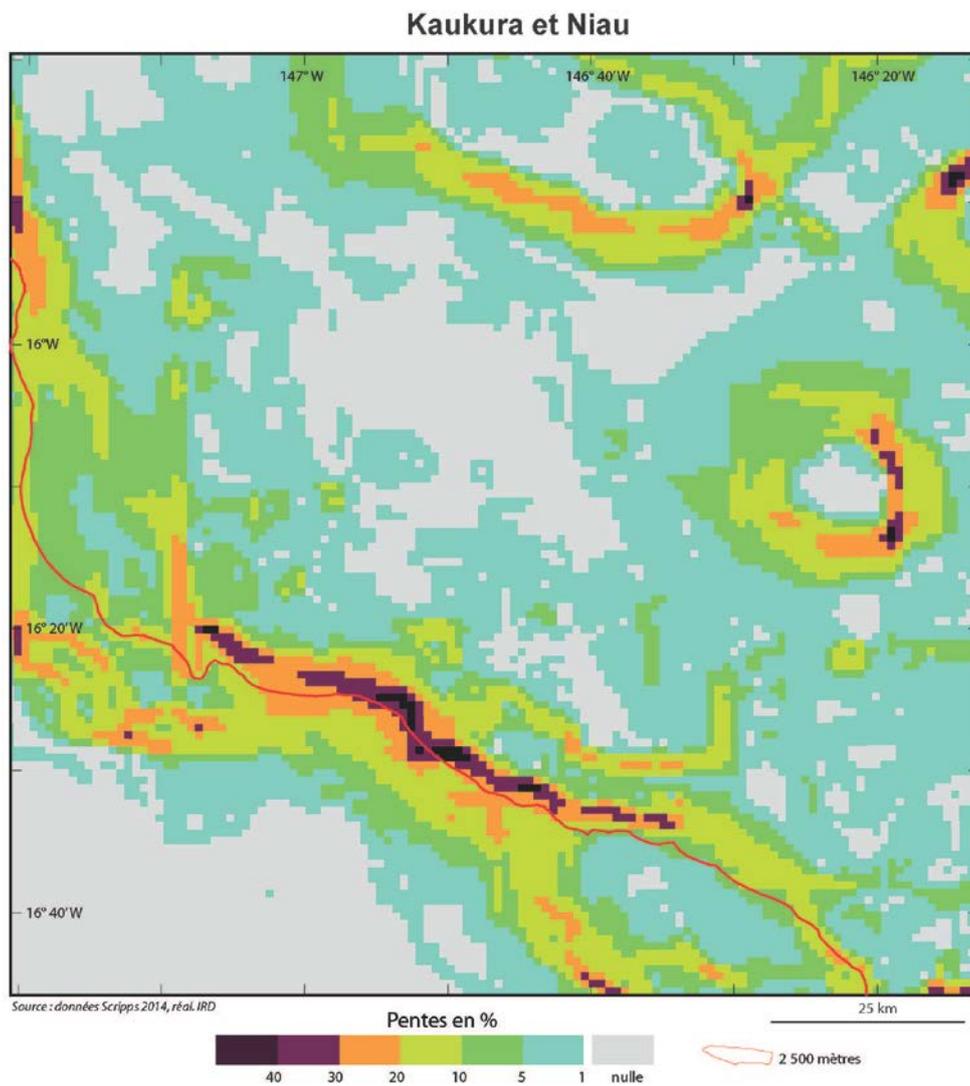


Figure 5 – Carte des pentes de la région de Kaukura et Niau, dans l'archipel des Tuamotu

Par ailleurs, la zone des **monts Tarava**, au sud-ouest de l'île de Tahiti constitue une autre zone qu'il conviendrait d'explorer à terme (figures 6, 7, 8 et 9). La carte bathymétrique (figure 8) et la carte des pentes (figure 9) montrent bien de façon détaillée sur ce secteur, deux exemples de monts sous-marins présentant des plateformes sommitales à faible pente.

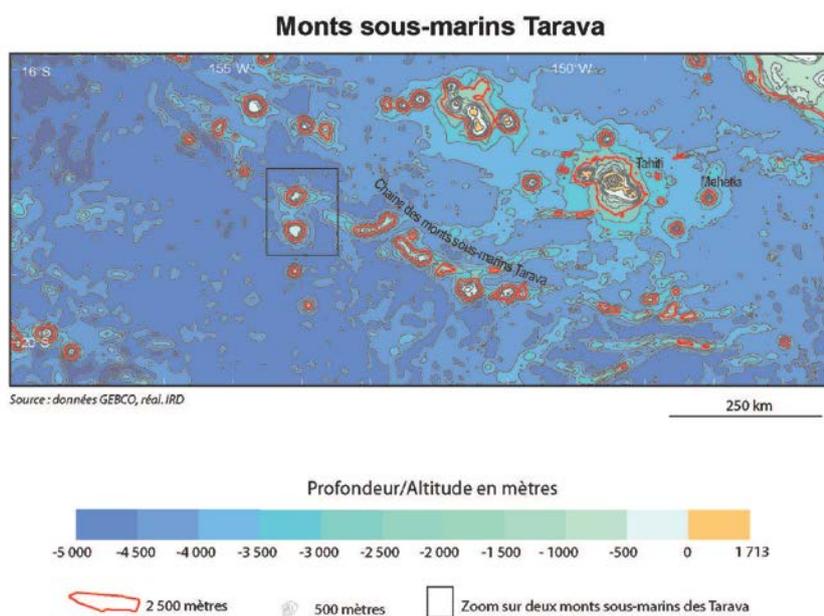


Figure 6 – Bathymétrie de la région des monts Tarava et îles de la Société

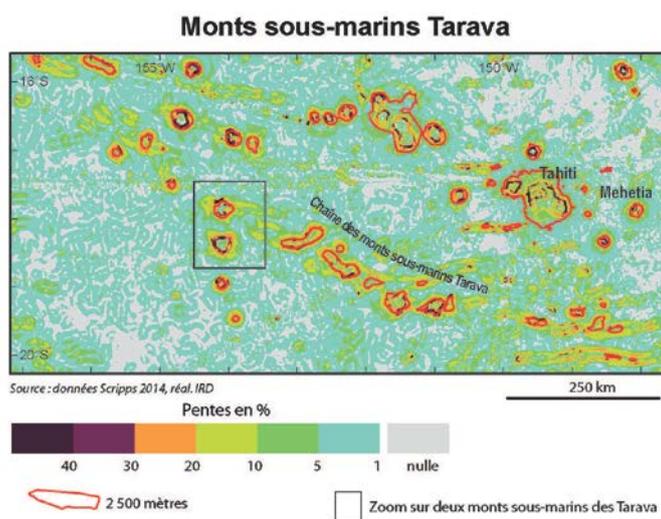


Figure 7 – Carte des pentes de la région des monts Tarava et îles de la Société

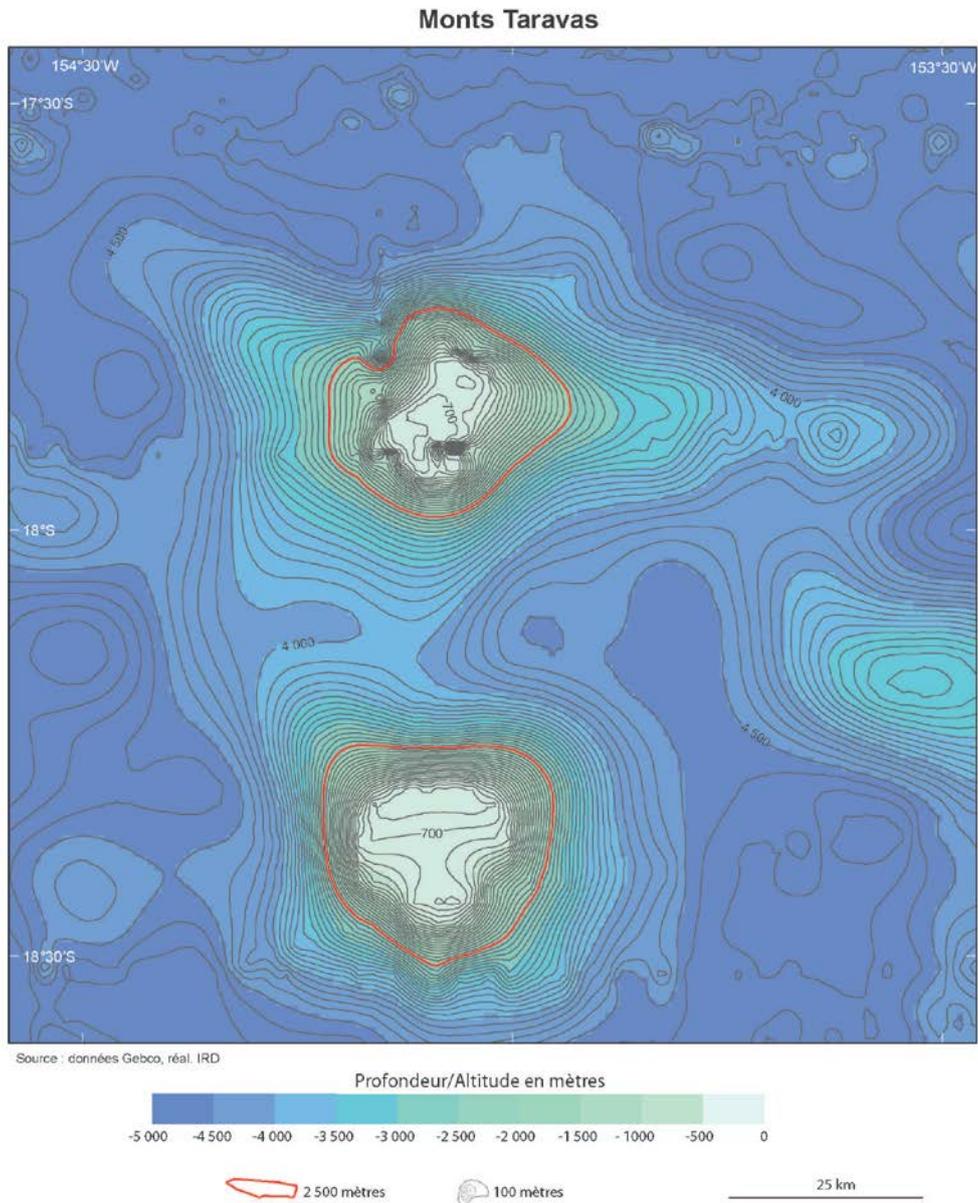


Figure 8 – Bathymétrie de deux monts sous-marins Tarava

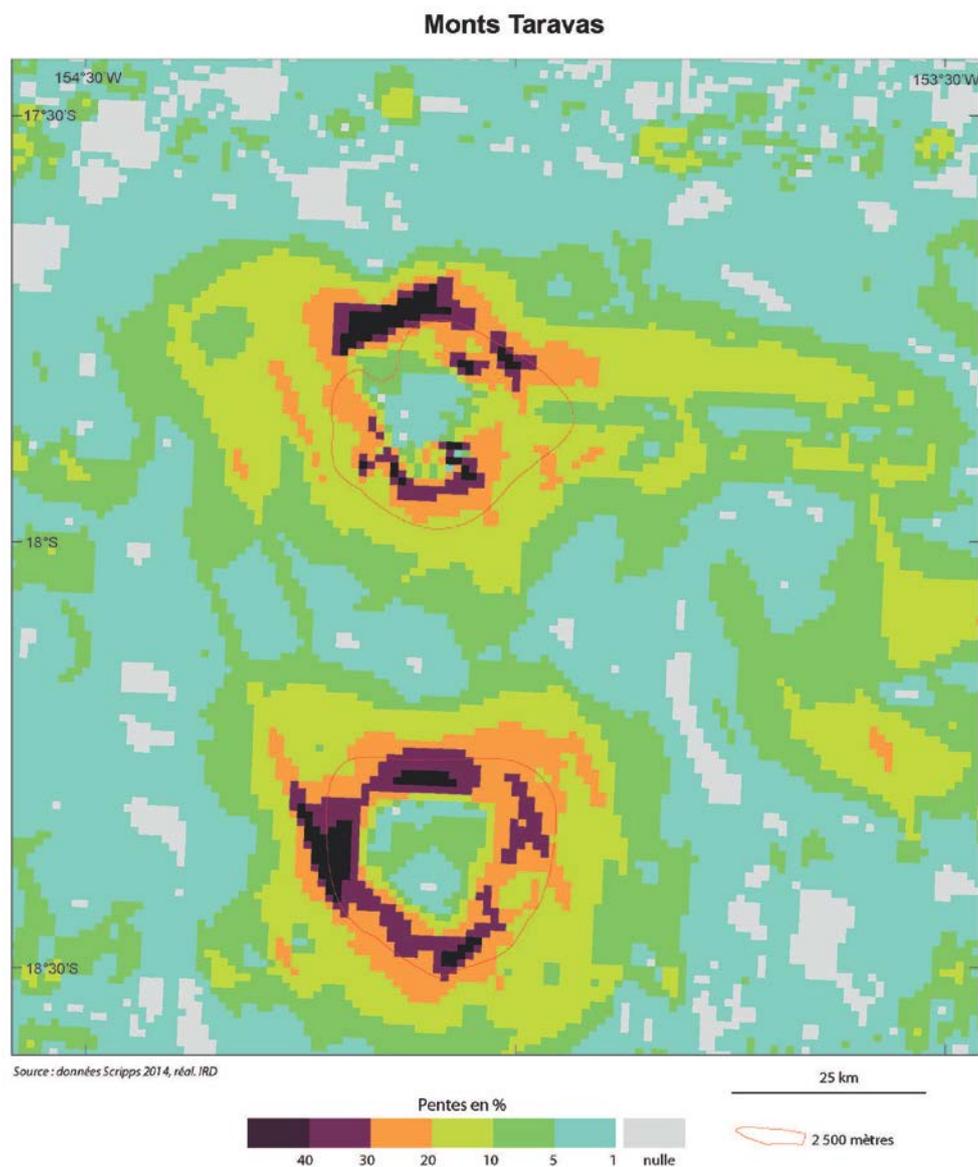


Figure 9 – Carte des pentes de deux monts sous-marins Tarava

6.3.2. Pour une campagne préalable dite de validation sur les Tuamotu

La cartographie bathymétrique (avec imagerie) régionale avec un Sondeur Multifaisceaux de coque (résolution de plusieurs dizaines de mètres par 1000 m à 2000 m de fond) sur des surfaces devraient permettre de couvrir une bonne partie de la Zone Kaukura d'un part et d'une autre zone nord-est entre 800-2500. En 20 jours cumulés, on peut couvrir plusieurs dizaines de milliers km² (ce qui est significatif pour les deux zones). L'objectif est de disposer de premières cartes pour vérifier la morphologie, sélectionner des points de prélèvements, commencer à définir des cibles pour une reconnaissance ultérieure près du fond.

Les prélèvements de croûte sur les deux zones pour datation, mesure de l'épaisseur, teneur en métaux, propriétés géotechniques. Cela nécessite la mise en œuvre de dragues à roche. En 10 jours (cumulés) de nombreux prélèvements pourront être réalisés, y compris de manière très optionnelle, quelques carottes sédimentaires dans les zones profondes (vers l'est) pour vérifier la teneur en terres rares en quelques points et dater la couverture sédimentaire...

6.3.3. Campagne d'exploration régionale d'autres secteurs de la Polynésie (complément nord-est Tuamotu, secteur Tarava, zones ouest nodules hors ZEE)

- reconnaissance bathymétrique ;
- drague à roches ;
- même type de navire que précédemment ;
- préleveur autonome et carottier boîte (si objectif nodules) ;
- carottier gravitaire (si objectif terres rares) ;

6.3.4. Campagnes d'étude de site et évaluation de la ressource

Il est possible de passer directement et en priorité à cette campagne à l'issue de la campagne de validation, si suffisamment de cibles ont été identifiées dans le secteur des Tuamotu :

- exploration géologique et biologique haute résolution des sites sélectionnés (AUV pour la cartographie THR et ROV pour vidéo, prélèvements et mesures in situ) ;
- prélèvements (drague à roche, mais surtout : mini forage carottés) ;
- navire de classe océanographique permettant de mettre en œuvre plusieurs outils et des analyses à bord sur échantillons ;

6.3.5. Campagnes d'observation

- la première mise en place des instruments peut être joutée à une campagne d'exploration des sites, mais des retours sur sites pour récupération ultérieure des données et maintenance des instruments sont à prévoir (utilisation d'un navire d'opportunité possible) ;
- instrumentation (observatoire fond de mer) et suivi de l'évolution spatio-temporelle des sites et de leur environnement.

6. 4. Moyens requis et type de montage

Navire : voir l'UMS Flottes Océanographique Française (FOF) ou autres partenariats internationaux (allemand – japonais ? ou navire privé). Besoin d'un navire océanographique hauturier équipé d'un SMF récent et d'un câble grand fond et portiques pour mise en œuvre des engins et récupération des prélèvements (dragues à roches), laboratoires embarqués

Equipe-projet à constituer sur appel d'offres ? (pluri-organismes scientifiques, dont un maître d'œuvre),

Financement : (type service public ou partenariat Pays / Etat, ou partenariat public-privé ?)

Le coût prévisionnel (campagne d'1 mois) dépend fortement du type de campagnes et de navires, de leur disponibilité et des possibilités de programmation sur zone (donc du coût du transit), des outils mis en œuvre, du coût des prestations de l'équipe-projet, du développement voire de la location de matériel et du coût des travaux d'analyses et d'interprétation des données par les laboratoires et équipes scientifiques compétentes (qui peuvent être en partie sous-traités).

Créocéan rapporte : le coût estimé d'exploration (régionale) à 150 000 US\$/jour et à 340 000 000 XPF pour l'étude d'une zone de 100 km² (?). Un récent rapport au Parlement Européen (Rademaekers K, *et al.*, 2025) donne une estimation des coûts pratiqués :

Costs for exploration activities

Companies always try to maximise their margins, however, marine operations are very challenging cost-wise, which means they require economies of scale and having the right equipment. Industry is very hesitant to provide figures for costs, however, all companies do their economic calculations.⁶³

Table 3-5 Overview of the main costs for exploration activities

Deep-sea mining value chain	Technology	Cost estimate
Exploration		
Exploration in general	Ship time	1 ship (not specified which type) around €1 bn; most expensive part of exploration: around \$50,000 -100,000 per day, if 60 days needed → \$3-5 mn in total
	ROV	\$50,000 – 100,000 a day
	SMS exploration	Nautilus spent \$150-200 mn, high cost per tonne of deposit as low amount of deposits found
	Nodules exploration	Cca. 20 months of cruise needed to identify the nodules. The right equipment costs € 10 -15 million per month.
Locating	Mapping (SMS deposits)	Neptune spent more than \$100 mn on mapping
	Mapping (nodules)	\$5-7 mn cost for mapping time (30-60 days); \$30-35 mn rough estimate for the total mapping costs
Sampling	Deep-sea vehicle going down and back to the surface	Up to US\$ 1 million per day, excluding maintenance costs ⁶⁴
	Analysis of the samples	Less costly than ship time

Source: interviews, unless otherwise stated.

Legend: mn = million. bn = billion

Figure 10 – Estimation des coûts d'une campagne d'exploration (Source : Rademaekers K, *et al.*, 2015 ; consultable en ligne : [http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU\(2015\)547401](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU(2015)547401))

Les coûts commerciaux estimés ci-dessus sont cohérents avec ceux des campagnes à finalité industrielle de la FOF (contrat recherche-industrie). Le coût complet d'une campagne peut donc être estimé entre 4 et 7 M€ et de l'ordre de 4 à 5 M€ pour une campagne limitée à la reconnaissance bathymétrique régionale et des prélèvements par drague à roches.

6.5. Résumé pour les campagnes

Le collègue d'expert propose de procéder en deux étapes :

6.5.1. A court terme

Une campagne ciblée de validation des données existantes sur les encroûtements du secteur des Tuamotu. L'urgence est de valider les anciennes données, notamment la teneur en métaux des encroûtements cobaltifères et d'avoir une meilleure connaissance morpho-bathymétrique de sites potentiellement intéressants. Il s'agit de réaliser, avec des moyens classiques (sondeur multifaisceaux de coque, dragues à roches) une reconnaissance bathymétrique, des prélèvements de croûtes en grande quantité et des prélèvements de faune associés. Avec un solide programme d'analyse des échantillons, elle permettra de vérifier, et si possible de confirmer, le potentiel géologique sur ce secteur. En outre l'existence et l'étendue de certaines cibles potentiellement intéressantes pourront être vérifiées afin d'en poursuivre ultérieurement l'exploration avec des moyens plus spécifiquement adaptés à l'acquisition de données de haute résolution sur le fond. L'étude de la répartition spatiale de la biodiversité sera ainsi également abordée par ces premiers prélèvements. Elle orientera très sensiblement la suite de l'exploration géologique et biologique et de l'évaluation des ressources. Les aspects environnementaux (impacts sur les écosystèmes, gestion des déchets) et sociétaux (acceptabilité sociale, usages concurrents) devront donc être partie intégrantes de ces recherches dès le départ. Cette campagne est la priorité.

6.5.2. A plus long terme

Suivant les résultats de la précédente campagne l'étude des sites et l'évaluation des ressources pourraient être entreprises sur des cibles identifiées. D'autres campagnes de recherches pourraient également être conduites pour l'exploration géologique et biologique d'autres régions de la ZEE, améliorer les techniques d'exploration, notamment par des micro-forages et des mesures in situ des épaisseurs et teneur en métaux et enfin, à plus long terme, mettre au point les systèmes de ramassage adaptés pour une opération de démonstration qui pourrait être pionnière pour l'exploitation des encroûtements sur le plan mondial. Celle-ci doit être conçue dans une logique d'extrapolation vers l'exploitation industrielle, ce qui implique des choix en matière de technologie industrielle, tant du point de vue de critères de fiabilité et d'efficacité que du point de vue des impacts sur l'environnement.

Si un intérêt fort est manifesté (État, Pays, industriels ou partenaires régionaux), un programme pluri-annuel de campagnes d'exploration régionale sur l'ensemble de la ZEE de Polynésie française pourrait être lancé. L'ensemble constitue un vaste programme qui peut être monté dans un cadre européen ou dans la « stratégie nationale sur les ressources profondes en mer » en cours de préparation ou dans un cadre plus régional avec les autres Iles très dynamiques dans ce domaine, ou avec un partenaire comme le Japon qui paraît être intéressé par ce sujet.

7. Conclusions et recommandations

- les acteurs des ressources minérales marines sont essentiellement la communauté de la recherche scientifique et technologique, le monde institutionnel étatique et quelques industriels miniers ou compagnies parapétrolières qui font figure de pionniers ;
- les activités d'exploration se déroulent essentiellement dans le cadre de permis d'exploration et de recherche délivrés par l'*International Seabed Authority* (ISA) pour les eaux internationales et par les Etats souverains dans leur ZEE ;
- la FOF (Flotte Océanique Française) dispose de tous les moyens techniques et humains nécessaires pour l'exploration des grands fonds océaniques, mais nécessite des budgets spécifiques et supplémentaires pour la programmation de campagnes à finalité industrielle et de quelques développements technologiques innovants, notamment pour les encroûtements (voir contribution III-3) ;
- quelques industriels français, fortement investis dans l'*offshore* pétrolier et par conséquent intéressés par tout développement d'activité extractive future en mer et quelques PME tentées par l'aventure de l'exploration des grands fonds, ont commencé à investir dans la technologie nécessaire pour les ressources minérales marines (projet Wallis et Futuna, projet Solwara / Nautilus, développements technologiques pour l'exploration) ;
- il y a eu une vision stratégique de l'exploration et de l'exploitation des ressources marines profondes de la part des pouvoirs publics français en 2010 avec le Grenelle de la Mer et le Plan Métaux Stratégiques, puis l'ambition s'est délitée par rapport à celle de certains pays très dynamiques (Chine, Japon, Inde, Corée, Allemagne ...) ;
- besoin de soutenir les mises en place (1) d'un programme national de recherche et d'accès aux ressources minérales marines profondes et (2) d'un programme de financement de la R&D à l'image du Concours Mondial d'Innovation ou Horizon 2020 en Europe ;
- le collègue d'expert propose un plan de campagne adapté à l'exploration des encroûtements cobaltifères de Polynésie française, avec en priorité une première campagne essentiellement ciblée sur les encroûtements du secteur des Tuamotu.

Bibliographie

BELLE P. (CGEDD), BONACCORSI F., GIRARDEY-MAILLARD M. et IMBERT P. (IGAENR), 2015 – *La flotte océanographique française*. Rapport CGEDD n° 010133-01, IGAENR n° 2015-022. En ligne : http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/010133-01_rapport_cle21f991.pdf.

BOUGAULT H. et SAGET P., 2011 – Les Encroûtements Cobaltifères de Polynésie Française. *Mines et Carrières 6 Industrie Minérale* – oct 2011- n°185 - Hors série p 70-85

DELAMARCHE M., 2015 – Ces pme explorent les fonds. *L'Usine Nouvelle* n° 3433, publié le 27 août 2015

DYMENT J., LALLIER F., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P. M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coord.), 2014 – *Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*. Expertise scientifique collective, Rapport, CNRS – Ifremer, 930 p. environ.

The Deep Sea Minerals Project du Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, 2015 – En ligne : <http://gsd.spc.int/dsm/index.php/homepage>, consulté le 13 juillet 2015.

Etude prospective globale des activités liées à l'exploration et l'exploitation des ressources minérales océaniques profondes en Polynésie Française, 2012 – Rapport CREOCEAN pour le Ministère de l'Environnement de l'Energie et des Mines. Service de l'Energie et des Mines. Polynésie Française

JORDAHL K., CARESS D., MCNUTT M., BONNEVILLE A., 2004 – *Sea-Floor Topography and Morphology of the Superswell Region In Oceanic Hotspots*, - Springer

Permis d'exploration dans la Zone internationale 2015 – <https://www.isa.org/jm/>, consulté le 30 mai 2015.

RADEMAEKERS K., *et al.*, 2015 – Technology options for deep-seabed exploitation- Tackling economic, environmental and societal challenges – *Report to the Science and Technology Options*. Panel of the European Parliament. En ligne :

[http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU\(2015\)547401](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU(2015)547401)

Sites web consultés :

http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-decouvertes/Structure-des-fonds/Les-dorsales/Famous.

<http://www.flotteoceanographique.fr/Campagnes-scientifiques/Campagnes-hauturieres/Appel-d-offres-hauturier-a-partir-de-2017>

<http://www.miningweekly.com/article/african-states-urged-to-be-more-involved-as-seabed-mining-regulations-are-drawn-up-2015-08-07-1>.

<https://www.isa.org.jm/>

<http://www.neptuneminerals.com>

<http://www.diamondfields.com/s/Home.asp>

<https://www.jogmec.go.jp/english/>

<http://www.eramet.com/>

<http://www.technip.com/fr>

<http://wwz.ifremer.fr/institut>

+ autres sites d'industriels cités dans le texte.

III-3. Quelles sont les tendances des évolutions technologiques pour l'exploration *des ressources minières sous-marines ?*

P. COCHONAT, P. CHRISTMANN, S. SAMADI, N. ARNDT

Experts consultés : J. DENEGRÉ et H. BOUGAULT

1. Stratégie des pays

Selon la commission européenne, 5 % des minerais mondiaux, comprenant le cobalt et le zinc, proviendront du plancher océanique à l'horizon 2020. Cela doublera en 2030. Le chiffre d'affaires annuel du « deep sea mining » pourrait atteindre 10 milliards d'Euros en 2030, en partant de virtuellement zéro aujourd'hui.

<http://www.downtoearth.org.in/coverage/mining-at-deep-sea-46049>

Quelles stratégies les pays ont mises en place pour répondre aux nouveaux enjeux du “deep sea mining” ?

1.1. En France

La France a été pionnière dans le domaine de l'exploration des grands fonds en particulier pour les bassins profonds (nodules) et les dorsales océaniques (hydrothermalisme) à travers des programmes de recherche et l'entretien des permis dans les eaux internationales par l'Ifremer (permis nodules signé en 2001 et amas sulfurés en 2012), mais rien n'est décidé pour ce qui concerne l'avenir, qui est discuté depuis

plusieurs années dans le cadre d'un éventuel programme de recherche et d'accès aux ressources minérales profondes, sur la base d'un dossier élaboré en 2012 par l'Ifremer à la demande des tutelles ministérielles.

Depuis quelques années, la volonté des pouvoirs publics, suite au Grenelle de la mer (2009) et à travers les activités du Comité pour les métaux stratégiques (2011) a permis de démarrer un programme de recherche dans la ZEE de Wallis et Futuna. Ce programme a été monté en réponse à une recommandation du Grenelle de la mer (2009) (voir plus loin le projet Wallis et Futuna).

Après trois campagnes à la mer réalisées grâce à un partenariat public-privé, le projet Wallis et Futuna bloque actuellement sur des questions budgétaires et sur des questions de procédures relatives à la demande d'un permis d'exploration et de recherche qui devrait à l'avenir fixer les engagements des porteurs du permis.

En juin 2011 un comité interministériel de la Mer (Cimer) avait décidé de lancer « *une stratégie nationale sur les ressources minérales profondes en mer qui fixera les orientations pour une exploitation durable de ces ressources dans les eaux sous juridiction nationale et dans les eaux internationales* ».

Parallèlement l'Ifremer avait lancé une étude prospective sur les Ressources Minérales Marines (Remima) 2011 et le MEDDE initiait l'Expertise scientifique collective sur les Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes (conduite par le CNRS et l'Ifremer en 2014) (Dyment J. *et al.*, 2014)

Récemment, le concours mondial de l'innovation lancé par l'Etat a notamment permis de révéler les acteurs français de ce secteur engagés dans l'innovation (rappel sur le CMI : créé en suivant un plan de relance de l'activité économique grâce à l'identification de 7 ambitions, dont la troisième concerne la valorisation des bioressources marines). Ce concours s'organise en plusieurs étapes, avec 110 projets identifiés en première phase dite d'amorçage. Parmi les projets retenus, 7 proviennent d'adhérents du Cluster Maritime Français qui a mis en place un groupe de réflexion « synergie grands fonds » très dynamique pour promouvoir une filière minière sous-marine en France.

Ces premiers projets présentés en phase 1 étaient complémentaires en vue l'exploration et de l'exploitation des amas sulfurés de Wallis et Futuna. Ils portaient sur différents sujets :

- système géophysique capable d'imager et de caractériser en trois dimensions le volume et les caractéristiques de ressources minérales sous-marines ;
- liaison fond-surface flexible ;

- flotte de drones sous-marins (AUVs) équipés de magnétomètres pour détection des amas sulfurés ;
- carotteuse sous-marine pour exploration minière ;
- système de surveillance environnemental et de zone en temps réel pour mesurer et réduire les impacts des activités anthropiques en mer ;
- excavatrice sous-marine ;
- conception d'un engin sous-marin léger, peu onéreux, facile à mettre en œuvre, connecté à la surface en haut débit et télé-opéré.

Cet affichage de propositions innovantes permet déjà de lister l'essentiel des besoins technologiques nouveaux, voire des ambitions, liées à l'exploration et l'exploitation de ces ressources minérales marines. Ces projets avaient vocation à être disponibles pour les amas sulfurés (pour Wallis et Futuna) mais certains sont tout ou partie transposables pour les encroûtements cobaltifères. Finalement deux projets ont été retenus en phase 2 (en cours d'évaluation) : l'un regroupe les activités relatives aux systèmes d'exploration, l'autre aux systèmes d'exploitation. Les résultats finaux du Concours Mondial d'Innovation ne sont pas connus à ce jour.

D'un point de vue de la stratégie nationale, la demande pour la présente expertise collective par le gouvernement de Polynésie Française pourrait être à l'origine d'une relance des travaux dans le cadre d'un programme de recherche. Un tel programme innovant sur le cas de l'exploitation des encroûtements cobaltifères, paraît avoir toute sa place, notamment pour répondre aux fortes préoccupations concernant les aspects sociaux et environnementaux

1.2. En Europe

L' « European Innovation Partnership for Raw Materials (EIP) est la plateforme qui rassemble les représentants des parties prenantes pour les matières premières : industries, services publics, milieu académique et ONGs.

Dans une démarche similaire à celle du concours mondial de l'innovation l'Union Européenne avait accepté au total 80 « Raw Material Commitments » (RMCs) dans le cadre de l'EIP comprenant 4 projets sur les ressources minérales marines. A titre indicatif les coordinateurs de ces quatre propositions étaient Technip, l'alliance allemande « Deep Sea Mining Alliance », Eramet et BMT société de consultance d'origine britannique leader dans le domaine de l'ingénierie maritime, tous les industriels dont deux français, incluant le seul opérateur minier (Eramet). Les résultats ne sont pas connus à ce jour.

1.3. A l'international

Dans le contexte international de nombreux organismes, agences ou groupements sont particulièrement actifs dans le domaine des ressources minérales marines.

Chine – Le pays s'est récemment engagé très fortement sur la recherche et développement pour l'exploration de l'océan profond. Avec *le Chinese Oceanography and Marine Research Association (COMRA)* la Chine s'est engagée sur plusieurs permis avec l'ISA sur les amas sulfurés, les nodules et les encroûtements, notamment dans le Pacifique Ouest, avec la construction en 2014 d'un nouveau navire de recherche très sophistiqué : le « Kexue » (64 M€, 100 m de long, 80 membre d'équipages et scientifiques).

Russie – En octobre 2012, le Ministère des Ressources Naturelles et de l'Environnement avait signé un accord avec l'ISA pour l'exploration des amas sulfurés en Atlantique (sur une zone où la communauté scientifique franco-russe avait collaboré ...). Le monde académique russe a été par ailleurs un pionnier pour l'exploration océanique avec l'Institut Vernadsky (Moscou) et VNIIOkeangeologia (Saint Petersburg)

Japon – Le coût du programme de développement minier sous marin Japonais, comprenant le navire support est estimé entre 20 et 30 milliards de yen (US\$241 millions to US\$361 millions). Les ressources minérales dans les eaux japonaises sont estimées à environ US\$241 milliards. Les cibles visés sont les dépôts hydrothermaux de la fosse d'Okinawa et la caldera sous-marine Bayonnaise au large de l'Ile de Iza-Ogasawara. Les deux zones seraient très riches en or, argent, métaux rares et terres rares. Jomtec prévoit de déployer leur robots jusqu'à 2000 mètres.

Canada – La compagnie Nautilus Minerals Inc sera probablement la première compagnie à exploiter commercialement les amas sulfurés sur le site de Solwara en Papouasie Nouvelle Guinée. Ce projet va marquer le lancement d'une nouvelle activité d'exploitation des ressources minérale marines. Nautilus envisage aussi de développer son activité d'exploration par des demandes de permis aux Iles Fidji, Tonga, Salomon et Nouvelle Zélande.

Corée du Sud – Ce pays qui a choisi de développer son activité maritime appuie sa stratégie sur le *Korean Ocean Research and Development Institute (KORDI)* et le *Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)*. En 2013 le gouvernement a communiqué sur le fait que suite aux premiers essais, avec succès, d'un robot pour exploitation sous-marine, la Corée possédait maintenant la technologie clé pour exploiter les nodules de manière indépendante dès 2015. Le robot de 25 tonnes, MineRo, a été testé par 1300 m. dans les eaux coréennes. Le KIOST prévoit

de développer la technologie pour une exploitation commerciale des métaux stratégiques tirés des nodules en 2015. <http://english.yonhapnews.co.kr/news/2013/08/01/21/0200000000AEN20130801001700320F.html>. K

Brésil – Le Brésil a déposé en 2014 une demande de permis en cours d'évaluation par l'ISA. Ce permis est situé sur la ride de Rio Grande en Atlantique sud, il concerne des encroûtements cobaltifères. La *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais* (CPRM), le bureau de recherche géologique de l'Etat brésilien, avait dépensé 60 millions USD pour une première reconnaissance de la zone. Les études ont été menées en partenariat avec les japonais. Le CPRM prévoit un investissement de USD 11 millions pour entretenir cette concession pendant les 15 années à venir. Le gouvernement brésilien serait prêt à dépenser (\$254 millions) pour développer les mines sous marines. (<http://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=8968afa7-72ee-4af4-9b62-8d67674f208d>).

Etats-Unis – N'ayant pas signé la convention dite de Montego Bay (Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer, CNUDM), les Etats Unis sont dans une situation particulière. Ils n'ont pas déposé de demande de permis auprès de l'ISA.

Les Etats-Unis ont mis en place en 1983 *The Outer Continental Shelf Lands Act* pour contrôler l'activité minière dans leur ZEE, et *le Deep Seabed Hard Minerals Resources Act* pour les eaux internationales. En l'absence de l'accès à la convention du droit de la mer, le *Deep Seabed Hard Minerals Resources Act (the "Resources Act")* contrôlent l'activité d'exploration et l'exploitation future des ressources minérales marines profondes hors eaux américaines (*i.e.*, the High Seas). D'après cet Act, *la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* est chargée d'établir la gouvernance des demandes de permis d'exploration pour les ressources minérales marines profondes.

Parallèlement l'industrie privée a fait un important effort pour développer la technologie nécessaire pour le « deep seabed mining ». Lockheed Martin, par exemple, a récemment obtenu un permis de l'ISA, à travers sa filiale anglaise, UK Seabed Resources, pour explorer les nodules polymétalliques dans la zone de Clarion-Clipperton. www.businessweek.com/news/2013-03-14/lockheed-to-use-soviet-submarine-hunt-data-in-seabed-mining-plan

Aux Etats-Unis la pression des environnementalistes est forte pour lutter contre le deep sea mining. Ainsi des poursuites judiciaires ont récemment été engagées contre la NOAA pour l'attribution du permis à Lockheed Martin, via UK Seabed Resources

http://www.biologicaldiversity.org/news/press_releases/2015/deep-sea-mining-05-13-2015.html

Inde – L'Inde s'est engagé en 2012 dans l'achat d'un nouveau bateau et le ré-équipement d'un autre pour développer l'exploration océanique profonde. L'Inde met en avant deux décades d'expérience sur l'exploration des nodules. Le National Institute of Ocean Technology (NIOT) a déjà testé un système d'exploitation sous marine des nodules par 512 m de fond et travaille sur des systèmes adaptés à des fonds de 6000 m. Ces travaux sont conduits dans un programme de développement technologique pour l'exploitation des nodules de US \$135 millions.

2. Quelques exemples de grands projets

2.1. Le projet européen Midas

Le projet Midas - *Managing Impacts of Deep-sea Resource exploitation* (<http://www.eu-midas.net/>) est un nouveau programme de recherche multidisciplinaire qui examine les impacts environnementaux pour l'exploitation des ressources minérales et énergétiques dans les grands fonds marins. Cela comprend les amas sulfurés, les nodules de manganèse, les encroûtements cobaltifères, les hydrates de méthane et les terres rares. Midas qui comprend 32 partenaires est financé par le 7^{ème} programme cadre de la commission européenne pour la période 2013-2016. Ce partenariat représente une combinaison unique de scientifiques (sciences de l'univers et sciences sociales), industriels, experts juridiques, Organisations non gouvernementales, SMEs à travers l'Europe. Midas mènera à bien des recherches sur les impacts potentiels d'origine, physique, chimique, biologique sur les écosystèmes profonds. Toutes ces informations seront utilisées pour établir des recommandations pour une meilleure pratique dans l'industrie minière. Un des points majeurs sera le développement de méthodes et de technologies pour préparer les évaluations de base de la biodiversité dans les zones d'exploitation potentielle et les activités de surveillance à distance dans les grands fonds pendant et après l'exploitation.

2.2. JPI Oceans (<http://www.jpi-oceans.eu/about>)

Le *Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans (JPI Oceans)* a permis le lancement d'un projet "Ecological aspects of deep-sea mining" qui vise à examiner les impacts environnementaux

potentiels dans les trois prochaines années. Un consortium de ministères de la recherche de 11 pays financent le projet à 9,5 millions euros.

Le projet sera mené à bien par 25 partenaires de 11 pays européens. Les scientifiques vont étudier les écosystèmes profonds de deux zones riches en nodules de manganèse. Le premier projet pilote concerne les permis allemands belges et français dans la zone de Clarion – Clipperton pour estimer l'état zéro des écosystèmes avant toute exploitation. Des campagnes scientifiques ont été menées à bien en octobre 2015 pour revisiter un deuxième site, la zone expérimental Discol dans le Bassin du Pérou dont l'évolution et la récupération des écosystèmes sont suivies depuis 26 ans date à laquelle des dragages avaient été réalisés.

2.3. Le partenariat public-privé pour un projet minier français : Wallis et Futuna

Dans le contexte de compétition pour l'accès aux matières premières minérales qui engendre une concurrence internationale de plus en plus visible, il convenait de conforter, et de fédérer, les intérêts industriels, technologiques et scientifiques de la France qui a été pionnière pour la technologie et la connaissance des grands fonds depuis les années 1970. La France dispose en effet d'un ensemble cohérent d'expertise scientifique et de compétences - technologiques en matière de grands fonds sous-marins ou d'exploitation minière : l'Ifremer, le BRGM, le CNRS et les universités, pour les établissements publics, Technip, Areva, Eramet, pour le secteur privé. La France dispose ainsi du potentiel pour mener à bien les recherches scientifiques et développer les technologies, potentiellement révolutionnaires, pour l'accès aux ressources minières du futur. Elle dispose aussi de la 2ème ZEE mondiale, en cours d'extension dans le cadre du programme Extraplac. La France se devait de définir une stratégie et des priorités.

L'objectif de développer un pôle minier français sur les ressources marines profondes, à partir d'une approche inspirée du type Grenelle de la mer, était de conforter un partenariat public-privé pour un projet minier. Ce projet devait s'appuyer sur le développement des technologies et de l'industrie française, tant pour les techniques d'exploration que pour la recherche technologique nécessaire à la réalisation d'un pilote d'extraction, afin d'aboutir à la réalisation d'un pilote industriel pour l'extraction des métaux (sur la ZEE de Wallis et Futuna et / ou autres zones internationales). La France a pris une longueur d'avance avec le projet Wallis et Futuna, mais il s'agit d'en assurer la pérennité.

L'Etat a lancé le Grenelle de la Mer en 2009. L'une des recommandations du Grenelle (« en s'appuyant sur l'amélioration des

connaissances des fonds marins, préparer le développement, à moyen terme, de projets miniers en mer profonde en organisant dès à présent le développement et le pilotage industriel de procédés d'extraction minière offshore») a été à l'origine du lancement du projet Wallis et Futuna, conduit en partenariat public-privé sur la base d'un accord pour une première exploration de la zone économique exclusive française entre le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, l'Ifremer, Areva, Eramet, Technip, BRGM SA et AAMP et avec la collaboration scientifique de l'IPG Paris, de l'UNO du CNRS Insu et du CEA. La première campagne a été réalisée en 2010.

Parallèlement le CIMER du 10 juin 2011 avait mis en avant les ressources minérales profondes comme devant devenir un enjeu majeur. Ainsi ce comité a décidé que «notre pays aurait une stratégie nationale sur les ressources minérales profondes d'ici la fin de l'année» et que la France déposerait une demande de permis d'exploration relatif aux amas sulfurés auprès de l'autorité internationale des fonds marins. En corollaire, la refonte de notre code minier a été lancée pour qu'il prenne en compte les préoccupations nouvelles notamment environnementales.

Deux autres campagnes ont été conduites en 2011 et 2012 dans le cadre d'un partenariat réduit à trois partenaires : Technip, ERAMET et IFREMER. La suite du programme dépend de l'obtention d'un permis exclusif de recherche (PER) et du montage financier. Le PER ne pourra être déposé que lorsque la procédure de préparation du décret d'extension du code minier à Wallis et Futuna sera réglée par les services de l'Etat. En l'absence de publication de décret le permis ne peut pas être déposé. Pour le financement des campagnes de recherche liées au permis de Wallis et Futuna, les partenaires industriels français semblent prêts pour un cofinancement à condition d'un financement étatique à hauteur de 50 %. L'Etat pourrait participer au projet au titre d'investisseur.

Secrétariat général de la Communauté du Pacifique (SPC Secretariat of the Pacific Community) (<http://gsd.spc.int/dsm/index.php/homepage>) a pris l'initiative de lancer le projet *The Deep Sea Minerals Project* en collaboration avec l'U.E. rassemblant 15 pays des Îles du Pacifique: les Îles Cook, Federated States of Micronesia, Fiji, Kiribati, Marshall Islands, Nauru, Niue, Palau, Papua New Guinea, Samoa, Solomon Islands, Timor Leste, Tonga, Tuvalu and Vanuatu.

Initié en 2011 ce projet DSM de 4,4 millions d'euros aide les Îles du Pacifique à améliorer la gouvernance et la gestion de leurs ressources minérales marines profondes conformément aux lois internationales avec un accent particulier pour la protection de l'environnement marin et pour

sécuriser un retour financier équitable pour les pays et les peuples des îles du Pacifique.

2.4. Doremi (Deep ORe Electro-Magnetic Investigation)

L'exploration des ressources minières des grands fonds océaniques requiert des moyens spécifiques, car les techniques terrestres ne peuvent être transposées simplement sous l'eau, et les techniques de l'offshore pétrolier ou gazier sont mal adaptées à la recherche de minerais dans le sous-sol marin.

Lancé par l'Etat, le concours mondial d'innovation a récompensé ses lauréats en juillet dernier. Parmi eux, le projet Doremi, dans le cadre de la valorisation des ressources marines. Ce projet est porté par Pascal Tarits, expert en électromagnétisme sous-marin de l'UBO et par IXBLUE, ETI leader en systèmes de navigation et positionnement sous-marins et la start-up MAPPEM Geophysics.

Doremi est un système géophysique capable d'imaginer et de caractériser en trois dimensions le volume et les caractéristiques de ressources minérales sous-marines. En effet, l'exploration des ressources minières des grands fonds océaniques requiert des moyens spécifiques, les techniques de l'offshore pétrolier ou gazier étant mal adaptées. Doremi offre une solution économique et performante pour l'exploration d'un gisement en s'appuyant sur une nouvelle technique d'utilisation des champs électriques sous-marins. Ce système limite ainsi la prise d'échantillons et les forages systématiques, extrêmement onéreux. Doremi s'appuie pour cela sur une nouvelle technique d'utilisation de champs électriques sous-marins.

Voir aussi d'autres projets dont le projet sur les amas sulfurés (Solwara) de la société Nautilus et le projet sur le dépôt de sulfures Atantis II Deep en Mer Rouge, dans l'axe V de ce présent rapport.

3. Quelles innovations attendues pour les technologies d'exploration ?

Les technologies d'exploration utilisées conventionnellement peuvent être résumées en trois catégories (voir contribution III-1, Technologies connues pour l'exploration et l'exploitation ...) :

- **Les technologies d'exploration régionale**, essentiellement cartographiques fondées sur les reconnaissances géophysiques (sondeur multifaisceaux SMF fournissant la bathymétrie et l'imagerie sonar) sismique et sur quelques prélèvements (dragues à roches auxquelles on associe prélèvements biologiques) permettant de réaliser les premières analyses minéralogiques et géochimiques et biologiques. C'est l'étape indispensable d'identification des sites avant l'évaluation des ressources. Ces outils sont matures, même s'ils sont en perpétuelle évolution, notamment pour améliorer la résolution des SMF. La drague à roches est un outil rustique mais qui a montré son efficacité à condition de bien maîtriser sa mise en œuvre ;
- **Les technologies d'étude de site et évaluation des ressources et de la biodiversité**. Lorsque les sites sont identifiés, la compréhension scientifique des processus géologiques, géochimiques et biologiques, implique des travaux près du fond mettant en œuvre submersibles (ROV, AUV, engins habités, engins autonomes). Ces engins permettent d'affiner les explorations au niveau local, (bathymétrie et l'imagerie à ultra haute résolution de quelques dizaines de cm) et de réaliser des prélèvements précis près du fond pour étudier la composition et la géométrie des sites en tant que gisements potentiels. Un point clé, notamment sur le plan de l'innovation technologique, sera le prélèvement par microforage, outil qui reste à développer ou à adapter à partir de systèmes existants capables d'être mis en œuvre par un ROV. La question des mesures in situ en forage (diagraphie), à développer sur la micro-foreuse peut se poser. Cet équipement robotisé pourrait par exemple, associer forage carotté (prélèvement) et forage destructif (avec mesures in situ associée), ou analyse in situ de la composition géochimique (voir spectromètre Raman ci-dessous) et épaisseur de la croûte du substratum), dans un même outil qui prélève et mesure au même endroit. Il s'agit d'un point très intéressant qui renforce le besoin d'un outil innovant qu'il faut concevoir.

D'autre part, il serait aussi très intéressant de développer les capacités d'analyse in-situ en route près du fond, notamment par des techniques Raman pour l'analyse in-situ des solides non destructive. Ces équipements devront être adaptés aux vecteurs AUV et ROV. La spectroscopie Raman est une technique d'analyse répandue dans le domaine des solides qui ne nécessite aucune préparation de l'échantillon et aucun réactif. Elle permet une identification non destructive et en présence d'eau. L'objectif est de se doter de manière opérationnelle d'une méthode de détection spectroscopique capable d'identifier des solides sur le fond. Les données spectrales seront fournies en temps réel permettant une identification chimique immédiate. Les composés visés concernent les composés solides qu'ils soient minéraux (calcite, pyrite, aragonite, oxydes de manganèse, ...), organiques (hydrates de gaz) ou encore biologiques (tapis bactériens, microorganismes, ...). Un démonstrateur de spectroscopie Raman in-situ est en cours de développement dans le cadre de projet européen (Ifremer). Les mesures directes de la composition des substrats solides par Raman permettront de multiplier les mesures pour mieux caractériser les environnements sans les perturber. Dans ce sens, cet outil constituera une avancée technologique considérable tant pour les recherches géologiques que biologiques. (Fouquet, 2013) ;

- **Les technologies de surveillance et préservation des environnements.** Afin de minimiser l'impact de l'exploitation des ressources des grands fonds, des outils spécifiques sont nécessaires pour établir des états de référence biologiques et pour suivre l'évolution spatio-temporelle des sites avant pendant et après l'exploitation minière. Il s'agit de mettre en œuvre une instrumentation de sites fond de mer ;

L'analyse des méthodes et outils disponibles dans la panoplie d'équipements par rapport aux besoins spécifiques de l'exploration minière sous-marine ainsi que celle des projets en cours évoqués ci-dessus montrent que certains domaines, en particulier pour l'exploration des encroûtements, devront faire plus particulièrement l'objet d'innovations technologiques et nous conduisent aux recommandations suivantes :

Recommandations

1. Concevoir et développer un équipement robotisé pour le prélèvement d'échantillons de qualité, courts et répétés (taux de récupération et longueur adaptée de roche dure (50 cm pour les encroûtements et leur substratum) et permettant analyse ou mesure in situ de l'encroûtement et de son substratum (épaisseur et teneur en métaux)) ;
2. Poursuivre le développement d'instruments géophysiques innovants mis en oeuvre près du fond (ROV, AUV) pour une imagerie haute à très haute résolution du fond 2D et 3D (microtopographie, rugosité et épaisseur de la croûte ?) et pour caractérisation de la nature des fonds par tout type de mesure géophysique (ex : spectromètre Raman in situ) ;
3. Développer une instrumentation posée en fond de mer pour la surveillance et la mesure de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des eaux autour des sites d'exploitation (courantologie, pollution par panache, destruction et résilience des habitats ...) pour le suivi spatio-temporel de paramètres caractérisant l'évolution de l'environnement avant, pendant et après la mine.

Bibliographie

CMS CAMERON Mc. K., 2014 – *The final frontier* - Brazil may mine deep ocean floor in international waters. <http://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=8968afa7-72ee-4af4-9b62-8d67674f208d>, october 2014, consulté le 15 juillet 2015

DYMENT J., LALLIER F., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P. M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coord.), 2014 – *Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*. Expertise scientifique collective, Rapport, CNRS – Ifremer, 930 p.

ECORYS, 2014– *Study to investigate the state of knowledge of deep-sea mining*, Final Report under FWC MARE/2012/06 - SC E1/2013/04. Client: European Commission - DG Maritime Affairs and Fisheries

FOUQUET Y. *et al.*, 2013 – *Ressources Minérales Marines*. Proposition pour un programme d'exploration sur 10 ans – Rapport interne Document de travail - Ifremer/REM/GM – sept. 2013

JEFFERS E., 2015 – *Landmark Lawsuit Challenges U.S. Approval of Deep-sea Mineral Mining*. New Ocean Gold Rush Could Hurt Marine Life Before Impacts Are Known

Lockheed to Use Soviet Submarine Hunt Data in Sea Mine Plan,” BloombergBusinessweek, 2013.

MAHAPATRA R., CHAKRAVARTTY A. 2015 – *Mining at deep sea in India*, <http://www.downtoearth.org.in/coverage/mining-at-deep-sea-46049>, consulté le 15 juillet 2015

RADEMAEKERS K, WIDERBERG O., SVATIKOVA K, VAN DER VEEN R, PANELLA E, *Technology options for deep-seabed exploitation-Tackling economic, environmental and societal challenges* – report to the Science and Technology Options. Panel of the European Parliament - Study IP/G/STOA/FWC/2013-001/Lot3/C4 March2015.

[http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPR_S_STU\(2015\)547401](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPR_S_STU(2015)547401)

Rotterdam/Brussels, 28 August 2015 En ligne :
webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656_DSM

STERK, R. & STEIN, J.K., 2015 – *Seabed Mineral Deposits: A Review of Current Mineral Resources and Future Developments*. Paper presented to: Deep Sea Mining Summit. Aberdeen, Scotland. 910, February 2015. 27 pp.

Autres sites web consultés :

http://www.biologicaldiversity.org/news/press_releases/2015/deep-sea-mining-05-13-2015.html, consulté le 15 juillet 2015

<http://www.eu-midas.net/>

www.businessweek.com/news/2013-03-14/lockheed-to-use-soviet-submarine-hunt-data-in-seabed-mining-plan, consulté le 15 juillet 2015

Paula Park and T.V. Padma (2012) India deep sea mining race, <http://www.theguardian.com/environment/2012/aug/30/india-mining>, consulté le 16 juillet 2015

<http://www.jpi-oceans.eu/about>

<http://www.downtoearth.org.in/coverage/mining-at-deep-sea-46049><http://gsd.spc.int/dsm/index.php/homepage>

<http://english.yonhapnews.co.kr/news/2013/08/01/21/0200000000AEN20130801001700320F.html>. K

<http://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=8968afa7-72ee-4af4-9b62-8d67674f208d>

http://www.biologicaldiversity.org/news/press_releases/2015/deep-sea-mining-05-13-2015.html

www.businessweek.com/news/2013-03-14/lockheed-to-use-soviet-submarine-hunt-data-in-seabed-mining-plan

III-4. Quelles sont les tendances des développements technologiques pour l'exploitation *des ressources minières sous-marines, adaptées à la Polynésie française ?*

P. COCHONAT, P. CHRISTMANN, S. SAMADI, N. ARNDT, V. GERONIMI

Experts consultés : J. DENÈGRE et H. BOUGAULT

1. Que sait-on de l'exploitation des encroûtements cobaltifères ?

Les analyses du premier chapitre de ce rapport nous ont montré que les encroûtements cobaltifères présentent un intérêt en tant que ressources minières sous-marines potentielle en Polynésie Française. Pour ce type de ressources, un effort important d'exploration devra encore être conduit en Polynésie, comme dans d'autres régions du monde où quelques intérêts se sont manifestés : à ce jour, seulement trois permis d'exploration d'encroûtements cobaltifères ont été attribués par l'ISA (tous dans l'Océan Pacifique, pour la Russie, le Japon et la Chine). Une demande du Brésil dans l'Atlantique sud est en cours d'évaluation. Il ne s'agit bien évidemment que de projets d'exploration.

Toutes les publications sur l'environnement physique et les caractéristiques des encroûtements cobaltifères se limitent actuellement à des publications académiques à caractère exploratoire. Pour ce qui concerne l'exploitation, il y a un grand écart entre une vague idée de celle-ci et la notion de réserves. A ce stade de démarrage de l'exploration, il est évident qu'il y a peu, voire pas, d'activité spécifiquement liée à l'exploitation des

encroûtements, même si sur plan technique on peut tenir compte de possibles similarités des méthodes d'exploitation et de traitement métallurgique envisageables avec celles des nodules polymétalliques. Alors que de nombreuses questions sur la nature même de la ressource subsistent pour ce qui concerne leur exploitabilité :

- morphologie fond de mer, notamment à une micro échelle ;
- variation d'épaisseur et teneur en métaux des croûtes ;
- extension latérale et continuité des zones à encroûtements ;
- conception d'un système de ramassage ;
- contrôle du système de ramassage ;
- propriétés géotechniques de la croûte ;
- contrôle en continu de l'épaisseur de la croûte lors du ramassage ;
- évaluation du risque de dilution du minerai lors du ramassage ;
- ...

On dispose de peu d'informations existantes ou disponibles sur la stratégie des industriels. Alors que les premiers développements technologiques relatifs à une possible exploitation des ressources minérales sous-marines (amas sulfurés ou nodules) étaient effectués de manière indépendante et dans la plus grande discrétion par chacun des consortia impliqués (sauf pour le cas des amas sulfurés de Solwara/ Sté Nautilus), les développements récents proposés combinent généralement les acquis des compagnies de service de l'offshore pétrolier et gazier profond au savoir-faire des constructeurs de machines-outils de l'industrie minière.

Les recherches et développements en cours pour l'exploitation des nodules et des amas sulfurés seront en partie adaptables aux encroûtements (liaison fond/surface, remontée du minerai broyé, robotique ...). Si la récupération des nodules est relativement aisée puisqu'ils reposent sur un substrat de sédiments meubles, il n'en va pas de même pour les encroûtements qui peuvent être plus ou moins solidement rattachés au substrat (cependant plus facile à « décoller » dans le cas de substrat carbonaté, ce qui est le cas au Tuamotu). Pour une exploitation réussie, il est indispensable de récupérer les croûtes sans enlever le substrat, ce qui pourrait diluer considérablement la teneur en minerai (sauf si un intérêt pour exploiter des phosphorites sous-jacentes étaient prouvé, lorsqu'elles existent, ce qui peut être le cas avec un substratum carbonaté). Mais il semble cependant qu'on pourrait s'inspirer du système de ramassage (« *crawlers et cutters* » voir axe V) utilisé pour l'exploitation des diamants piégés dans les granulats consolidés (par la Sté De Beers Marine).

Il n'y a pas de cas connu de projet de recherche orienté spécifiquement sur l'exploitation des encroûtements cobaltifères (hors exploration). Le système de ramassage reste donc à concevoir, dans ces conditions aucun test ou projet pilote (à l'image de Solwara pour les amas sulfurés) n'a été lancé pour l'exploitation des encroûtements. Le cas particulier de la Polynésie Française où se trouvent les encroûtements cobaltifères parmi les plus riches connus à ce jour pourrait être le premier projet minier pilote pour les encroûtements.

2. La chaîne de production

A partir de l'expérience des systèmes d'exploitations minières terrestres et en l'absence d'exemple marin, hormis le concept élaboré pour les amas sulfurés de Solwara, une chaîne de production peut être imaginée à partir de différentes publications prospectives (Delamarche M., 2015, Dymont J. *et al.*, 2014, , Ecorys, 2014, Rademaekers K, *et al.*, 2015, <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Encroûtements-cobaltiferes>)

Au départ les matériaux doivent être extraits, collectés, manipulés et idéalement prétraités sur le fond (séparation, broyage et concentration) afin de les stocker sur le fond avant qu'une pompe puisse les propulser dans le riser (conduite utilisée pour relier le fond de la mer avec la plateforme ou le navire). Différentes opérations de surface débutent sur une structure type navire minier, reliée au fond de mer par le riser et chargée d'alimenter en énergie les engins fond de mer. Enfin une plateforme permettra le stockage des matériaux récoltés et une première transformation du minerai pourrait éventuellement y être réalisée. Cette structure servirait aussi de port pour les vraquiers et navires support ; elle devrait être dotée de moyens capable de fournir l'énergie nécessaire (centrale électrique, pouvant être alimentée par énergie solaire et/ou éolienne). Le vrai traitement métallurgique commence alors pour extraire les métaux, à terre ou partiellement en mer (voir contribution III-5)

La Figure 1 représente de manière futuriste et simplifiée les différents modules et opérations constitutifs d'une possible « mine sous-marine ».

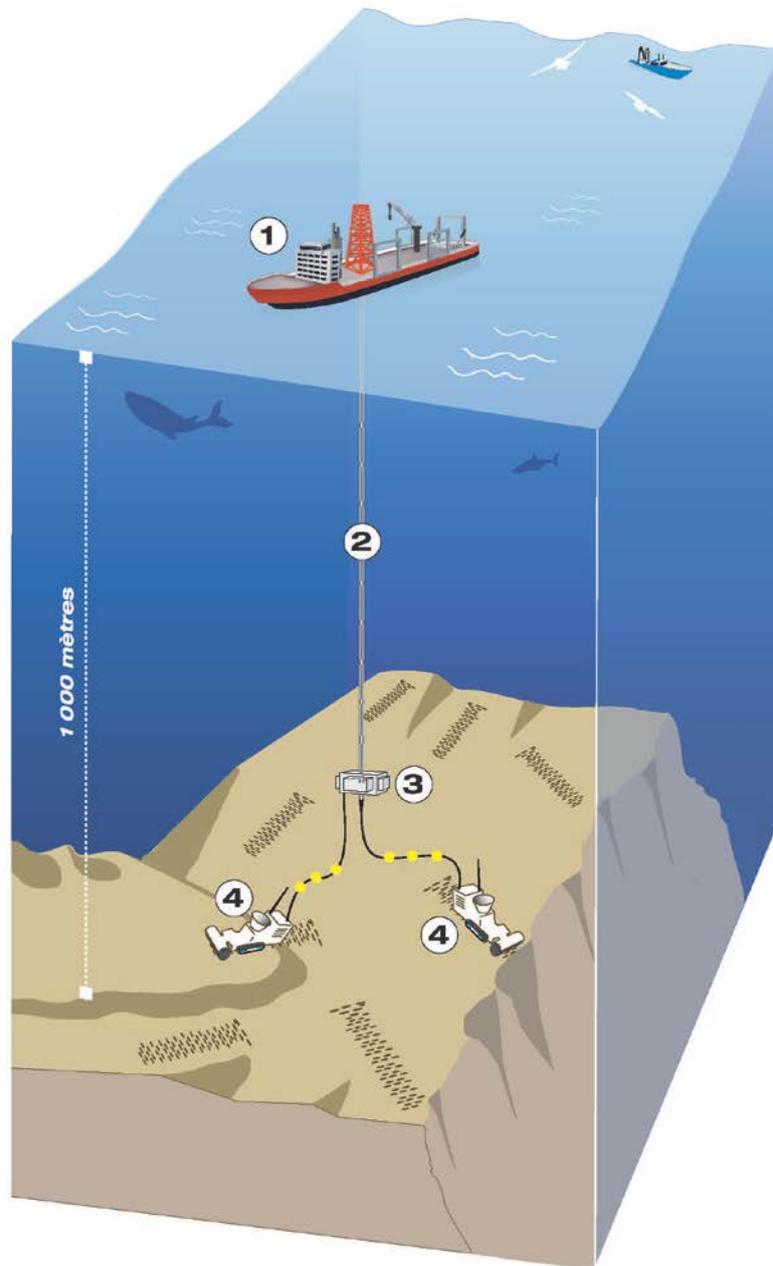


Figure 1 – Vision futuriste de ce que pourrait être une « mine sous-marine » en Polynésie française. Sur le schéma : 1/ structure de surface type navire minier : réception des matériaux et alimentation en énergie des engins de fond de mer, transport des matériaux vers un port ou une plateforme à proximité ; 2/ riser : liaison fond-surface, tube flexible de remontée des matériaux et câble pour l'énergie ; 3/ pompe : propulsion du matériau broyé dans le riser (air lift) ; 4/ engins miniers autopropulsés : extraction, fragmentation et ramassage des matériaux (croûtes polymétalliques). Source : ©IRD/ L. CORSINI

3. Le traitement métallurgique

Là encore, le sujet n'est pas mature pour ce qui concerne les encroûtements cobaltifères, mais plusieurs publications faisant l'état d'avancement des réflexions en la matière abordent cette question en soulignant le besoin de recherche pour choisir un procédé (Ecorys, 2014, Rademaekers K, *et al.* (2025).

Source des informations :

<http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Nodules-polymetalliques/Traitement-metallurgique>

<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/co/texco.htm>

3. 1. Les procédés utilisés (à terre)

Le cobalt est principalement un co-produit de l'extraction d'autres minerais (cuivre, nickel, et parfois métaux précieux). La seule mine exploitant exclusivement un minerai de cobalt, de la smaltite (CoAs₂), est celle de Bou Azzer au Maroc (faible production) qui traite le minerai par hydrométallurgie

<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/co/texco.htm>

Les types de traitements utilisables pour le minerai de cobalt semblent se réduire à deux types : traitement hydrométallurgique (lixiviation sulfurique) et traitement pyrométallurgique (fusion). Ces deux procédés font appel à des techniques et des équipements déjà connus par leur fiabilité dans le traitement de minerais existants. Chacun de ces procédés comporte trois phases:

1. la concentration permettant d'extraire et de séparer les divers métaux sous forme de concentrés ;
2. le raffinage des concentrés et ;
3. la fabrication d'alliages ferro-manganésifères.

Même si l'absence de référence à un traitement d'un minerai comparable à celui des encroûtements rend l'approche délicate, le projet nodules (AFERNOD) avait examiné les différents procédés métallurgiques pour le traitement des nodules, riches en manganèse, ce qui nous permet de tenter une analogie. Le tableau ci-dessous résume le rendement des procédés pyrométallurgique et hydrométallurgique estimés pour l'exploitation des nodules polymétalliques

<http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Nodules-polymetalliques/Traitement-metallurgique>

	Hydrométallurgie	Pyrométallurgie
Manganèse	85 % (382 500 t/an)	87 % (391 000 t/an)
Nickel	96 % (19 730 t/an)	95 % (19 520 t/an)
Cuivre	95 % (17 810 t/an)	86 % (16 125 t/an)
Cobalt	94 % (3525 t/an)	83 % (3110 t/an)

Il est difficile de départager ces deux procédés présentant un taux de récupération moyen des métaux de 90 %. On notera cependant une préférence actuelle pour l'hydrométallurgie.

3.2. Procédés utilisables pour l'extraction du cobalt

L'hydrométallurgie est un procédé métallurgique par lequel des métaux sont extraits d'un minerai, au moyen de réactifs chimiques, dans un milieu à haute température et sous pression, puis séparés pour produire un concentré ou un produit intermédiaire

<http://indices.usinenouvelle.com/metaux-non-ferreux/un-traitement-metallurgique-plus-rentable-du-minerai-pauvre.2901>

L'hydrométallurgie a été utilisée durant un siècle pour le zinc, le cuivre et l'aluminium. Mais ce n'est que dans les années 1950 qu'un procédé hydro-métallurgique à l'acide a été développé pour traiter des minerais latéritiques de nickel. La première usine a été celle de MoaBay à Cuba. Des projets ont ensuite été menés en Australie, à la fin des années 1990 en particulier à Murin Murin. Ces projets ont connu de nombreux déboires qui ont servi à améliorer le procédé.

Par exemple le procédé hydro-métallurgique utilisé à l'usine de Goro (exploitation de Nickel par Vale Nouvelle-Calédonie) destiné à traiter les limonites et les saprolites à basse teneur. Ce procédé permet l'extraction des métaux du minerai au moyen de réactifs chimiques, dans un milieu à haute température et sous haute pression, puis leur séparation pour produire de l'oxyde de nickel et du carbonate de cobalt (http://www.vale.nc/?page_id=18?&lang=pt)

Autre référence, l'exploitation du Nickel en Nouvelle Calédonie par Eramet
http://www.chimie-sup.fr/NICKEL.htm#_Toc102718428
<http://www.eramet.com/nos-activites/extraire-valoriser/le-nickel/notre-activite>

Le processus d'élaboration du nickel de haute pureté n'est qu'une étape d'une longue chaîne de travail qui commence par l'extraction des minerais puis par la formation des ferronickels et de la matte à 75 % de Ni dans l'usine de Doniambo en Nouvelle Calédonie par un procédé pyrotechnique. Cette matte est transportée en France puis traitée à Sandouville par hydrométallurgie. Une solution de chlorure de cobalt pur et une solution de nickel ne contenant plus de cobalt sont ainsi obtenues.

En conclusion, il est important de lancer un projet de recherche sur le(s) procédé(s) de traitement métallurgique des encroûtements sous-marins en tant que minerai de Cobalt mais en examinant aussi la possibilité de tirer partie de sa nature polymétallique (co-valorisation du manganèse, nickel, platine, titane ?, phosphates ?). Cette étude sera fondée sur des prélèvements en assez grande quantité à réaliser sur différents sites et de contextes variés (épaisseur moyenne et variabilité de l'épaisseur, idem teneur en métaux, influence de la nature du substratum présence de phosphorites ...) et sur des analyses et des premiers tests en laboratoire.

3.3. La gestion des déchets

Toute future étude d'impact d'un projet d'exploitation des encroûtements devra, entre autres, tenir compte de la présence d'éléments écotoxiques dans les encroûtements cobaltifères. Une solution devra être développée pour gérer ces boues très fines (« tallings »), en particulier mais pas uniquement, si le traitement a lieu en mer. En effet, des teneurs élevées en arsenic, plomb, thallium ont été décelées dans les échantillons de la campagne Polydrag (Martel-Jantin *et al.*, 2001). Ce sont trois métaux écotoxiques qui pourraient poser des problèmes de gestion des déchets de traitement du minerai.

4. Tentative de dimensionnement d'une exploitation des encroûtements cobaltifères

Beaucoup de paramètres manquent et nécessitent de partir de nombreuses hypothèses pour la microtopographie / rugosité du fond, l'épaisseur des encroûtements, leur densité, la cohésion des encroûtements avec leur substrat, la nature du substrat et la continuité des dépôts. Il n'existe pas de ressources minérales marines exploitées sauf le diamant offshore dont l'exploitation ne se pratique jusqu'ici que par des profondeurs inférieures à 120 mètres. Le diamant offshore ne peut en conséquence

servir de référence pour des encroûtements situés par plus de 1000 mètres de profondeur, même si on peut s'inspirer des technologies de l'engin de fond comme signalé plus haut.

Ordre de grandeur d'une exploitation d'encroûtements

Pour une production annuelle (hypothèse haute) de 10 000 t de Co (10 % de la production mondiale), une superficie de plusieurs centaines de km² de sites seraient nécessaires pour une exploitation devant durer une vingtaine d'années. Ce qui paraît réaliste si l'on estime que plusieurs zones d'environ 100 km² doivent pouvoir être identifiées et évaluées lors de l'exploration.

Ces chiffres n'ont qu'une valeur indicative, compte tenu du manque d'informations disponibles et de l'incertitude sur de nombreux paramètres, comme par exemple l'épaisseur moyenne des croûtes (5 cm en première approximation). Ils ne pourront être précisés qu'après vérification et validation lors des phases d'évaluation des ressources.

5. Développement technologique pour un nouveau procédé de ramassage

Le système de ramassage reste un point dur. Pour tout développement d'un procédé industriel, le passage du travail en laboratoire à l'échelle industrielle nécessite une extrapolation. C'est dans le cadre des expérimentations en unité pilote que les problèmes d'extrapolation devront être abordés, c'est ce que nous disent mes industriels rencontrés.

On appelle «unité-pilote» ou plus simplement «pilote», un dispositif expérimental dont une partie au moins a un fonctionnement représentatif de la partie qui lui correspondra dans l'unité industrielle. Par fonctionnement représentatif, on entend un fonctionnement soit identique, soit transposable grâce à l'utilisation d'un modèle mathématique de cette partie de l'unité. Il est important que le pilote soit représentatif, et c'est là que réside souvent la difficulté. Le passage de l'unité-pilote à l'unité industrielle ne doit pas présenter de difficultés particulières, dans la mesure où les expérimentations faites au stade du développement ont été conçues en vue de l'extrapolation. Ceci implique, en particulier, que le choix de la technologie industrielle soit fait au départ et que le pilote soit alors conçu pour simuler le projet industriel. Il faut garder à l'esprit que plus un modèle est complexe, plus il requiert des données expérimentales pour son ajustement.

La sélection judicieuse du site est capitale. Il importe donc que le site sélectionné pour l'unité-pilote soit représentatif de celui qui sera exploité industriellement dans le futur. Dans le cas des encroûtements de PF ce devrait être un futur site d'exploitation, par exemple sur le plateau sous-marin des Toamotu. Les caractéristiques détaillées d'une unité-pilote pourront être définies lorsque celles du site sera bien connues.

6. Recommandations (développements technologiques pour l'exploitation des encroûtements)

- Monter et réaliser une campagne de prélèvements d'encroûtements (qui peut être associée à une reconnaissance bathymétrique) pour disposer d'un volume d'échantillons suffisant pour analyse et caractérisation géotechnique et métallogénique des encroûtements ;
- Lancer une étude conceptuelle sur l'adaptation des techniques développées par les amas sulfurés (riser et système de ramassage), nécessitant une caractérisation géotechnique des encroûtements et une connaissance la plus précise possible de la géométrie des encroûtements (épaisseur et extension latérale) pour le dimensionnement des systèmes de ramassages ;
- Lancer un projet de recherche sur le(s) procédé(s) de traitement métallurgique des encroûtements en tant que minerai de cobalt mais en examinant aussi la possibilité de tirer partie de sa nature polymétallique (co-valorisation du manganèse, nickel, platine, titane ?, phosphates ?) ;
- Concevoir un projet pilote d'exploitation et de traitement des encroûtements cobaltifères, lorsque les conditions d'une exploitation seront réunies

Bibliographie

BOUGAULT H. et SAGET P., 2011 – Les Encroûtements Cobaltifères De Polynésie Française. Mines et *Carrières 6 Industrie Minérale* – oct 2011- n°185 - Hors série p 70-85

DELAMARCHE M., 2015 – Ces pme explorent les fonds. *L'Usine Nouvelle* n°3433, publié le 27 août 2015.

J. DYMENT, F. LALLIER, N. LE BRIS, O. ROUXEL, P.-M. SARRADIN, S. LAMARE, C. COUMERT, M. MORINEAUX, J. TOUROLLE (coord.), 2014 – *Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*. Expertise scientifique collective, Rapport, CNRS – Ifremer, 930 p.

ECORYS, 2014. *Study to investigate the state of knowledge of deep-sea mining* Final Report under FWC MARE/2012/06 - SC E1/2013/04 Client: European Commission - DG Maritime Affairs and Fisheries .Rotterdam/Brussels, 28 August 2014. En ligne : webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656_DSM

Enroûtements cobaltifères 2014 – (<http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Encroutements-cobaltiferes>), consulté le 20 mai 2015

FOUQUET, Y. et LACROIX D., 2012 – *Les ressources minérales marines profondes: étude prospective à l'horizon 2030*, Editions Quae.

FOUQUET Y et LACROIX D., 2011 – *Les ressources minérales marines profondes*. Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030. » <http://wwz.ifremer.fr/institut/Les-ressources-documentaires/Prospectives>

FOUQUET Y., 2013 – "Les ressources minérales marines État des connaissances sur l'importance des dépôts." *Annales des Mines – Responsabilité et environnement* n°70 –

BRUNO M.J., LAMOUILLE B. (BRGM), BOUGAULT H, LE SUAVE R. ET FOUQUET Y. (IFREMER), BONNEVILLE (IPG PARIS), TROLY (SIM), 2002 – *Evaluation stratégique et prospective préliminaire des encroûtements polymétalliques sous-marins de la ZEE de la Polynésie française*. Rapport confidentiel BRGM – Ifremer

RADEMAEKERS K, *et al.* 2025. *Technology options for deep-seabed exploitation- Tackling economic, environmental and societal challenges – report to the Science and Technology Options. Panel of the European Parliament.*
En ligne :
[http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU\(2015\)547401](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU(2015)547401)

III-5. Infrastructures et compétences humaines disponibles en Polynésie française ou dont celle-ci doit se doter pour accueillir une filière d'exploitation minière sous-marine

T. BAMBRIDGE, P COCHONAT

Expert consulté : J. DENEGRE

1. Faut-il développer une filière minière sous-marine en Polynésie française ?

1.1 Quelles structures ?

La question d'une filière minière sous-marine doit être examinée en tenant compte de 3 aspects :

1. l'exploration (domaine public ou partenariat public-privé) ;
2. l'exploitation (domaine industriel) et
3. le traitement du minerai et la maintenance des systèmes d'exploitation (activité industrielle à terre) ?

Sans aller jusqu'à imaginer une compagnie minière polynésienne, des structures pourraient être mises en place pour répondre aux besoins :

- développer un service des mines au sein des pouvoirs publics polynésiens, notamment pour mettre en place une stratégie

fondée sur l'attribution et le suivi de permis miniers. Compte tenu de la transversalité des questions à traiter (système de permis, questions environnementales, lutte contre la pollution en mer, échanges par les populations et les acteurs), ne serait-il pas opportun d'envisager la création d'une agence des ressources à la confluence de tous ces champs ? ;

- dans le but de mutualiser les moyens (y compris moyens à la mer pour l'exploration) et les compétences pour les aspects miniers, ne serait-il pas judicieux de se rapprocher des Iles Cook, qui affichent des ambitions sur les ressources minérales marines, ou du Secrétariat de la Communauté du Pacifique (CPS) ;
- une structure dédiée davantage à la recherche, notamment pour les travaux d'exploration et d'évaluation de la ressource, l'impact sur les écosystèmes et les aspects socio-culturels. Ce peut être une structure d'Unité Mixte de Recherche (UMR) permettant de rassembler plusieurs organismes ;
- une structure plus orientée vers la préparation de l'exploitation de la ressource de type para-public en attendant et en incitant une nécessaire implication plus forte d'industriels miniers. Elle aurait aussi à s'occuper du montage et du financement des projets de campagne et de traitement des données, d'infrastructures, de traitement du minerai et d'acceptabilité sociale. Cette structure devrait être idéalement un Groupement d'Intérêt Public (GIP) qui permet la mise en place d'un véritable partenariat public-privé et pourrait avoir vocation à devenir un Groupement d'Intérêt Economique (GIE).

1.2. Quelles infrastructures ?

La réflexion doit tenir compte du fait que dans les projections d'exploitation selon différents scénarios, si nous faisons l'hypothèse d'une activité extractive produisant environ un million de tonne par an, cela correspond à l'équivalent en volume de 4 vraquiers à l'année, ce qui reste assez faible en volume de matériau à transporter. Une question est donc de savoir ce qu'il advient de ce volume extrait. Cela a des incidences fortes sur l'évolution des infrastructures portuaires. Cette question peut paraître prématurée, car il convient d'abord de conduire l'exploration, mais il s'agit avant tout ici d'une réflexion sur le long terme pour ce qui concernera peut-être un jour beaucoup d'investissements pour réaliser les infrastructures.

Si le traitement du minerai est entièrement réalisé en Polynésie cela nécessitera le développement d'infrastructures portuaires et d'une filière

industrielle spécifique. Dans cette hypothèse, le minerai est stocké et traité en Polynésie. Des infrastructures à terre ou offshore deviennent nécessaires ce qui suppose des modifications des infrastructures portuaires existantes. Plusieurs solutions sont envisageables :

- le minerai est transporté du site offshore jusqu'aux installations portuaires terrestres. Le transport du minerai nécessite alors la disponibilité d'un navire usine déconnectable du riser (solution retenue par la Sté Nautilus en Papouasie) ou d'une plateforme en mer pour le stockage des produits de l'exploitation qui servira de port pour les vraquiers ;
- une plate-forme permettrait de réaliser en mer un tout premier traitement minéralurgique. Cette structure devrait être conçue pour limiter l'impact sur l'environnement. Cela pourrait aller jusqu'à la construction d'une « île flottante » à utilisation mixte alliant l'utilité des surfaces au sol pour construire tout type d'infrastructures (hôtels, à un port de plaisance, une gare maritime ... et une centrale électrique fournissant l'énergie à l'ensemble du système de ramassage et opérations de surface sur le matériau récolté). Cette solution permettrait de dissocier navire minier et navire de traitement et d'avoir une usine mobile se déplaçant au gré des chantiers d'exploitation sur le fond.

Si le traitement est réalisé à l'extérieur de la ZEE, le transport se fera par vraquier ce qui nécessite également la réalisation d'une infrastructure portuaire « offshore » du type plateforme.

Dans tous les cas il sera nécessaire de fournir l'énergie à l'ensemble du système minier et notamment dans le cas de traitement métallurgique.

1.3. Des infrastructures qui ont des besoins énergétiques importants

Devant l'absence de référence pour le traitement métallifère des encroûtements cobaltifères, on propose, à titre informatif, d'examiner deux cas d'exploitation du nickel en Nouvelle Calédonie, pour avoir une idée des besoins énergétiques pour le traitement du minerai tout en sachant que les quantités de minerai produit seront plus faibles dans le cas du cobalt et/ou de co-produits.

1.3.1. La mine de Goro (province Sud)

L'usine définitive de Goro Nickel (Vale), présentée comme une « véritable ville à construire » devrait à terme avoir une capacité nominale de

production annuelle de 60.000 tonnes de nickel et de 5.100 tonnes de cobalt. Par l'ampleur de ses infrastructures, le projet est particulièrement ambitieux. Il comprend en effet, outre une mine à ciel ouvert à Goro, des usines de préparation et de traitement du nickel et du cobalt, une centrale électrique au charbon de deux fois 50 MW, une usine de production d'acide sulfurique comprenant un stockage de 500 tonnes de dioxyde de soufre liquéfié, une centrale à vapeur, une usine de calcaire, un four à chaux, un port industriel en baie de Prony, une installation de traitement des effluents et son émissaire de rejet en mer, un site de stockage des résidus pour les six premières années d'exploitation de l'unité métallurgique et enfin une « base vie » pouvant accueillir 3.000 personnes durant la phase de construction » (Torre H., 2005). La première tranche d'une capacité de 50 MW, était destinée à satisfaire les besoins de la distribution publique de la Nouvelle-Calédonie (http://www.vale.nc/?page_id=18?&lang=pt).

1.3.2. Le projet du Nord de la mine de Koniambo)

Installée au nord de la Nouvelle-Calédonie, la société Koniambo Nickel SAS exploite un complexe industriel de classe mondiale qui, lorsqu'il aura atteint sa pleine capacité de production, fera de la Nouvelle-Calédonie l'un des principaux producteurs de nickel au monde. Grâce à un gisement de nickel d'une qualité exceptionnelle, Koniambo Nickel assurera une exploitation sur le long terme et à faible coût dans le cadre d'une politique de développement durable très exigeante. (<http://www.koniambonickel.nc/article/notre-entreprise/>)

Le projet comprend la construction à proximité du site d'une usine pyro-métallurgique de ferronickel d'une capacité de 60.000 tonnes par an, nécessite la réalisation d'un port en eaux profondes et d'une centrale électrique au charbon de deux tranches unitaire de 135 MW (Torre H. 2005).

Dans le cas de gros besoin énergétique sur les installations offshore, les énergies marines renouvelables paraissent particulièrement adaptées, solaire et éolienne. Une idée pourrait aussi être examinée, avec l'énergie thermique des mers (ETM) en étudiant la possibilité d'utiliser le flux d'eau froide utilisée pour remonter avec le minerai en suspension, si son débit est suffisant?

1.4. La formation des insulaires

Quelque soit le scénario envisagé, la préférence à l'embauche sera donnée à la population locale, et en particulier les personnes affectées par les activités de réinstallation. Initialement, la plupart des postes remplis par des travailleurs locaux seront des emplois non spécialisés, mais avec le temps, le Projet offrira aux employés des programmes de formation visant à

améliorer leurs capacités et compétences dans les domaines tels que le génie civil, les compétences de machinistes, l'entretien des véhicules et les compétences en bureautique, traitement du minerai ...

Un effort particulier doit être fait pour améliorer la promotion de la formation aux sciences de la mer et leur attractivité. La France possède de bons outils dans bien des domaines, mais ils sont souvent dispersés et des lacunes significatives demeurent (géosciences, géologie marine, environnement, biologie marine, ingénierie minière). Il conviendrait aussi de promouvoir ici le volet recherche à l'université

Notre groupe d'expertise a inventorié les compétences nécessaires à terre et en mer dont la Polynésie française aura besoin si elle s'engage dans une exploitation des ressources en eau profonde :

- scientifiques (Géologie/volcanologie/tectonique, Géophysique et Cartographie, Géochimie et Métallogénie, Biologie et Microbiologie (biodiversité fonctionnement des écosystèmes, Bactéries et métaux), analyses en mer et à terre (Fluides, roches, chimie, minéralogie, isotopes, Economie minière ;
- administratives et juridiques : Droit minier, Services des mines, Direction de l'environnement ;
- techniques (génie civil, manutention, traitement du minerai) ;

Si toutefois de telles options étaient retenues, il conviendra enfin de discuter des impacts sociaux de l'engagement dans une filière minière sous-marine profonde en insistant sur les conditions de l'acceptabilité sociale en Polynésie française (voir Axe II)

Bibliographie

DYMENT J., LALLIER F., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P. M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (coord.), 2014 – *Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*. Expertise scientifique collective, Rapport, CNRS – Ifremer, 930 p.

ECORYS 2014 – *Study to investigate the state of knowledge of deep-sea mining* Final Report under FWC MARE/2012/06 - SC E1/2013/04 Client: European Commission - DG Maritime Affairs and Fisheries .Rotterdam/Brussels, 28 August 2014. En ligne : webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656_DSM

RADEMAEKERS K, et al., 2015 – *Technology options for deep-seabed exploitation- Tackling economic, environmental and societal challenges – report to the Science and Technology Options*. Panel of the European Parliament. En ligne : [http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU\(2015\)547401](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document.html?reference=EPRS_STU(2015)547401)

THORRE H., 2005 – *Mission de contrôle effectuée en Nouvelle-Calédonie relative à la défiscalisation des usines de traitement du nickel*. Rapport du Sénat N° 7 - Rapport d'information session ordinaire de 2005-2006 - Annexe au procès-verbal de la séance du 5 octobre 2005)

Sites web visités:

http://www.vale.nc/?page_id=18?&lang=pt

<http://www.koniambonickel.nc/article/notre-entreprise/>

<http://www.eramet.com/>

<http://www.technip.com/fr>

Axe IV.

**Enjeux environnementaux
de l'exploration
et de l'exploitation**

Expert coordonnateur :

Sarah SAMADI

IV-1. Ecosystèmes et milieux concernés : état des connaissances

S. SAMADI, C. JOST

1. Types de structures océaniques en Polynésie française, abritant des ressources potentielles

Les encroûtements polymétalliques riches en cobalt constituent la principale ressource potentielle identifiée en Polynésie française. Ces encroûtements y sont connus sur des reliefs sous-marins notamment sur le plateau des Tuamotu. Des champs de nodules polymétalliques pourraient également être présents dans les plaines abyssales au Nord-ouest de la ZEE et dans les zones possibles d'extension de la ZEE (voir contribution I-2). Si leur présence est confirmée dans ces zones, ils seraient une seconde ressource potentielle.

1.1. Les encroûtements cobaltifères

Les encroûtements se forment sur des reliefs sous-marins où la combinaison de courants et de faibles apports de sédiments empêche la sédimentation. Peu de connaissances sont disponibles quant aux processus qui les génèrent. Les données suggèrent néanmoins une vitesse de formation lente (de 1 à 6 mm par million d'années). Des données suggèrent que les micro-organismes auraient un rôle dans leur formation (Liao *et al.*, 2011). Dans le contexte de la Polynésie française, les encroûtements d'épaisseur importante ont été observés sur des reliefs anciens d'origine volcanique qui

culminent à des profondeurs de quelques centaines de mètres à plus de 2000 m.

Les reliefs sur lesquels ces encroûtements se forment se caractérisent par des substrats durs et une faible sédimentation ; ils font partie des structures que l'on réunit généralement sous le terme de monts sous-marins. Les monts sous-marins sont définis comme des reliefs d'origine volcanique qui culminent à plus de 1000 m au-dessus du plancher océanique environnant (Menard 1964). Cette élévation minimum est cependant souvent abaissée pour inclure une plus grande variété de structures d'origine volcanique (Kim *et al.*, 2011). Il reste néanmoins des difficultés de définition et de distinction entre des structures discrètes (monts) et continues (rides). Quelle que soit la définition choisie ces structures topographiques du milieu profond jouent un rôle dans de nombreux phénomènes naturels comme la circulation océanique à petite ou à grande échelle, la distribution des organismes ou encore la propagation des vagues d'un tsunami. De fait, leur localisation est souvent connue des pêcheurs par les effets qu'ils peuvent avoir sur la concentration de poissons mais également de grands vertébrés pélagiques ou d'oiseaux marins.

En Atlantique Nord, des études intégratives d'ensemble de monts sous-marins ou des reliefs de la ride médio-océanique illustrent la diversité de ces rôles et la complexité des interactions entre les différents facteurs naturels (voir notamment les volumes 98A et 98B de la revue *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* publiés en 2013). Ces études mettent en évidence que les faunes associées aux substrats durs sont plus diversifiées que celles des milieux sédimentaires et que les assemblages faunistiques y sont plus structurés à la fois spatialement et avec la profondeur (Mortensen *et al.*, 2008 ; Priede *et al.*, 2013 ; Braga-Henriques *et al.*, 2013 ; Durden *et al.*, 2015). Peu d'organismes semblent géographiquement restreints à ces structures : les affinités avec les faunes continentales de part et d'autre de l'Atlantique sont mixtes et suggèrent que ces reliefs jouent un rôle de relai dans la distribution des organismes.

Les raisons de la diversité des organismes et des assemblages qui sont associées aux substrats durs semblent multiples (cf. figure ci-dessous tirée de Shank, 2010) : hétérogénéité des habitats liée notamment à la topographie, courants permettant éventuellement la concentration de particules (propagules et/ou nutritives) dans la colonne d'eau, effets d'upwelling permettant la mobilisation de nutriments depuis les couches profondes plus riches vers la surface induisant ainsi une plus grande productivité dans les couches de surfaces. De plus, ces substrats durs accueillent généralement des organismes filtreurs (éponges, coraux, gorgones, etc...) qui, à la façon des arbres forestiers ou des coraux récifaux, produisent un habitat biogénique qui peut accueillir un cortège diversifié d'espèces associées (Buhl-Mortensen *et al.*, 2008).

A l'échelle mondiale, seule une très faible proportion des monts sous-marins a été explorée (Allain *et al.*, 2008). Des connaissances approfondies ne sont disponibles que sur un petit nombre de zones d'études. Ces études de cas ne couvrent pas la diversité des conditions océanographiques dans lesquelles de tels reliefs sont identifiés (Clark *et al.*, 2010).

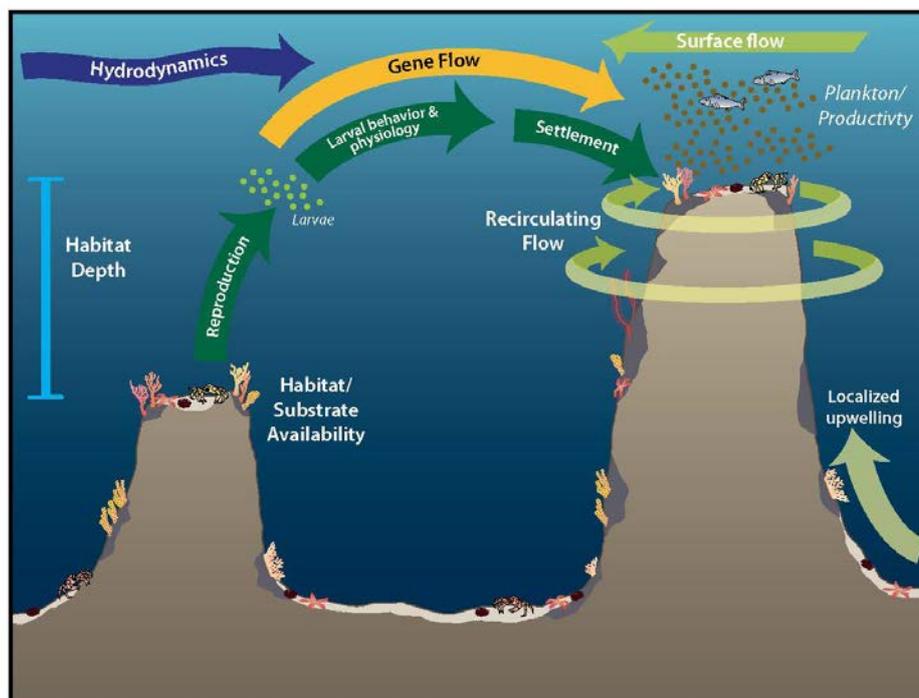


Figure 1 – tirée de Shank (2010). Les monts sous-marins sont des habitats autour desquels l'hydrodynamisme est complexe. Ils accueillent des organismes filtreurs fixés qui peuvent produire un habitat biogénique auquel est associé un cortège diversifié d'espèces. La dynamique écologique implique des interconnexions trophiques et ontogénétiques entre les différents compartiments de la colonne d'eau : la productivité du plancton dépend de la mobilisation d'éléments nutritifs par des courants d'upwelling, des courants de rétention permettent de concentrer les apports nutritifs pour le benthos mais peuvent empêcher la dispersion des larves entre les patches d'habitat, etc.

1.2. Les nodules polymétalliques

Des champs de nodules sont observés à la surface des sédiments dans les plaines abyssales (entre 3 000 et 5 500 m de profondeur). Ces zones sont caractérisées par de faibles taux de sédimentation. Les nodules se forment par des processus probablement similaires à ceux à l'origine des encroûtements polymétalliques. Comme pour les encroûtements, les micro-organismes semblent intervenir dans le processus à l'origine de l'enrichissement en métaux (Wang *et al.*, 2011). La croissance des nodules est également considérée comme lente avec des estimations variant entre 5 et 10 mm par million d'années. Aucune donnée sur les organismes de ces environnements n'est disponible pour la Polynésie française.

Les nodules forment donc de petits îlots de substrats rocheux dans les plaines abyssales sédimentaires avec comme conséquence de créer une mosaïque d'habitats. La diversité bactérienne associée aux sédiments et aux nodules est distincte (Tully *et al.*, 2013). La faune abyssale associée aux sédiments est composée d'une grande diversité d'organismes fouisseurs de petite taille (méiofaune) et d'une mégafaune dépositivore (tels que oursins et holothuries) moins diversifiée. La faune associée aux nodules est diversifiée et comportent notamment des organismes fixés tels que des foraminifères (voir Kamenskaya *et al.*, 2012), des coraux (voir Cairns, 2015) ou des éponges. Ces organismes fixés peuvent eux-mêmes constituer des habitats pour un cortège d'espèces associées (Veillette *et al.*, 2007). La présence de ces nodules à la surface du sédiment crée des crevasses qui constituent un habitat supplémentaire. En effet, la faune associée aux sédiments de ces crevasses est distincte de celles des sédiments environnants (Thiel *et al.*, 1993).

La découverte de la diversité de ces habitats dans les plaines abyssales est récente et très largement en lien avec les efforts de recherche déployés pour l'exploration minière. Beaucoup des organismes associés aux nodules ne sont encore connus que par des images (Foell et Pawsan, 1986). Ainsi, certaines espèces identifiées sur les images n'ont pu être décrites que très récemment grâce à des prélèvements de nodules par des submersibles. Par exemple, en 2015, Steven Cairns décrit un nouveau genre (*Abyssoprinnoa*) de gorgones de la famille des Primnoidae qui avait été jusqu'alors uniquement été identifié sur des photos dans les plaines abyssales de la région de fracture Clarion Clipperton. Les trois espèces décrites dans cet article font partie des 39 espèces d'octocoraux, parmi les quelques 3200 connues à ce jour, à habiter des profondeurs de plus de 3 000 m.

2. Biodiversité associée aux substrats durs en Polynésie française

La diversité des organismes marins se structure en fonction de la position dans la colonne d'eau pour les organismes mobiles (pélagos), et en fonction de la profondeur et de la nature du substrat (sédimentaire ou rocheux) pour les organismes vivant sur les fonds (benthos). Pour l'ensemble de la faune marine un déterminant majeur de la biodiversité est la productivité primaire des eaux de surfaces (c'est-à-dire la mobilisation du carbone inorganique par les organismes planctoniques photosynthétiques).

Les monts sous-marins de Polynésie française abritant potentiellement des ressources minérales sont des environnements de substrats durs de la zone bathyale moyenne (700 à 2000 m environ). Les zones de monts sous-marins y sont bien connues des pêcheurs car elles ont des effets sur la concentration des poissons. Une étude du service des pêches de Polynésie française de 2003 montre par exemple que le thon obèse est pêché principalement autour des monts sous-marins entre 12°S et 15°S. De même, l'étude de Morato *et al.*, (2010) estime qu'entre 1997 et 2007 près de 40% des prises de Thon jaune de la Polynésie française ont été réalisées sur des monts sous-marins.

Le Pacifique Sud est une zone globalement oligotrophe (c'est-à-dire peu productive). Dans cette zone, la Polynésie française se caractérise néanmoins par un gradient de productivité croissante depuis les Australes vers les Marquises (Ras *et al.*, 2008). Ce gradient se retrouve par exemple dans les densités des cétacés et des oiseaux (Mannocci *et al.*, 2014) : globalement plus grandes aux Marquises et aux Tuamotu qu'aux Australes, aux Gambier ou dans les îles de la Société. Concernant les oiseaux, cette même étude montre cependant que la productivité n'est pas le seul facteur explicatif de la distribution : la disponibilité de zones pour nicher à terre est également un facteur déterminant.

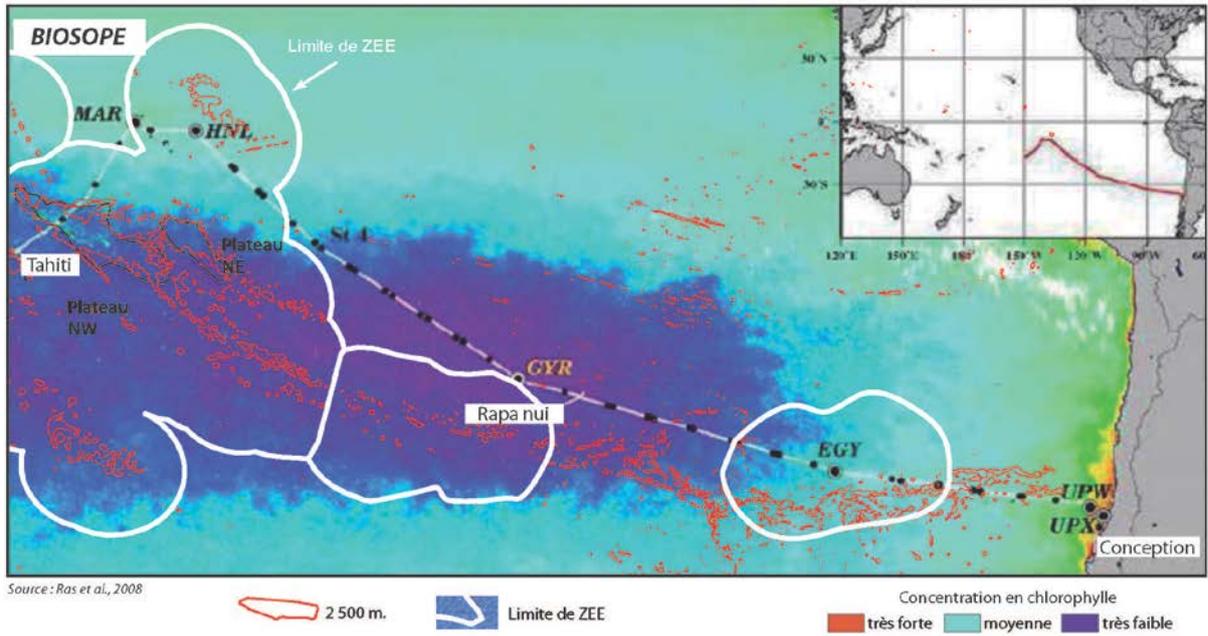


Figure 2 – Productivité phytoplanctonique. La Polynésie française est une zone globalement peu productive (couleur pourpre). La partie nord des Tuamotu et la zone des îles Marquises sont les zones les plus productives de la Polynésie française (Source : tirée de Ras et al., 2008).

La figure suivante, tirée de Mannocci *et al.*, (2014) illustre les différences de densités pour plusieurs espèces de cétacés et d'oiseaux. Sur cette figure, on peut constater que, pour la plupart des espèces suivies, de plus grandes densités sont prédites aux Marquises (MAR) et dans la partie nord des Tuamotu (TAN). Pour plusieurs espèces d'oiseaux les Tuamotu nord (TAN) et sud (TAS) s'avèrent être des zones de grandes densités.

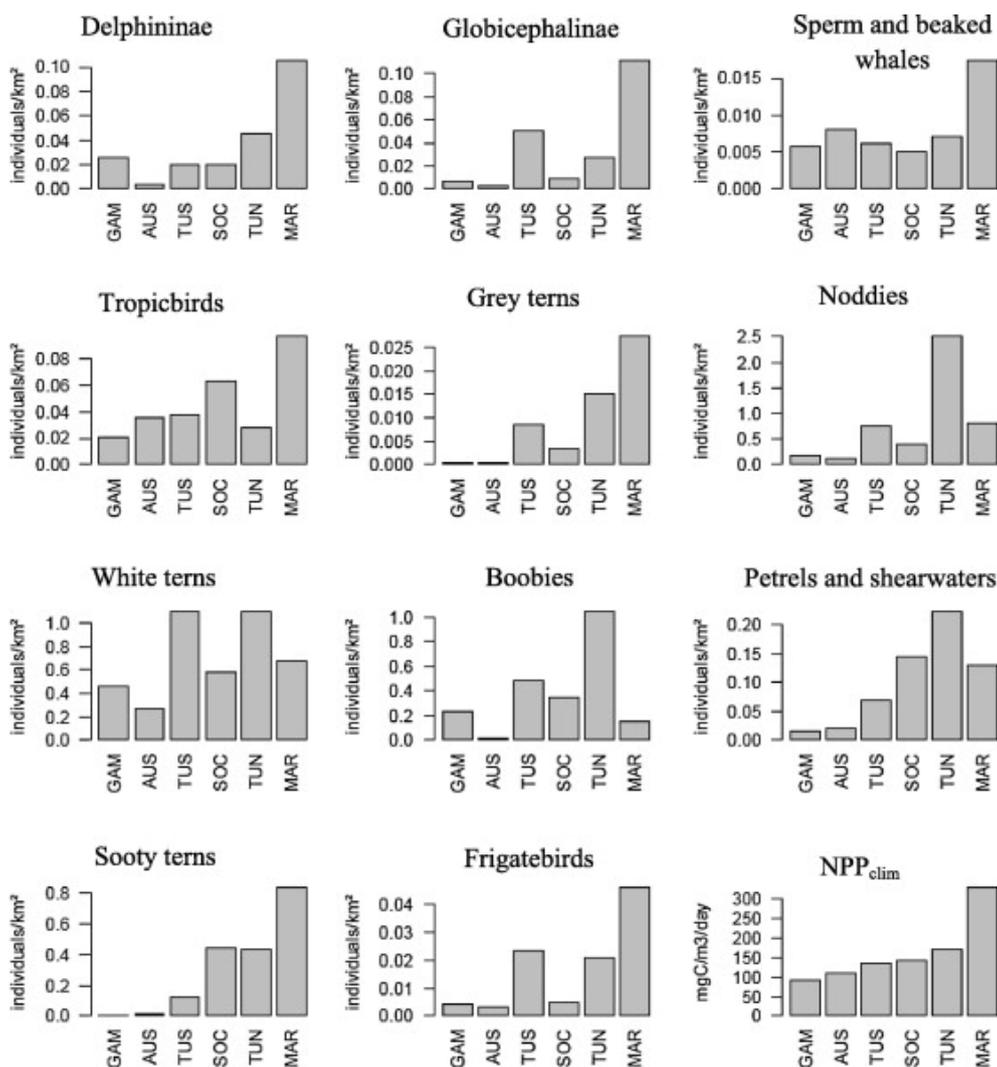


Figure 3 – Densité moyenne prédite pour des cétacés et des oiseaux marins dans six secteurs géographiques classés par productivité croissante de gauche à droite (GAM : Gambier, AUS : Australs, TUS : Sud Tuamotu, SOC : Society, TUN : Nord Tuamotu, MAR : Marquises) (Source : figure tirée de Mannocci *et al.*, 2014).

La productivité peut varier avec les saisons et de nombreux grands prédateurs se déplacent à grande échelle dans le Pacifique Sud. Une étude récente sur l'espadon (Evans *et al.*, 2014) montre par exemple que ce prédateur se déplace depuis le nord de la Polynésie jusqu'en Nouvelle-Zélande probablement en lien avec des variations saisonnières de la productivité dans les eaux froides du sud et en fonction des périodes de reproduction.

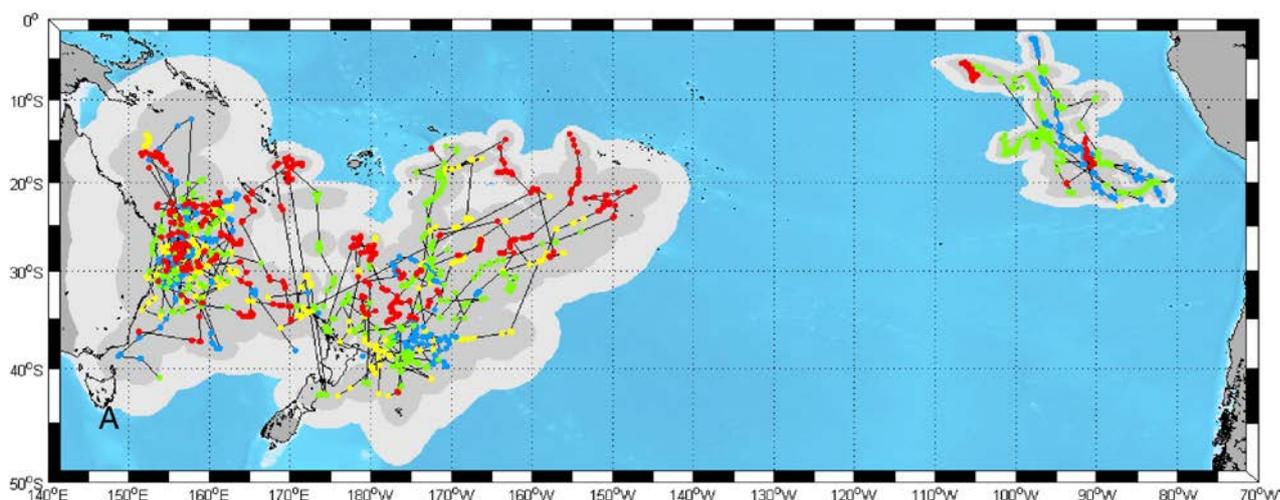


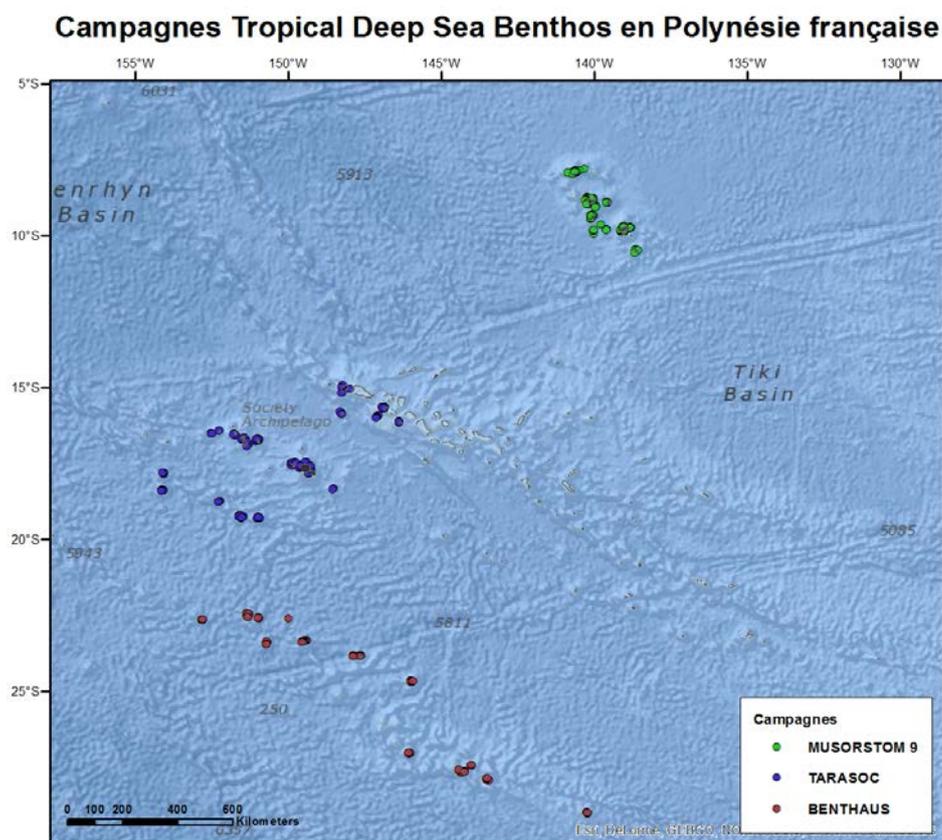
Figure 4 – tirée d'Evans *et al.*, (2014). Mouvements estimés des espadons dans l'océan Pacifique sud entre 2006 et 2010. Les différentes couleurs correspondent à différentes périodes de l'année.

La connaissance de la diversité des organismes pélagiques et bathypélagiques est loin d'être complète. Un inventaire récent autour de l'île de Pitcairn (Friedlander *et al.*, 2014) a montré que les données concernant le compartiment profond de cette région en bordure de la ZEE polynésienne étaient très parcellaires : des espèces nouvelles de poissons y ont été identifiées et des espèces connues ont été observées à des profondeurs beaucoup plus grandes que celles attendues.

Concernant le benthos de la zone bathyale de Polynésie française, la plupart des données disponibles proviennent des campagnes du programme Tropical Deep Sea Benthos (TDSB, précédemment Musorstom) mené depuis 1976 par l'IRD et le MNHN (Bouchet *et al.*, 2008 ; Richer de Forges *et al.*, 2013). Trois campagnes ont exploré respectivement les Marquises (Musorstom 9, 1997), l'archipel des Australes (Benthaus, 2002) et l'archipel de la Société et des Tuamotu (Tarasoc, 2009). Des données concernant principalement les crustacés ont également été acquises grâce aux récoltes du navire Marara de 1986 à 1996 effectuées par le Service Mixte de Surveillance Radiologique et Biologique (Poupin, 1996). Une campagne

financée par l'Agence des Aires Marines protégées en 2012 (Pakaihi i te Moana) a permis d'obtenir des images *in situ* de la faune profonde aux Marquises (Poupin *et al.*, 2012).

Au cours de la campagne Tarasoc des encroûtements sur des monts sous-marins à moins de 1 000 m de profondeur ont été observés : un mont sous-marin, identifié par les campagnes géologiques pour ces encroûtements, proche de Niau ainsi que les monts sous-marins de la chaîne des monts Tarava qui s'alignent au sud parallèlement aux îles de la société. Cette chaîne de monts sous-marins avait été cartographiée et étudiée lors de la campagne Zepolyph 1. Le rapport de cette campagne mentionne une forte réflectivité sur ces structures et un échantillon de basalte, dragué sur un mont qui culmine à 3000 m de profondeur, présentant une forte épaisseur d'encroûtements.



Les campagnes TDSB sont des campagnes d'exploration naturaliste dont l'objectif est de documenter la diversité des organismes benthiques de la zone bathyale de l'Indo-Pacifique Sud. La zone la plus explorée par ce programme est la ZEE de Nouvelle-Calédonie qui se distingue par des reliefs sous-marins à substrats durs abritant une grande diversité d'organismes. Les campagnes se sont ensuite étendues dans le Pacifique vers les archipels proches (Salomon, Vanuatu) et plus éloignés (Polynésie française et plus récemment Papouasie Nouvelle Guinée) mais aussi dans l'océan Indien avec des campagnes dans le canal du Mozambique et au large des côtes malgaches et plus récemment dans les Caraïbes (Guyane et Guadeloupe).

Un des résultats importants de ces campagnes est d'avoir permis de documenter pour le milieu profond les gradients de diversité mis en évidence pour les faunes côtières. Les études établissent en effet un triangle d'or de la diversité marine centré sur l'Indonésie et la Papouasie. La diversité décroît quand on s'éloigne de cette zone vers le Sud et vers l'Est du Pacifique. Dans ce gradient, la Polynésie se situe dans une zone de relative faible diversité. Si elle est moins diverse qu'en Nouvelle-Calédonie ou en Papouasie Nouvelle Guinée, la faune de Polynésie présente cependant un taux d'espèces endémiques plus élevées.

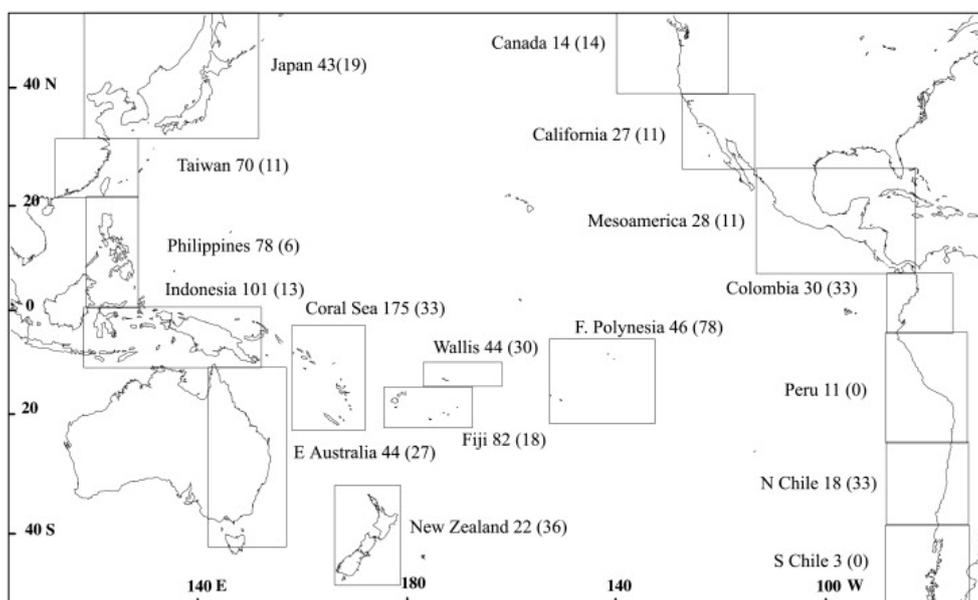


Figure 6 – tirée de Macpherson *et al.*, (2010). Pour chaque rectangle, le nombre total d'espèces de galathées dans la gamme de profondeur 200 à 2 000m est indiqué. Le nombre entre parenthèses correspond au pourcentage d'espèces de ce total qui ne sont connues que de cette zone.

L'étude de Macpherson *et al.*, (2010) sur les galathées du milieu profond illustre cette tendance. Le nombre d'espèces identifiées en Polynésie française est deux fois plus faible qu'en Indonésie mais le taux d'espèces endémiques y est six fois plus élevé (voir figure ci-dessous extraite de cet article). La pauvreté relative de la zone Polynésienne peut être mise en relation avec l'éloignement géographique ainsi qu'avec la faible productivité. Cependant les données d'exploration sont très incomplètes et le gradient ainsi que l'endémicité des faunes pourraient au moins en partie résulter de ce déficit d'exploration.

La campagne Tarasoc apporte des premières données sur des zones à encroûtements polymétalliques. Lors de cette campagne, les opérations de dragages ont permis de collecter, en accord avec les données de réflectivité de la campagne Zepolyph 1, des échantillons de roches fortement encroûtées. Ces échantillons de roches récoltés par une campagne d'exploration de la biodiversité benthique n'ont cependant pas été analysés pour leur teneur en métaux. Les spécimens récoltés lors de cette campagne sont encore en cours d'étude mais déjà 37 nouvelles espèces sont enregistrées dans les bases de données du MNHN. Parmi ces nouvelles espèces certaines ne sont connues que des monts sous-marins à encroûtements. On citera notamment deux espèces de cônes décrites à partir de spécimens récoltés pour l'une sur le mont sous-marin au large de Niau et pour l'autre sur le mont Punu Taipu de la chaîne Tarava (Rabiller et Richard, 2014). Les données de ces campagnes restent néanmoins très insuffisantes pour caractériser les faunes associées à ces structures. En effet, les opérations de dragages et de chalutages sur ces structures sont difficiles et demanderaient à être complétées par des échantillonnages à l'aide de robots ainsi que par de l'imagerie sous-marine.

Une seule étude compare la diversité de monts avec ou sans encroûtements polymétalliques dans le Pacifique (Schlacher *et al.*, 2014). Cette étude suggère que contrairement aux hypothèses classiquement formulées, la diversité des monts sous-marins à encroûtement n'est pas plus faible que dans les zones sans encroûtements et que cette diversité n'est pas un simple sous-échantillonnage de la diversité des zones sans encroûtement. Cette étude présente deux principales restrictions. Tout d'abord la zone avec ou sans encroûtement a été définie a priori et aucune donnée d'analyse des roches ne permet de valider la délimitation entre les deux zones. D'autre part, l'évaluation de la diversité a été faite uniquement sur la base de vidéo ce qui ne permet pas une évaluation suffisante de la diversité dans des zones où les connaissances zoologiques sont très incomplètes (Williams *et al.*, 2015). La structure de la biodiversité du milieu profond reste mal connue et de nombreuses hypothèses couramment admises sont formulées à partir de données insuffisantes (McClain et Schalcher 2015).

3. Ecologie des organismes associés à ces structures

Les monts sous-marins ne peuvent pas être définis comme un écosystème fermé. Différents compartiments peuvent être décrits le long de la colonne d'eau mais d'un point de vue écologique, ils sont interconnectés non seulement entre eux mais aussi avec d'autres compartiments associés à d'autres environnements marins. Le schéma proposé dans la figure 2 tirée de Shank (2010) et reproduite en début de ce chapitre résume ces interconnexions que l'on peut diviser en deux grandes catégories.

Interconnexions trophiques. La plupart des organismes vivants sur le fonds (benthos) sont dépendants pour leur alimentation de la productivité des organismes de la zone euphotique (*i.e.* où la présence de lumière permet la photosynthèse). Réciproquement la productivité de la zone euphotique dépend de la mobilisation de nutriments depuis les eaux plus profondes généralement plus riches.

Interconnexions ontogénétiques. De nombreux organismes marins changent d'habitats au cours de leur cycle de vie : la plupart des invertébrés du benthos ont une phase larvaire pélagique et de nombreux vertébrés marins utilisent différents biotopes pour se nourrir et se reproduire. Ces différentes phases permettent une connectivité entre des habitats éloignés et expliquent donc les aires de distribution des organismes

En Polynésie française, les études écologiques sur les monts sous-marins concernent principalement la pêche (voir Morato *et al.*, 2010), les oiseaux ou les grands mammifères (voir Mannocci *et al.*, 2014). Aucune étude écologique ne s'est jusqu'à présent intéressée à la faune benthique de Polynésie. Une étude récente dans le Pacifique Nord montre une très forte hétérogénéité à petite échelle des peuplements associés aux encroûtements (Morgan *et al.*, 2015). La façon dont cette hétérogénéité locale est organisée à plus grande échelle reste à étudier.

L'étude d'Evans *et al.*, (2014) sur l'espadon illustre les connexions entre secteurs géographiques éloignés du Pacifique, avec des zones utilisées pour l'alimentation et d'autre pour la reproduction. Le comportement des animaux, et notamment les profondeurs où ils se trouvent, peuvent varier entre ces différentes zones et en fonction du comportement (reproduction, alimentation).

La campagne Tarasoc n'a pas mis en évidence de monts sous-marins à forte densité d'organismes filtreurs (éponges, gorgones etc...) comme sur les structures comparables de la Nouvelle-Calédonie. Cependant la zone explorée reste très petite par rapport à l'ensemble des reliefs de la Polynésie française. Les reliefs du plateau des Tuamotu ont été très faiblement explorés et seules quelques données de biodiversité sont disponibles. L'écologie du compartiment benthique associé aux reliefs à encroûtements en Polynésie française est donc totalement inconnue.

Bibliographie

ALLAIN, V., KERANDEL, J. A., ANDREFOUËT, S., MAGRON, F., CLARK, M., KIRBY, D. S., et MULLER-KARGER, F. E., 2008 – Enhanced seamount location database for the western and central Pacific Ocean: screening and cross-checking of 20 existing datasets. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(8), 1035-1047.

BOUCHET, P., HEROS, V., LOZOUET, P., et MAESTRATI, P., 2008 – A quarter-century of deep-sea malacological exploration in the South and West Pacific: Where do we stand? How far to go? *Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle*, 196, 9-40.

BRAGA-HENRIQUES, A., PORTEIRO, F. M., RIBEIRO, P. A., MATOS, V. D., SAMPAIO, Í., OCAÑA, O., et SANTOS, R. S., 2013 – Diversity, distribution and spatial structure of the cold-water coral fauna of the Azores (NE Atlantic). *Biogeosciences*, 10(6), 4009-4036.

CAIRNS, S. D., 2015 – New abyssal Primnoidae (Anthozoa: Octocorallia) from the Clarion-Clipperton Fracture Zone, equatorial northeastern Pacific. *Marine Biodiversity*, 1-10.

CLARK, M. R., ROWDEN, A. A., SCHLACHER, T., WILLIAMS, A., CONSALVEY, M., STOCKS, K. I., et HALL-SPENCER, J. M., 2010 – The ecology of seamounts: structure, function, and human impacts. *Annual Review of Marine Science*, 2, 253-278.

DURDEN, J. M., BETT, B. J., JONES, D. O., HUVENNE, V. A., et RUHL, H. A., 2015 – Abyssal hills–hidden source of increased habitat heterogeneity, benthic megafaunal biomass and diversity in the deep sea. *Progress in Oceanography*, 137, 209-218.

EVANS, K., ABASCAL, F., KOLODY, D., SIPPEL, T., HOLDSWORTH, J., et MARU, P., 2014 – The horizontal and vertical dynamics of swordfish in the South Pacific Ocean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 450, 55-67.

FOELL, E. J., et PAWSON, D. L., 1986 – Photographs of invertebrate megafauna from abyssal depths of the north-eastern equatorial Pacific Ocean. *The Ohio Journal of Science*. v86, n3 (June, 1986), 61-68.

FRIEDLANDER, A. M., CASELLE, J. E., BALLESTEROS, E., BROWN, E. K., TURCHIK, A., et SALA, E., 2014 – The Real Bounty: Marine Biodiversity in the Pitcairn Islands. *PloS one*, 9(6), e100142.

KAMENSKAYA, O., GOODAY, A. J., RADZIEJEWSKA, T., et WAWRZYNIAK-WYDROWSKA, B., 2012 – Large, enigmatic foraminiferan-like protists in the eastern part of the Clarion-Clipperton Fracture Zone (abyssal north-eastern

subequatorial Pacific): biodiversity and vertical distribution in the sediment. *Marine Biodiversity*, 42(3), 311-327.

KIM, S. S., et WESSEL, P., 2011 – New global seamount census from altimetry-derived gravity data. *Geophysical Journal International*, 186(2), 615-631.

LIAO, L., XU, X. W., JIANG, X. W., WANG, C. S., ZHANG, D. S., NI, J. Y., et WU, M., 2011 – Microbial diversity in deep-sea sediment from the cobalt-rich crust deposit region in the Pacific Ocean. *FEMS microbiology ecology*, 78(3), 565-585.

MACPHERSON, E., DE FORGES, B. R., SCHNABEL, K., SAMADI, S., BOISSELIER, M. C., et GARCIA-RUBIES, A., 2010 – Biogeography of the deep-sea galatheid squat lobsters of the Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57(2), 228-238.

MANNOCCI, L., CATALOGNA, M., DORÉMUS, G., LARAN, S., LEHODEY, P., MASSART, W. et RIDOUX, V., 2014 – Predicting cetacean and seabird habitats across a productivity gradient in the South Pacific gyre. *Progress in Oceanography*, 120, 383-398.

MCCLAIN, C. R., et SCHLACHER, T. A., 2015 – On some hypotheses of diversity of animal life at great depths on the sea floor. *Marine Ecology*. DOI: 10.1111/maec.12288

MENARD, H. W., 1964 – Marine geology of the Pacific. *International Series in the Earth Sciences*. McGraw-Hill, New York.

MORATO, T., HOYLE, S. D., ALLAIN, V., et NICOL, S. J., 2010 – Tuna longline fishing around West and Central Pacific seamounts. *PloS one*, 5(12), e14453.

MORGAN, N. B., CAIRNS, S., REISWIG, H., et BACO, A. R., 2015 – Benthic megafaunal community structure of cobalt-rich manganese crusts on Necker Ridge. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 104, 92-105.

MORTENSEN, P. B., BUHL-MORTENSEN, L., GEBRUK, A. V., et KRYLOVA, E. M., 2008 – Occurrence of deep-water corals on the Mid-Atlantic Ridge based on MAR-ECO data. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(1), 142-152.

POUPIN J., 1996 – Atlas des crustacés marins profonds de Polynésie française. Récoltes du navire Marara, 1986/1996. Service Mixte de Surveillance Radiologique et Biologique SMSRB. Editions Louis Jean, Gap, 56 pp., pl. 1-20., 59 p., 20 pl. en couleur, annexe 4 p., Publications du SMSRB. <hal-00411280>

POUPIN, J., CORBARI, L., PEREZ, T., et CHEVALDONNE, P., 2012 – Deep-water decapod crustaceans studied with a remotely operated vehicle (ROV) in the

Marquesas Islands, French Polynesia (Crustacea: Decapoda). *Zootaxa*, 3550, 43-60.

PRIEDE, I. G., BERGSTAD, O. A., MILLER, P. I., VECCHIONE, M., GEBRUK, A., FALKENHAUG, T. et LORANCE, P., 2013 – Does presence of a mid-ocean ridge enhance biomass and biodiversity?

RABILLER M. et RICHARD G., 2014 – *Conus* (Gastropoda, Conidae) from offshore French Polynesia: Description of dredging from TARASOC expedition, with new records and new species. *Xenophora Taxonomy*. 5: 25-49.

RAS, J., CLAUSTRE, H., et UITZ, J., 2008 – Spatial variability of phytoplankton pigment distributions in the Subtropical South Pacific Ocean: comparison between in situ and predicted data. *Biogeosciences*, 5(2), 353-369.

RICHER DE FORGES, B., CHAN, T. Y., CORBARI, L., LEMAITRE, R., MACPHERSON, E., AHYONG, S. T., et NG, P. K., 2013 – The MUSORSTOM-TDSB deep-sea benthos exploration programme (1976-2012): An overview of crustacean discoveries and new perspectives on deep-sea zoology and biogeography. *Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle*, 204, 13-66.

SCHLACHER, T. A., BACO, A. R., ROWDEN, A. A., O'HARA, T. D., CLARK, M. R., KELLEY, C., et DOWER, J. F., 2014 – Seamount benthos in a cobalt-rich crust region of the central Pacific: conservation challenges for future seabed mining. *Diversity and distributions*, 20(5), 491-502.

SHANK, T. M., 2010 – Seamounts: deep-ocean laboratories of faunal connectivity, evolution, and endemism. *Oceanography* 23(1):108–122

THIEL, H., SCHRIEVER, G., BUSSAU, C., et BOROWSKI, C., 1993 – Manganese nodule crevice fauna. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 40(2), 419-423.

TULLY, B. J., & HEIDELBERG, J. F., 2013 – Microbial communities associated with ferromanganese nodules and the surrounding sediments. *Frontiers in microbiology*, 4.

VEILLETTE, J., SARRAZIN, J., GOODAY, A. J., GALÉRON, J., CAPRAIS, J. C., VANGRIESHEIM, A., et JUNIPER, S. K., 2007 – Ferromanganese nodule fauna in the Tropical North Pacific Ocean: Species richness, faunal cover and spatial distribution. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(11), 1912-1935.

WANG, X., WIENS, M., SCHRÖDER, H. C., SCHLOBMACHER, U., et MÜLLER, W. E., 2011 – Molecular biomineralization: toward an understanding of the biogenic origin of polymetallic nodules, seamount crusts, and hydrothermal

vents. In *Molecular Biomineralization* (pp. 77-110). Springer Berlin Heidelberg.

WILLIAMS, A., ALTHAUS, F., et SCHLACHER, T. A., 2015 – Towed camera imagery and benthic sled catches provide different views of seamount benthic diversity. *Limnology and Oceanography: Methods*, 13(2), 62-73.

IV-2. Impacts écologiques : facteurs de vulnérabilité et résilience écologique

S. SAMADI, C. JOST

La structure de la biodiversité du milieu profond et ses déterminants ainsi que les effets des perturbations naturelles ou anthropologiques restent globalement mal connus (McClain et Schlacher, 2015). Les monts sous-marins, principale cible potentielle de l'exploitation minière en Polynésie française, sont néanmoins reconnus comme fournissant une grande variété de services écosystémiques (Armstrong *et al.*, 2012, Rossi, 2013) notamment en termes de ressources halieutiques (Morato *et al.*, 2010). Plusieurs hypothèses – parfois contradictoires – concernant le rôle écologique de ces structures ont été proposées : relais dans la connectivité, effet oasis par concentration des nutriments, isolement insulaire, ... (cf. Clark *et al.*, 2010). Cette variété d'hypothèses est à mettre en relation avec la diversité des conditions géophysiques et océanologiques de ces structures et implique une évaluation au cas par cas des facteurs de vulnérabilité et de résilience des communautés biologiques (Taranto *et al.*, 2012). De plus les généralisations sont difficiles dans la mesure où seulement 0,4 à 4% des monts sous-marins ont été explorés pour des raisons scientifiques (Kvile *et al.*, 2014). Les données écologiques concernant les monts sous-marins en général et plus spécifiquement ceux à encroûtements polymétalliques sont très parcellaires et concernent essentiellement le compartiment pélagique.

1. Dynamique temporelle des faunes benthiques

Les projets d'exploration minière en milieu marin concernent à ce jour les nodules polymétalliques des plaines abyssales et les amas sulfurés des milieux hydrothermaux actifs ou inactifs. Aucune étude n'est donc dédiée aux impacts écologiques de l'exploitation d'encroûtements polymétalliques. De nombreuses différences écologiques entre les milieux hydrothermaux actifs, les champs de nodules des plaines abyssales et les monts sous-marins empêchent de se fonder sur les études disponibles pour les deux premiers pour émettre des hypothèses concernant ces derniers. La dynamique propre de chacun de ces milieux et leurs déterminants écologiques sont en effet très différents.

L'activité hydrothermale est variable à petite échelle de temps et conditionne fortement les paramètres physico-chimiques de l'environnement. Les organismes présents ont donc acquis au cours de l'évolution des adaptations permettant d'y faire face. Les faunes associées à ces environnements sont donc d'un point de vue fonctionnel spécifique. L'étude de la dynamique de recolonisation de tels sites suite à des éruptions naturelles montrent la capacité des organismes à faire face à ces variations et des communautés à se rétablir (Marcus *et al.*, 2009). Cependant cette capacité a principalement été mise en évidence pour les sites de l'Atlantique nord qui présentent une forte activité volcanique et donc une fréquence importante de perturbations.

A l'inverse, les encroûtements polymétalliques se forment sur des reliefs profonds sur de grandes échelles de temps. Les conditions de l'environnement pour les organismes qui les peuplent sont donc probablement stables à ces échelles de temps. Les organismes filtreurs qui créent un habitat biogénique permettant d'accueillir une grande diversité d'espèces associées sont généralement à longue durée de vie (e.g. Andrews *et al.*, 2009 ; Parrish et Roark 2009 ; Prouty *et al.*, 2011 ; Carreiro-Silva *et al.*, 2013). Une telle longévité n'est possible que dans des environnements où les conditions restent stables sur de grandes périodes. Cette longévité des organismes constructeurs rend potentiellement ces communautés peu résilientes aux perturbations. Les effets de la pêche profonde sur les monts sous-marins illustrent ces faibles capacités de reconstitution de ces communautés (Althaus *et al.*, 2009). L'observation des zones où la pêche profonde a été pratiquée montre que la destruction massive des organismes constructeurs a pour conséquence une simplification et/ou uniformisation des communautés.

Une étude s'intéressant aux impacts potentiels de l'exploitation des amas sulfurés sur des monts sous-marins de Nouvelle-Zélande apporte un éclairage quant aux impacts possibles de l'exploitation sur des sites ayant

une écologie proche de celle des monts sous-marins à encroûtements polymétalliques. En effet, l'étude de Boschen *et al.*, (2015) compare les communautés de trois monts sous-marins. Le premier est un site actif qui héberge des communautés chémosynthétiques caractéristiques des sites hydrothermaux. Le second est un site inactif mais dont l'activité est récente et présente des amas sulfurés exploitables. Le troisième est un site inactif sans amas sulfurés. Si le site actif abrite une faune moins diversifiée mais plus spécialisée que les deux autres sites, ces derniers abritent des faunes à taux de croissance lente et donc potentiellement plus lentes à se reconstituer. L'impact et les mesures à mettre en place en termes de réseau d'aires marines protégées diffèrent entre les sites actifs et inactifs. Les sites inactifs, écologiquement plus proches des sites à encroûtements nécessitant probablement la mise en place d'un réseau d'aires protégées plus grand et couvrant des zones plus diversifiées que pour les sites actifs.

2. Connectivité et adaptation locale du benthos

La réalisation complète du cycle de vie de la plupart des organismes du benthos passe par une phase pélagique. Un organisme benthique à l'état adulte peut en effet avoir des gamètes, des œufs, des larves ou les juvéniles pélagiques. Pour des biotopes à distribution fragmentée – comme les monts sous-marins ou les sources hydrothermales – ces phases pélagiques assurent la dispersion des organismes et permettent la recolonisation suite à une perturbation. La protection des organismes associés à de tels environnements implique donc d'analyser la connectivité à plus grande échelle afin d'identifier les sources potentielles permettant une recolonisation après perturbations. Cette analyse doit prendre en compte la diversité des cycles de vie des organismes et des capacités de dispersion qui y sont associées.

Par ailleurs dans un milieu stable à grande échelle de temps et géographiquement isolé, les organismes peuvent s'adapter à des conditions très locales (telles que la nature des substrats, les paramètres physico-chimiques ou biotiques). En effet, stabilité temporelle et isolement géographique sont des causes potentielles de spécialisation écologique et d'endémisme. Ainsi, les forts taux d'endémisme de la flore de Nouvelle-Calédonie s'expliquent par l'isolement géographique, l'ancienneté géologique et des sols aux propriétés singulières tels que notamment les terrains miniers. Les encroûtements polymétalliques sont des structures qui se forment sur de longues périodes et dans des conditions océanologiques singulières. L'isolement géographique de ces structures est cependant moins

facile à évaluer que pour les biotopes terrestres à la fois parce que les reliefs sont moins bien connus mais aussi du fait de la diversité des cycles de vie des organismes benthiques.

Dans le cas de la Polynésie Française ces facteurs ne sont pas à négliger. En effet, la tendance générale des patrons de biodiversité benthique est – que ce soit pour les faunes côtières ou profondes – une plus faible diversité que dans le Pacifique Sud-Ouest mais un plus fort taux d'endémisme. Dans le cas particulier des biotopes à encroûtements polymétalliques, même si aucune donnée n'est actuellement disponible pour la Polynésie française, les conditions sont réunies pour émettre l'hypothèse sinon d'un fort taux d'endémisme de la faune benthique au moins d'une faune benthique spécialisée.

3. Facteurs de vulnérabilité liés aux perturbations dans la colonne d'eau

L'activité d'exploration et d'exploitation des ressources minérales sur le fond peut interférer avec les organismes de l'ensemble de la colonne d'eau. Les zones ciblées par ces activités coïncident avec des zones d'activité de pêche et des routes de migration de grands vertébrés pélagiques et d'oiseaux marins. Ces organismes sont notamment sensibles aux perturbations acoustiques qui peuvent affecter la valeur sélective des individus et la structure des communautés (Shannon *et al.*, 2015). Les routes de migration ont généralement une saisonnalité. L'étude d'Evans *et al.*, (2014) sur l'espadon montre par exemple une saisonnalité des mouvements en fonction de la productivité des eaux de surfaces et de la reproduction. Cette étude met également en évidence plusieurs routes de migration distinctes dans le Pacifique Sud. Ce facteur de vulnérabilité du pélagos à la perturbation acoustique est bien connu ; il est généralement pris en compte lors des travaux de recherche ou d'exploitation dans le domaine marin.

Les activités sur le fond peuvent également affecter la turbidité et les facteurs physico-chimiques de l'ensemble de la colonne d'eau (Ph, salinité, température, etc...). L'importance de ces modifications et leurs effets sur les organismes dépend notamment des courants de surface et de fonds. Ces perturbations peuvent affecter aussi bien le pélagos que le benthos. Par exemple, la productivité de la couche euphotique peut être modifiée par la modification de la pénétration de la lumière. De même la modification du régime de sédimentation peut affecter le benthos en modifiant le substrat. La structure de la diversité des faunes des reliefs sous-marins est grandement

liée aux régimes sédimentaires (Durden *et al.*, 2015). Un épisode massif de dépôt de matériel turbiditique sur 14 cm d'épaisseur à 5 000 m de profondeur il a environ 2 000 ans dans la plaine abyssale du Venezuela a par exemple induit la cessation de la bioturbation (Young et Richardson, 1998) et la reconstitution des communautés pourrait encore être aujourd'hui très incomplète.

4. Facteurs de vulnérabilité liés aux facteurs océanographiques

4.1. Les espaces océaniques de Polynésie

Plusieurs types d'espaces océaniques sont à distinguer dans l'océan polynésien entre les latitudes du nord des Marquises et celles du sud des Australes :

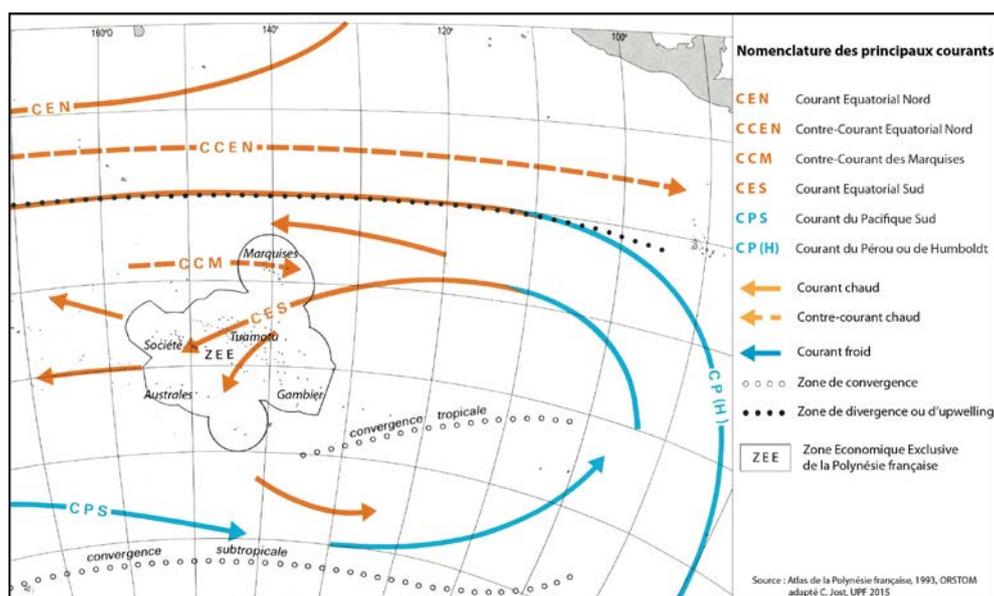
- au nord des Marquises, la zone sous influence de l'upwelling équatorial et du courant équatorial sud ;
- au sud des Marquises, la zone de transition entre la couche euphotique (surface marine où l'intensité lumineuse résiduelle rend l'activité de photosynthèse possible) tropicale particulièrement pauvre en éléments nutritifs au sud et les eaux plus riches alimentées par l'upwelling au nord ;
- des îles de la Société aux Tuamotu nord et est, la zone tropicale stricto sensu sous l'influence du grand gyre du Pacifique sud, qui présente une couche superficielle de mélange à salinité très élevée et des teneurs en sels nutritifs dissous extrêmement basses ;
- au niveau des Australes, la zone subtropicale où les eaux de surface sont plus froides et marquent le passage des eaux tropicales aux eaux subtropicales (Créocéan, 2015).

4.2. La circulation océanique

La circulation des eaux océaniques du Pacifique central Sud où se situe la Polynésie est caractérisée par deux systèmes océanographiques : le grand gyre subtropical du Pacifique Sud ou tourbillon anticyclonique et l'upwelling équatorial. En bordure du centre ouest du grand gyre, les masses océaniques de la ZEE de Polynésie sont dominées par des courants de direction générale est-ouest. Mais la circulation océanique est aussi caractérisée par une importante variabilité saisonnière et interannuelle des

courants, notamment durant les épisodes ENSO, ainsi que par les effets d'île.

A l'échelle de la région, entre et au sein des archipels, la connaissance de la circulation océanique dans les cinq millions de km² de la ZEE est encore générale pour les courants de surface et parcellaire pour les courants profonds. Elle provient d'études de secteurs réalisées lors de diverses campagnes océanographiques, comme les campagnes Hydropol (CEA/DIRCEN/ORSTOM) de 1985 à 1989, et plus récemment des analyses d'images satellites et du programme THOT (TaHitian Ocean Time series), démarré en 2014, de flotteur profileur physico-biogéochimique autonome, projet coordonné par E. Martinez, de l'IRD/UMR EIO. A l'échelle des océans, le programme ARGO lancé en 2000 par la Commission océanographique intergouvernementale de l'Unesco (COI) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM) a grandement fait avancer les connaissances sur les relations océan-atmosphère, notamment sur les variations de la circulation océanique et les zones de convection profondes.



Carte 1 – Les courants marins dans le Pacifique centre Sud et le grand gyre du Pacifique Sud (Atlas de la Polynésie française, 1993, Orstom).

Les grands fonds marins et notamment les plaines abyssales présentent un environnement stable caractérisé par des courants lents, une obscurité permanente, des pressions et des températures constantes et des conditions physico-chimiques très peu changeantes. Les eaux profondes ont une période de renouvellement de 500 ans.

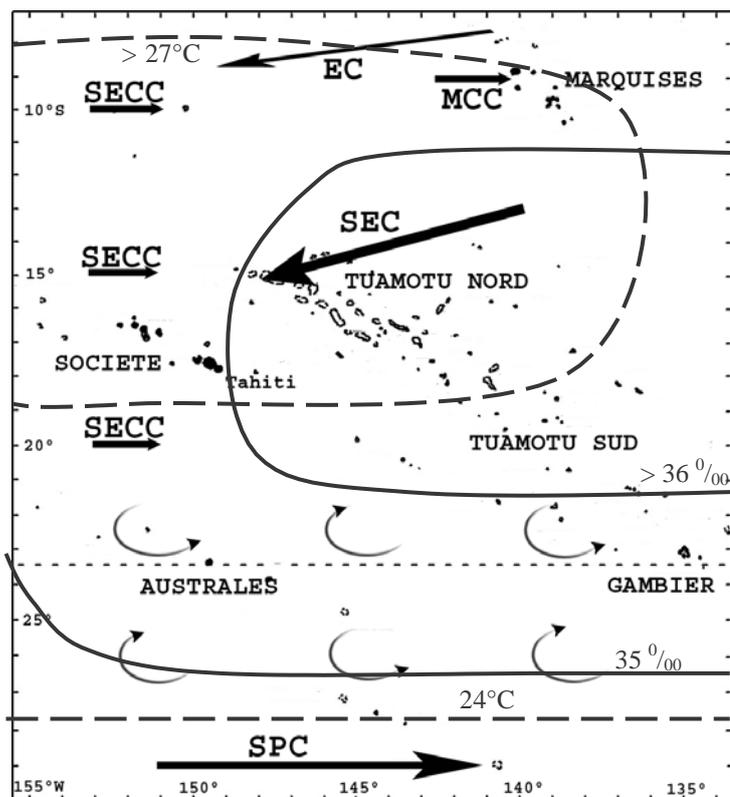
Les monts sous-marins, plateaux et îles volcaniques pouvant présenter des encroûtements cobaltifères et situés entre 800 et 2 500 m de

profondeur sont affectés de courants plus forts qui enlèvent les sédiments et laissent apparaître les encroûtements à nu.

Les courants de densité provoqués par les variations de température et de salinité sont les principaux agents de mélange des eaux océaniques polynésiennes et donc de propagation et de diffusion des particules : à la couche supérieure de mélange (0-200 m), ou Eau Tropicale Sud entre 10 et 25° Sud qui se trouve incluse dans le grand gyre (Rancher *et al.*, 1993), succède la zone de thermocline stable qui limite les transferts verticaux d'eau, puis, au-delà des 1000m de profondeur environ, la couche d'eau profonde à température et salinité plus unifiées animée de lents courants dits thermohalins. La profondeur de la thermocline permanente en Polynésie française est définie comme celle de l'isotherme 14°C (Martinez E. 2006, Meyers, 1979).

La latitude 13° Sud marque visuellement la limite entre les eaux d'origine équatoriale et les eaux pauvres du Sud. (Dupouy-Douchement *in* Rancher *et al.*, 1993). Cette latitude correspond à la frontière sud du Contre-courant des Marquises et à une limite écologique entre les eaux oligotrophes du gyre central et les eaux originaires de l'upwelling équatorial

Les vents n'ayant plus d'influence après 800 m de profondeur, ils ne peuvent être les moteurs des circulations océaniques profondes. Celles-ci sont générées par des masses d'eau profondes identifiées en fonction de leur température et de leur salinité qui déterminent la densité et les différences de pression.



Carte 2 – Courants de surface en Polynésie française : Courant Equatorial (EC), Courant Equatorial Sud (SEC), Contre-Courant Equatorial Sud (SECC), Contre-Courant des Marquises (MCC), Courant du Pacifique Sud (SPC). Les isothermes et isohalines du champ moyen de la température et de la salinité de surface sont respectivement indiqués par des lignes en pointillées et continues (Martinez E., 2006).

De 4°S à 7°S circule le Courant Equatorial (EC), branche du Courant Equatorial Sud. C'est la zone de forte intensité du courant avec en surface une vitesse vers l'ouest supérieure à 30cm/s qui peut atteindre 50cm/s en hiver (Martinez E. 2006). Au sud de l'EC, la seconde veine de courant dirigée vers l'ouest, le SEC, s'étend jusqu'à 17°S en surface avec des vitesses supérieures à 10cm/s et jusqu'à 20cm/s en hiver. Le SEC se renforce en hiver et ralentit en été alors que le Contre-Courant Sud Equatorial apparaît (Martinez *et al.*, 2009). Cette circulation se fait jusqu'à une profondeur en moyenne supérieure à 500m. Le courant est toutefois plus fort et turbulent en aval des Marquises et plusieurs veines de contre courants (entre 5 et 10 cm/s) apparaissent en été austral et automne vers le sud portant les eaux vers l'est (Martinez E., 2006).

Pendant les années El Niño (notamment 1994, 1997, 2002), les alizés s'inversent ce qui affaiblit l'EC tandis que se renforcent au nord les veines de contre-courant (SECC) par rapport à un été en période normale. Le SPC peut atteindre des vitesses supérieures à 20 cm/s tandis que l'EC faiblit en

hiver par rapport à la période normale. Pendant La Niña, le SEC se renforce et le SECC se déplace vers le sud-ouest (Manocci *et al.*, 2014 et Martinez, 2009).

L'impact des courants océaniques, vecteurs de particules sédimentaires et potentiellement minières, de planctons, de déchets et de polluants qui peuvent perturber les écosystèmes récifaux et affecter les activités humaines de pêche, d'aquaculture ou de tourisme, dépend de la combinaison et de l'addition de plusieurs paramètres de circulation et d'effets induits.

L'effet d'îles peut engendrer des tourbillons dans les courants ou des accélérations par effet venturi entre deux îles proches et favoriser la propagation et la dispersion de particules mises en suspension par l'activité minière vers les îles voisines, voire dans les lagons par effet d'ensachage.

Les tourbillons anticycloniques s'accompagnent de phénomènes d'upwelling et conduisent à l'accentuation du mélange verticale des couches (Martinez, 2006). Ils peuvent donc s'accompagner de remontées de particules dispersées par les activités d'exploration et surtout d'exploitation minières. Selon la force et la direction saisonnières des courants et l'intensité des upwellings cette dispersion sera plus ou moins grande. En marge proche du gyre anticyclonique qui entraîne ces remontées, une accumulation d'eau (et de débris flottants) et un bombement de la surface océanique (d'un mètre environ), les eaux de Polynésie peuvent connaître ces phénomènes, tandis que plus à l'est, au centre du système de gyre, un mouvement de downwelling se produit jusqu'à 800 m de profondeur environ.

En termes d'impacts de l'exploration puis de l'exploitation de la zone de Niau en bordure ouest du plateau des Tuamotu, on peut estimer qu'en année et saison normales où la circulation dominante est est-ouest, l'incidence des courants sur la dispersion des particules sera négligeable à nulle pour les écosystèmes des atolls voisins situés au nord et à l'est, mais peut apparaître préoccupante en année El Niño quand les courants s'inversent vers l'est. Situées à 340 km au sud-est de la zone de Niau, Tahiti et les îles de la Société ne peuvent être impactées en années normales. Par contre, en période El Niño ou La Niña, une dérive à partir des îles de la Société et des Gambier est possible (Martinez E., 2006) et peut entraîner des transferts de particules à partir de la chaîne de Tarava vers la Société et, du site de Niau vers les autres atolls des Tuamotu.

5. Bibliographie

ALTHAUS, F., WILLIAMS, A., SCHLACHER, T. A., KLOSER, R. J., GREEN, M. A., BARKER, B. A., ... & SCHLACHER-HOENLINGER, M. A., 2009 – Impacts of bottom trawling on deep-coral ecosystems of seamounts are long-lasting. *Marine Ecology Progress Series*, 397 (279-294), 40.

ANDREWS, A. H., STONE, R. P., LUNDSTROM, C. C., & DEVOGELAERE, A. P., 2009 – Growth rate and age determination of bamboo corals from the northeastern Pacific Ocean using refined ²¹⁰Pb dating. *Mar Ecol Prog Ser*, 397, 173-185.

ARMSTRONG, C. W., FOLEY, N. S., TINCH, R., & VAN DEN HOVE, S., 2012 – Services from the deep: Steps towards valuation of deep sea goods and services. *Ecosystem Services*, 2, 2-13.

BOSCHEN, R. E., ROWDEN, A. A., CLARK, M. R., BARTON, S. J., PALLENTIN, A., & GARDNER, J. P. A., 2015 – Megabenthic assemblage structure on three New Zealand seamounts: implications for seafloor massive sulfide mining. *Marine ecology progress series*, 523, 1-14.

CARREIRO-SILVA, M., ANDREWS, A. H., BRAGA-HENRIQUES, A., DE MATOS, V., PORTEIRO, F. M., & SANTOS, R. S., 2013 – Variability in growth rates of long-lived black coral *Leiopathes* sp. from the Azores. *Marine Ecology Progress Series*, 473, 189-199.

CLARK, M. R., ROWDEN, A. A., SCHLACHER, T., WILLIAMS, A., CONSALVEY, M., STOCKS, K. I., ... & HALL-SPENCER, J. M., 2010 – The ecology of seamounts: structure, function, and human impacts. *Annual Review of Marine Science*, 2, 253-278.

CREOCEAN, 2012 – Etude prospective globale des activités liées à l'exploration et l'exploitation des ressources minérales océaniques profondes en Polynésie française. *Rapport I-11096-G - Phase 3 – Synthèse et recommandations*. Punaauia, Mars 2012., 23 p.

DURDEN, J. M., BETT, B. J., JONES, D. O., HUVENNE, V. A., et RUHL, H. A., 2015 – Abyssal hills–hidden source of increased habitat heterogeneity, benthic megafaunal biomass and diversity in the deep sea. *Progress in Oceanography*, 137, 209-218.

EVANS, K., ABASCAL, F., KOLODY, D., SIPPEL, T., HOLDSWORTH, J., & MARU, P., 2014 – The horizontal and vertical dynamics of swordfish in the South Pacific Ocean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 450, 55-67.

KVILE, K. Ø., TARANTO, G. H., PITCHER, T. J., et MORATO, T., 2014 – A global assessment of seamount ecosystems knowledge using an ecosystem evaluation framework. *Biological Conservation*, 173, 108-120.

- MARCUS, J., TUNNICLIFFE, V., et BUTTERFIELD, D. A., 2009.– Post-eruption succession of macrofaunal communities at diffuse flow hydrothermal vents on Axial Volcano, Juan de Fuca Ridge, Northeast Pacific. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(19), 1586-1598.
- MANNOCCI, L., CATALOGNA, M., DORÉMUS, G., LARAN, S., LEHODEY, P., MASSART, W. et RIDOUX, V., 2014 – Predicting cetacean and seabird habitats across a productivity gradient in the South Pacific gyre. *Progress in Oceanography*, 120, 383-398.
- MARTINEZ E., GANACHAUD A., LEFEVRE J., et MAAMAATUAIHUTAPU K., 2009 - Central South Pacific thermocline water circulation from a high-resolution ocean model validated against satellite data: Seasonal variability and El Niño 1997–1998 influence, *J. Geophys. Res.*, 114, C05012, doi:10.1029/2008JC004824.
- MARTINEZ E., MAAMAATUAIHUTAPU K., TAILLANDIER V., 2009 - Floating marine debris surface drift: Convergence and accumulation toward the South Pacific subtropical gyre. *Marine Pollution Bulletin* 58 (2009) 1347–1355.
- MARTINEZ E., 2006 – Circulation des eaux de la thermocline en Polynésie française. Utilisation de données satellites, in situ, et d'une modèle de circulation océanique régional. *Thèse de doctorat d'Océanographie physique*. Université de la Polynésie française, avril 2006, 180p.
- MCCLAIN, C. R., et SCHLACHER, T. A., 2015 – On some hypotheses of diversity of animal life at great depths on the sea floor. *Marine Ecology*. DOI: 10.1111/maec.12288
- MEYERS G., 1979 - On the Annual Rossby Wave in the Tropical North Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 663–674.
- MORATO, T., HOYLE, S. D., ALLAIN, V., et NICOL, S. J., 2010 – Tuna longline fishing around West and Central Pacific seamounts. *PloS one*, 5(12), e14453.
- PARRISH, F. A., & ROARK, E. B., 2009 – Growth validation of gold coral *Gerardia* sp. in the Hawaiian Archipelago. *Mar Ecol Prog Ser*, 397, 163-172.
- PROUTY, N. G., ROARK, E. B., BUSTER, N. A., & ROSS, S. W., 2011 – Growth rate and age distribution of deep-sea black corals in the Gulf of Mexico. *Mar Ecol Prog Ser*, 423, 101-115.
- RANCHER J. et F. ROUGERIE, 1993. –Situations océaniques du Pacifique central sud (Polynésie française). Campagnes Hydropol 2 à Hydropol 8. Edition SMSR - 2 e édition 1993. 93p.

- ROSSI, S. , 2013 – The destruction of the ‘animal forests’ in the oceans: towards an over-simplification of the benthic ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, 84, 77-85.
- SHANK, T. M., 2010 – Seamounts: deep-ocean laboratories of faunal connectivity, evolution, and endemism. *Oceanography* 23(1):108–122
- SHANNON, G., MCKENNA, M. F., ANGELONI, L. M., CROOKS, K. R., FRISTRUP, K. M., BROWN, E., ... et WITTEMYER, G., 2015 – A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*. DOI: 10.1111/brv.12207
- TARANTO, G. H., KVILE, K. Ø., PITCHER, T. J., et MORATO, T., 2012 – An ecosystem evaluation framework for global seamount conservation and management. *PloS one*, 7(8), e42950.
- YOUNG, D. K., et RICHARDSON, M. D., 1998 – Effects of waste disposal on benthic faunal succession on the abyssal seafloor. *Journal of marine systems*, 14(3), 319-336.

IV-3. Interférences entre l'exploration/exploitation minière sous-marine et les autres activités

T. BAMBRIDGE, C. JOST

1. Contexte

Compte tenu de ce que nous indiquions à propos de la spécificité du rapport nature-culture en Polynésie française (contribution I-1), des acteurs présents l'arène locale (contribution II-5), des conditions sociologiques qui président à un consentement et/ou à un permis social d'opérer (contribution II-4), l'exploitation minière en eau profonde apparaît comme un projet structurant à l'échelle de la Polynésie française. Une filière minière en eau profonde risque donc d'avoir des répercussions profondes sur l'ensemble de la société polynésienne et bien au delà. Il s'agit donc d'une incroyable opportunité mais qui peut également avoir des conséquences socio-économiques et environnementales négatives à long terme.

En outre, la capacité technologique, environnementale et politique de la France à mener des explorations et à conduire (ou co-piloter) une filière d'extraction minière en eau profonde, fera sans doute l'objet d'une attention soutenue de la part de partis prenants variés. Les entreprises minières exemplaires dans le monde, capable de mener des opérations en eau profonde en tenant compte de leur impact sur la biodiversité, en se souciant de l'acceptation sociale des populations et des acteurs locaux, pourraient s'engager dans de tels projets mais seront sans doute attentifs aux opportunités possibles notamment ailleurs dans le Pacifique.

En tenant compte de ce contexte particulier où l'arène locale produite par l'exploitation minière s'étend à différentes échelles locales et globales, de l'ensemble des acteurs identifiés en II-5, de leurs craintes et de leurs attentes, il convient d'analyser les interférences et les conflits d'usage possibles avec les autres activités marines présentes dans la ZEE de la Polynésie française, en particulier, le tourisme, l'environnement et la pêche.

2. Interférences possibles

2.1. Interférences politiques et sociales

Avec les conséquences sanitaires et de santé publique générées par la fin des expérimentations nucléaires en Polynésie française, un climat de méfiance, voire de défiance, s'est progressivement installé en Polynésie française vis-à-vis des grands projets. De nombreuses associations de victimes réclament une plus grande transparence sur les conséquences en terme de santé publique des essais nucléaires à propos des maladies radio-induites. Cette demande croît de la part des acteurs religieux (catholiques et protestants) et des acteurs environnementaux et politiques (*Tavini Huiiraatira*, *Heiura les Vert*, une partie du *Tahoeraa Huiiraatira*, *Tapuraa Huiiraatira*). Beaucoup d'acteurs impliqués estiment que les informations communiquées sont peu transparentes (voir les Etats Généraux de la Polynésie française), que les conditions pour être reconnues comme victimes demeurent exigeantes et que la liste des maladies radio-induites est encore très restrictive comparativement à celles reconnues dans d'autres pays nord-américains et nord-européens.

Dans ce contexte, une exploitation minière pourrait engendrer une méfiance quant aux conséquences induites sur la santé publique en raison des changements que cela pourrait occasionner sur l'environnement marin. Au-delà des conséquences avérées ou non, c'est aussi la transparence des informations, des enjeux, la connaissance des conséquences socio-économiques de l'exploitation minière qui nécessitent d'être prises en compte dans le cadre de la recherche d'un consentement social (contribution II-4).

2.2. Interférences avec les activités touristiques

L'exploration, puis l'exploitation minière en eau profonde, devrait se dérouler à plusieurs dizaines de miles nautiques (mN) des côtes, hors de vue des activités touristiques. Si aucun impact direct n'est à craindre, à part les risques de pollution, les conséquences indirectes sont plus probables et peuvent entraîner des résistances. Il convient donc de s'interroger sur l'impact d'une exploitation minière sur la destination touristique polynésienne qui jouit aujourd'hui d'une réputation liée à un environnement préservé, « sauvage » (le mythe du bon sauvage). Toute activité fortement polluante pourrait entraîner une baisse de la fréquentation touristique en Polynésie française, ce qui serait dommageable pour cette économie insulaire déjà fragilisée par l'instabilité politique depuis plus de 10 ans et structurellement peu compétitive en raison de handicaps importants (éloignement des marchés émetteurs, cherté de la destination).

Cette question semble d'autant plus épineuse que le gouvernement de la Polynésie française semble avoir arrêté sa stratégie touristique pour la période 2015-2020 qui repose sur l'exemplarité environnementale. Du fait de l'importance de l'image de « nature paradisiaque » et du mythe de « Tahiti et ses îles » sur lesquels se base toujours la promotion touristique, dans un contexte international croissant de produits du tourisme vert, une attention toute particulière doit donc être portée sur trois principaux points : la minimisation ou mitigation des impacts environnementaux en terme de pollution marine et de transformations à terre, le contrôle et la limitation des impacts de l'activité minière sur la biodiversité et la stabilité du système socioculturel de chaque archipel qui doit conserver ses attraits et sa spécificité.

2.3. Interférences avec les activités environnementales

Par activités environnementales, que l'on qualifie aussi d'« éco-activités » on entend des activités qui produisent des biens et services ayant pour finalité la protection de l'environnement ou la gestion des ressources naturelles. Ces biens et services sont destinés à mesurer, prévenir, limiter ou corriger les dommages environnementaux causés à l'eau, l'air et le sol et les problèmes relatifs aux déchets, aux bruits et aux écosystèmes (définition internationale de l'OCDE et d'Eurostat). A notre sens, les interférences et les conflits d'usages possibles doivent être déclinés selon les espaces géographiques de la ZEE de la Polynésie française car toutes ces zones n'ont pas la même importance selon les usages rencontrés.

En outre, les populations des îles autres que les îles de la Société (notamment aux Marquises, aux Tuamotu et aux Australes) se plaignent

souvent de la quasi-absence de retombées économiques lorsque les projets sont définis à l'échelle de la Polynésie française. Les grands projets structurants de développement (tourisme, pêche, santé publique, environnement, politique des transports, construction d'équipements structurants, voire exploitation des ressources minières en eau profonde) sont décidés par le gouvernement du pays basé à Tahiti, et perçus comme des choix d'une élite administrative et politique confinée à la capitale de Papeete, connaissant mal et tenant peu compte des spécificités locales et n'invitant guère à la participation des élus et des populations des archipels. Un foyer potentiel de conflit se situe donc au niveau de la gouvernance politique et administrative des projets miniers lorsque ceux-ci auraient lieu dans l'espace océanique de chaque archipel.

2.3.1. Marquises

Le cas des Marquises est ici exemplaire car le projet de création d'une grande AMP de 700 000 km² autour des Marquises, a impliqué un processus de concertation inter-administratif (environnement, pêche, agence nationale des aires marines protégées, service de la culture et du patrimoine) et une dynamique participative (communautés de communes des Marquises, 6 comités de gestion des îles Marquises, diverses associations de défense de l'environnement et de la culture). Ces consultations ont mis en lumière deux grands types de conflits d'usages, latents ou réels, entre :

- intérêts des pêcheurs hauturiers (palangriers) versus pêcheurs côtiers. Les seconds estiment être les victimes des palangriers qui contribuent à diminuer les ressources disponibles. De plus, les palangriers peuvent poser des nasses pour capturer crabes et langoustes, diminuant d'autant les crustacés accessibles pour les autres types de pêche et pour la pêche vivrière ;
- intérêts des pêcheurs palangriers versus mise en protection intégrale de parties d'espaces maritimes. Le projet de mise en place d'une aire marine protégée à l'échelle de l'espace océanique marquisien n'est pas compatible avec la volonté des palangriers d'y pêcher, ni avec la possibilité pour le gouvernement de la Polynésie française de vendre ou d'affecter des droits de pêche à des pêcheurs locaux ou étrangers.

Dans ce contexte, l'exploitation minière apparaît comme une autre activité qui risque de susciter trois types de conflits, latents ou réels :

- mineurs versus pêcheurs côtiers. Ces derniers estimant déjà être des victimes de la pêche palangrière, voient de fait d'un assez bon œil le double projets de protection de leur ZEE (AMP) et en même temps l'idée d'autoriser la pêche dans une zone de 20 mN autour de leur île (type AMG, Aire Marine Gérée). L'impact de l'exploitation minière en eau profonde sur les ressources côtières est inconnu, mais il impliquera forcément la réouverture de négociations sur le zonage des aires marines, et par là l'émergence de nouveaux risques de conflits dans une arène où les pêcheurs côtiers ne jouissent pas nécessairement d'un rapport de force favorable. En l'absence de compensation, la convergence des intérêts « protection de la ZEE » et « pêche côtière » risque de se renforcer avec l'arrivée d'un acteur minier ;
- mineurs versus pêcheurs palangriers. C'est là que le conflit d'usage est, potentiellement, le plus évident. Il est possible, en fonction des lieux intéressants de ressources, que la compétition y soit du type « gagnant/perdant ». Le conflit d'usage est réel. Il n'y a aucun compromis possible sans des mesures compensatoires qu'il convient d'évaluer ;
- mineurs versus promoteurs d'une mise en protection environnementale de la ZEE marquisienne. Ici également, le conflit d'usage est réel mais doit être décomposé en deux temps. Toute activité minière exploratoire peut aider à l'identification de nouvelles espèces marines et enrichir les connaissances environnementales. En revanche, la phase d'exploitation contribuera à détruire la biodiversité attachée à des substrats ou potentiellement celle qui vit aux alentours, ou celle pour qui les monts sous-marins sont un lieu de passage. La question de la substituabilité des espèces identifiées reste posée, tout comme celle des monts sous-marins cobaltifères des non cobaltifères.

2.3.2. Tuamotu

Comme indiqué en II-4, il existe une aire marine protégée dans la commune de Fakarava au Tuamotu. Cette commune est originale dans la mesure où elle réunit sept atolls, dont six habités (Fakarava, Niau, Aratika, Raraka, Kauehi, Toau) réunis sous le label Unesco « L'homme et la Biosphère ».

En ce qui concerne les ressources minières en eaux profondes, il convient de distinguer le cas de l'exploration de celui de l'exploitation.

Dans la mesure où la phase exploratrice apporterait de nouvelles connaissances en matière de biodiversité en eaux profondes, celle-ci pourrait être favorablement accueillie y compris aux abords de la biosphère de Fakarava. En revanche, il semble que l'exploitation des ressources minérales en eaux profondes impliquerait la perte irrémédiable du label Unesco auquel les Paumotu paraissent attachés. Depuis une décennie, avec la crise de l'industrie perlrière, ce label a permis de faire de Fakarava une destination touristique attractive, bien qu'on ne puisse pas en indiquer l'importance économique. En résumé, il nous semble qu'une activité minière au sein de la réserve soit difficilement envisageable. Aux abords de la réserve, la question de l'impact de l'exploitation minière se posera avec acuité et il n'est pas certain que des mesures compensatrices soient suffisantes pour faire accepter l'idée d'une activité minière dans la zone de la commune de Fakarava.

Il reste à considérer les autres atolls des Tuamotu. La même remarque négative sur le fait que les projets économiques structurants ne bénéficient financièrement qu'aux îles de Société, s'y applique. De plus, il convient de distinguer les atolls qui souffrent le plus aujourd'hui des conséquences des essais nucléaires, des autres. Les populations de ces dernières pourraient ne pas être favorables à de nouvelles formes d'expérimentations sans transparence sur les conséquences sanitaires et en termes de pollution. En outre, les Paumotu sont extrêmement attachés au rôle culturel et écologique que leurs oiseaux. Ceux-ci peuvent avoir une route de circulation qui inclut la zone des monts sous-marins et celle des îlots où ils nichent à terre. La mise en œuvre d'une exploitation minière pourrait modifier la zone de nourrissage des oiseaux et avoir des conséquences sur leur écologie. Les études environnementales et sociales devraient intégrer les zones écologiques des oiseaux au Tuamotu. Dans tous les cas, le consentement social à opérer y jouera un rôle crucial compte tenu de l'histoire contemporaine des populations Paumotu.

2.3.3. Iles de la Société, le secteur des monts Tarava

Dans son principe, le type d'interférence principal qui pourrait émerger dans le secteur des monts Tarava, au sud de Tahiti, est celui qui met en scène les pêcheurs hauturiers et les acteurs miniers. Comme indiqué précédemment, la concurrence entre acteurs miniers et de la pêche peut être frontale. Des compensations doivent être envisagées ainsi qu'un zonage de l'espace marin pour que les deux types d'activités deviennent compatibles.

Il existe également des risques de pollution sur la côte ouest de Tahiti, la plus peuplée, qui doivent être évalués. Il n'y a pas, à notre connaissance de projet de mise en réserve de la zone Tarava pour des raisons environnementales. Enfin, la même remarque concernant les oiseaux paumotu s'applique à ceux des Iles-du-Vent.

2.3.4. Australes

L'archipel des îles Australes comprend cinq îles habitées (Rurutu, Rimatara, Raivavae, Tupuai et Rapa) et deux îles ou îlots non habitées, Marotiri au sud de Rapa et l'îlot Maria entre Rurutu et Rimatara. Sans qu'on puisse parler de conflits réels, l'arrivée d'un projet d'exploitation minière dans la zone Rapa, met en exergue la concurrence de plusieurs autorités quant à la « souveraineté » sur l'espace marin :

- le conseil coutumier versus les autorités de l'Etat et de la Polynésie française. Les uns comme les autres entendent rester maître de la maîtrise de leur espace marin. Les conflits qui s'y poseront en terme de gouvernance ne pourront être résolus ou amoindri que par un dispositif de gestion de l'espace qui associe les parties prenantes ;
- dans une moindre mesure, il en sera de même avec les populations des autres îles Australes qui défendent l'idée d'un *rahui* (mise en jachère d'un espace marin), laquelle n'est pas compatible avec une activité d'exploitation minière. Ce ne seront pas seulement des mesures de compensation qui sont en jeu, mais aussi l'idée de sanctuariser certains espaces marins, maîtrisés par les populations autochtones elles-mêmes ;
- enfin, à l'instar de la mise en place d'une AMP aux Marquises, il existe également un projet de mise en place d'une AMP d'un million de kilomètres carrés aux Australes. Ce projet n'est pas aussi avancé que celui des Marquises en terme de concertation avec les autorités locales, territoriales, et les populations. Dans son principe, la typologie des conflits latents et réels identifiés précédemment pour les Marquises se retrouve aux Australes.

2.4. Interférences avec les activités de pêche

Ayant déjà abordé les cas des pêches côtières et lagonaires, il reste à discuter celui de la pêche palangrière.

Depuis quelques années, aucune licence de pêche n'a été accordée aux bateaux étrangers dans la ZEE de la Polynésie française, la politique de pêche étant désormais de privilégier la flottille locale. Les armateurs n'ont pas manqué de faire peser des menaces de blocage du port de Papeete lorsque la question du renouvellement des licences de pêches à des bateaux étrangers s'était posée.

Les types de conflits d'usage rencontrés dans l'hypothèse d'une exploration et d'une exploitation minière en eau profonde, sont liés à une concurrence d'usage sur les mêmes sites convoités. L'étude exploratoire pourrait mettre en évidence :

- les monts sous-marins cobaltifères des autres monts sous-marins ;
- l'importance relative de chaque mont en terme de biodiversité commerciale et non commerciale ;
- les impacts de l'exploitation sur les ressources commerciales.

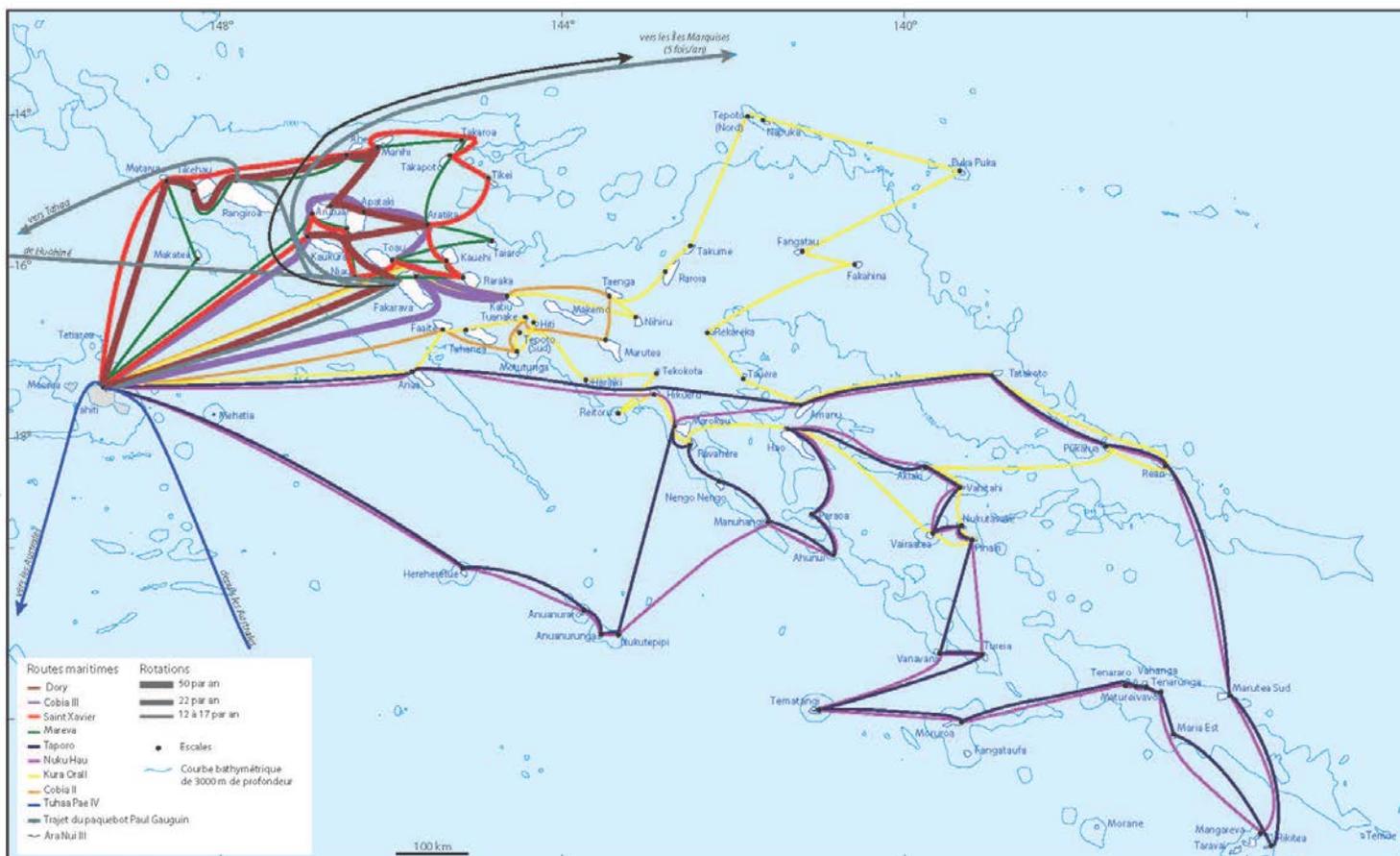
C'est dans la zone Tuamotu, des îles de la Société et dans une moindre mesure celles des Australes et des Marquises, que les conflits d'usage seront les plus saillants.

A l'instar des projets d'AMP aux Marquises et aux Australes, un partage du territoire impliquera un processus de concertation avec les acteurs, susceptible d'aboutir à un macro-zonage permettant de développer plusieurs activités plus ou moins compatibles.

2.5. Interférences avec les activités de transport maritime

Ce point a déjà été discuté dans la contribution II-5. Il convient de disposer d'une part, d'une carte précise des routes maritimes inter-archipels des bateaux et navires de croisières, d'autre part, des lieux d'exploration et d'exploitation possibles des ressources marines minérales en eaux profondes pour identifier les incompatibilités entre les activités.

A priori, une zone de sécurité autour des sites d'exploitation devrait permettre de concilier les routes maritimes et l'exploitation minière. En termes de gouvernance, cela implique que les schémas directeurs des transports maritimes et ceux des usages de la ZEE de la Polynésie française, soient cohérents.



Source : d'après D.P.A.M. - PF., 2013

Figure 1 – La desserte maritime des Tuamotu (Source : d'après D.P.A.M., 2013)

3. Conclusion

Une typologie des conflits d'usages latents et/ou réels permet de repérer leur nature :

- conflits de gouvernance (État/Polynésie/Communautés locales et/ou autochtones) ;
- concurrence sur l'usage des lieux (environnement, pêche palangrière) ;
- divergence de positions pro- ou anti-mines en eau profonde (pêche côtière, lagonaire, environnement) ;
- cohérence à rechercher entre un zonage des activités minières et les routes de transport maritime ;
- concurrence en termes de représentations sociales et de stratégie (politique touristique versus politique minière).

Dans tous les cas, les différentes politiques publiques menées par la Polynésie française en matière touristique, de pêche et de protection environnementale présentent des contradictions possibles. Celle-ci devront être discutées et des compromis pourront être trouvés au travers d'un ensemble de mesures qui répondent aux problèmes exprimés (gouvernance, zonage, mesures compensatrices, etc.).

Bibliographie

AER Polynésie française, 2010 – *Analyse éco-régionale marine de Polynésie française*. Synthèse des connaissances : Ecosystèmes et Patrimoine naturel. Composante I, Projet IAI, Planification de la conservation de la biodiversité marine, CRISP, AAMP, WWF, Gouvernement de la Polynésie française, 67p.

AER Polynésie française, 2010 – *Analyse éco-régionale marine de Polynésie française*. Synthèse des connaissances : Usages et Pressions. Composante I, Projet IAI, Planification de la conservation de la biodiversité marine, CRISP, AAMP, WWF, Gouvernement de la Polynésie française, 38p.

BAKER D. et SCHMIDT R., Earth Economics, 2015 – *Environmental and Social Benchmarking Analysis of the Nautilus Minerals Inc. Solwara 1 Project*. Nautilus Document Reference SL01-NMN-XEE-RPT-0180-001, 88p.

BARD F. X., 1999 – Estimation du potentiel en thons profonds de la ZEE polynésienne. Rapport ECOTAP.

D.P.A.M. - P.F., 2013 – *Atlas des lignes maritimes de la Polynésie française & statistiques*. Direction Polynésienne des Affaires Maritimes, Papeete, Polynésie française, [en ligne], 113p.

DYMENT J., LALLIER F., LE BRIS N., ROUXEL O., SARRADIN P.-M., LAMARE S., COUMERT C., MORINEAUX M., TOUROLLE J. (Coord.), 2014 – *Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*. Expertise scientifique collective. • Rapport d'expertise, CNRS - Ifremer, 930 pages environ. • Synthèse du rapport, CNRS - Ifremer, 110 pages environ.

MARKUSSEN J. M., 1994– 'Deep Seabed Mining and the Environment: Consequences, Perceptions, and Regulations', in Helge Ole Bergesen and Georg Parmann (eds.), *Green Globe Yearbook of International Co - operation on Environment and Development 1994* (Oxford: Oxford University Press), 31–39.

Polynésie française, 2015 – *Stratégie de développement touristique de la Polynésie française 2015-2020*. Ministère du Tourisme, des Transports Aériens Internationaux, de la Modernisation de l'Administration et de la Fonction Publique, 92p.

PONSONNET C., 2004 – Les Paru, bilan des connaissances acquises et perspectives d'exploitation en Polynésie française. Documents et travaux du programme ZEPOLYF, 3, Université de la Polynésie française, Tahiti, Polynésie française, 215p.

SALVAT B., BAMBRIDGE T., TANRET D. et PETIT J., 2015 – *Environnement marin des îles Australes, Polynésie française*. Institut Récifs Coralliens Pacifique, CRIOBE et The Pew Charitable Trusts Polynésie française. ISBN 978-2-905630-08-7, EAN 9782905630087. Polynésie française, Tahiti, p. 342

SEM et CREOCEAN, Etude prospective...2012 – (réf sans doute dans autres parties)

UICN France, 2015 – *Profil d'écosystèmes de la Polynésie française*, Coord. Avagliano E., Artzner F., Paris, France: Comité français de l'UICN, 2015. 206 pp. + annexes

IV-4. Recommandations socio-environnementales

T. BAMBRIDGE, S. SAMADI, P.-Y. LE MEUR, C. JOST

Cette contribution dépasse le seul cadre de l'impact de l'exploitation minière sur les écosystèmes pour prendre en compte les imbrications et interactions entre les dimensions sociales et environnementales. Il s'agit in fine d'inscrire l'enjeu de l'exploitation des ressources minérales sous-marines dans un cadre politique plus large qui intègre de manière forte la question de la soutenabilité (développée dans la contribution I-6) et réfléchisse aux enjeux de territorialisation et donc de planification spatiale (marine) qu'impliquerait cette exploitation.

1. Des impacts environnementaux aux enjeux socio-environnementaux

Les enjeux environnementaux liés à l'activité minière sous-marine ne sont pas uniquement écologiques et nous les traitons ici dans une perspective qui intègre également l'aspect sociologique et culturel, et ce pour trois raisons.

Tout d'abord, cette approche correspond à la perspective polynésienne d'un continuum nature/culture (l'autre continuum océanien étant celui liant terre et mer dans des représentations et des institutions communes) (voir contribution I-1).

Ensuite, les impacts environnementaux dans le milieu marin ne se cantonnent pas aux zones exploitées mais s'étendent spatialement parfois sur de grandes échelles (voir contribution IV-2) et de ce fait sont étroitement liés à des questions d'usages de l'espace marin. Ils ont donc une dimension

intrinsèquement sociétale. Il faut en particulier prendre en compte les impacts possibles de l'exploration/exploitation minières sous-marine sur d'autres activités à base environnementale et utilisant potentiellement les mêmes espaces ou des espaces connectés (la prise en compte des notions de colonne d'eau et de connectivité écologique sont ici importantes).

Enfin, les dispositifs qui seront proposés renvoient à des modalités diverses de participation des populations et/ou de groupes d'acteurs spécifiques, ce qui oblige à les penser également d'un point de vue sociologique.

Les thèmes de la gouvernance et des acteurs impliqués ont été traités dans la contribution II-4, les enjeux de participation en II-5, les dispositifs administratifs spécifiques en II-6, les écosystèmes risquant d'être impactés et les impacts prévisibles ont été discutés en IV-1 et IV-2, les interférences entre activités minières sous-marines et usages non miniers de l'espace marin en IV-3.

Cette contribution-ci fait donc le point sur les dispositifs permettant de comprendre et de suivre les impacts socio-environnementaux de l'exploration et de l'exploitation minière sous-marine. Cette question sera déclinée en termes de besoins de connaissances, de dispositifs de suivi, d'études d'impact, de plans de gestion et de mesures de compensation écologique ou socio-environnementale. Il s'agit in fine de poser la question socio-environnementale en termes de soutenabilité et d'interroger les outils de la planification spatiale marine. Notons en préalable que la notion d'impact peut être indexée négativement (diminution de la biodiversité par exemple) ou positivement (augmentation des connaissances).

2. Un besoin urgent de connaissances

Le premier constat – qui est en même temps la première recommandation – est celui d'un besoin crucial de connaissances en matière géologique, écologique, industrielle, sociale.

La connaissance des ressources minières en eaux profondes en PF ne repose sur aucune donnée « indiquée » ou « estimée », mais sur quelques points de prélèvements épars, parfois dus au hasard.

L'impact écologique d'une exploration et d'une exploitation de l'activité est méconnu. Ni les autres exemples évoqués ailleurs, ni la faible disponibilité des connaissances scientifiques mondiales ne permettent d'affirmation. Tout au plus en sommes-nous au stade d'hypothèses dont certaines sont contradictoires. Non seulement les études relatives à la

structure de la biodiversité du milieu profond et de la faune benthique doivent, pour certaines, débiter, mais les études écologiques sur les monts sous-marins concernant les oiseaux et les grands mammifères doivent être poursuivies.

Sur les cinq exemples cités dans la contribution comparative (contribution V) de la présente expertise, aucune n'est comparable aux situations analysées en Polynésie française. Un seul cas (extraction de diamant en Namibie) ne semble pas souffrir d'opposition de la part des populations concernées ou d'organisations de la société civile, tandis que le projet Solwara connaît des critiques croissantes et que les autres ont été abandonnés en raison de l'insuffisance de connaissances sur les conséquences écologiques et sociales des projets.

Dans ce contexte d'incertitude cognitive forte, l'expertise collégiale recommande une prise en compte approfondie et précoce des enjeux socio-environnementaux dans la conduite d'un projet d'exploration ou d'exploitation des ressources minières en eau profonde dans la ZEE de la Polynésie française. La conduite de projet implique plusieurs échelons politico-administratifs (local/communal, territorial, Etat français, voire l'Union européenne) en impliquant en amont les acteurs concernés par les enjeux socio-environnementaux dans une logique participative. Ce processus peut se placer sous l'auspice d'un organisme public capable de garantir la transparence des informations, la préservation de l'intérêt général, une bonne exposition des enjeux afin de prendre des décisions éclairées, un financement adéquat pour combler les manques de connaissances écologiques, minières et sociaux (voir contribution II-6). Ces éléments sont exposés dans la suite de ce chapitre.

3. Singularités du contexte polynésien

La singularité du cas de la Polynésie française repose sur quelques éléments saillants discutés auparavant que nous synthétisons ici :

- pour des raisons géologiques et économiques, les ressources qui semblent les plus intéressantes sont les encroûtements cobaltifères situés en particulier sur les pentes de monts sous-marins ;
- la variabilité écologique de ces monts pourrait être importante notamment en termes de productivité ;
- compte-tenu de ce que nous savons, ces monts pourraient être le support d'une variété d'espèces à longue durée de vie rendue possible par une grande stabilité temporelle. A priori, la résilience

- de ces espèces pourrait être faible et la vitesse de récupération des écosystèmes très lente ;
- en Polynésie française, les conditions sont réunies pour émettre l'hypothèse d'un fort taux d'endémisme (unicité géographique) de la faune benthique mais possiblement aussi d'une spécificité fonctionnelle (unicité fonctionnelle) liée aux enrichissements des substrats en métaux ;
 - la prise en compte écologique des espèces nécessiterait d'aborder les études selon des échelles spatiales importantes pour tenir compte des phénomènes de connectivité liés aux espèces (des cycles de vie du benthos et du pélagos) ;
 - à travers des études locales et régionales de la courantologie et des conditions physico-chimiques des zones océaniques à potentiel minier, l'analyse des flux, de la dispersion à la fois des espèces et des rejets miniers devra être étudiée ;
 - dans le contexte d'écosystèmes benthiques à encore explorer, l'enjeu écologique de la disparition d'une espèce dans l'une ou l'autre des chaînes trophiques devra être le corollaire des études de ces milieux... ;
 - l'évaluation des impacts des méthodes qui seraient utilisées pour la recherche ou la confirmation de gisements (prises d'échantillons géologiques et biologiques, techniques vidéo et photographiques impliquant lumière et perturbations physiques, méthodes acoustiques), quoique estimées comme engendrant peu d'impacts, devra être d'autant plus développée que l'emprise spatiale est importante. Ne sont ainsi par exemple pas connus les effets sur les chaînes trophiques de la mortalité d'une espèce endémique ;
 - la question écologique de la substituabilité des sites doit être clairement posée afin d'accumuler des connaissances scientifiques permettant une prise de décision publique éclairée ;
 - Comme il a été rappelé en introduction à cette contribution (voir aussi I-1), les représentations et pratiques polynésiennes s'inscrivent dans une perspective de continuum nature/culture qui oblige à repenser et renforcer l'articulation entre les dimensions environnementales et sociales des études d'impact et des dispositifs de suivi.
 - Développer la question de la gouvernance, abordée précédemment, de l'adaptation du droit (environnement, minier, fiscal).

4. Etudes d'impact et dispositifs de suivi socio-environnemental

Les études d'impact environnemental font désormais partie de l'arsenal des dispositions encadrant l'activité minière et plus largement les grands projets d'exploitation des ressources naturelles ou de constructions d'infrastructures dont les effets sur l'environnement risquent d'être massifs.

Considérant que quatre types de milieux seront impactés (les fonds marins par les prélèvements et particules associés les rejets des navires miniers, la colonne d'eau par les rejets des navires et les particules en suspension, certains milieux à terre par les processus à terre incluant eaux usées, résidus et scories et, le milieu humain (perception, réactions, économie locale...), plusieurs types et formes d'études d'impact en phase exploratoire seront à réaliser dont certaines impliquant de lourds moyens techniques et un suivi dans la phase d'éventuelle exploitation,

L'imbrication homme/nature invite à intégrer les dimensions sociales et environnementales dans les études d'impact préalables et celles-ci doivent être continuées via des dispositifs adaptés de suivi socio-environnemental. Cela suppose d'aller au-delà des habituelles distinctions entre études d'impact social (Esteves *et al.*, 2012) et études d'impact environnemental (Morgan, 2012) d'une part, et, d'autre part, prendre en compte les apports d'études d'impact centrées sur la durabilité/soutenabilité (*sustainability impact assessment*, Bond *et al.*, 2012), l'évaluation des politiques publiques (*policy assessment*, Adelle & Weiland, 2012) et les évaluations environnementales stratégiques (*strategic environmental assessment*, Tetlow & Hanusch, 2012). Au-delà des effets de mode et de label, ces réflexions encore peu développées en France (on pense en particulier à l'évaluation des politiques publiques) peuvent contribuer à une approche plus intégrée des impacts d'un nouveau secteur minier sous-marin.

D'un point de vue pratique, les études d'impact socio-environnemental devront recueillir et analyser, dans la phase exploratoire, les craintes et les attentes des différents acteurs par rapport à un possible développement de la mine sous-marine. Il conviendrait de situer dans le temps et de localiser dans l'espace, même maritime, les valeurs socio-environnementales accordées par la population aux différents espaces. L'objectif, *in fine*, est de fournir un ensemble d'informations capable d'éclairer les décisions des partis prenantes et d'obtenir éventuellement un consentement éclairé des populations et acteurs concernés, à défaut, dans l'absolu, d'obtenir une participation pleine et éclairée, voire une appropriation du projet minier, garante de l'absence de blocages éventuels et donc de sa réussite. On pense ici aux études effectuées en Australie très en amont de toute activité minière (présentées dans la contribution II-5).

Les craintes, attentes, intérêts, représentations des populations sont pratiques, informés par des expériences passées et influencés par des projections dans le futur. Ils ne s'expriment pas en suivant les découpages sectoriels et disciplinaires habituels (économique, social, environnemental). C'est en ce sens que l'enjeu environnemental s'insère naturellement dans une logique plus large, « socio-environnementale ». L'idée est donc d'établir sur cette base une sorte d'état zéro socio-environnemental à côté des études biologiques/écologiques sur l'impact environnemental, et en dialogue avec elles.

Ces études devront être menées par des équipes interdisciplinaires d'experts scientifiques et inclure des experts locaux/traditionnels. L'indépendance des équipes fournissant ces études vis-à-vis des intérêts des minéraliers semble une condition importante pour permettre un consentement éclairé de la part de toutes les parties concernées.

5. Mesures de compensation socio-environnementale

La question des compensations monétaires et non-monétaires ne doit pas être obliérée, notamment dans les échanges impliquant les acteurs sectoriels et locaux. Il est toutefois difficile à ce stade d'être précis et de proposer des options opérationnelles étant donné la faiblesse des connaissances sur les milieux concernés et a fortiori sur les impacts socio-environnementaux possibles d'une activité minière sous-marine.

On peut toutefois noter que la question de la compensation représente typiquement un enjeu de débat sur les frontières entre l'environnemental et le social. Les réflexions menées actuellement, souvent sans grande coordination, par les administrations publiques, les opérateurs miniers, les populations locales et/ou autochtones et les ONG internationales, s'inscrivent dans la séquence désormais classique « éviter, restaurer, compenser ». Elles se focalisent sur la construction d'un indice synthétique permettant de classer les écosystèmes et ensuite d'évaluer les compensations correspondant à leur destruction (Le Meur & Levacher, 2015). Ces indices sont souvent assez pauvres, basés sur des critères de diversité et de rareté des espèces animales et végétales, et incapables d'intégrer les éléments constitutifs du fonctionnement des écosystèmes.

La notion de compensation a par ailleurs une longue histoire dans le Pacifique et elle a fait l'objet d'une abondante littérature, en particulier anthropologique (Filer, 1999 ; Kirsch, 2001), qui insiste sur sa dimension sociale et son insertion dans des logiques de réciprocité et d'échanges.

La réflexion sur la politique de compensation à mettre en place dans le cadre de l'exploitation minière sous-marine devra s'efforcer de combiner ces deux dimensions pour proposer une compensation socio-environnementale à la fois juste et pertinente socialement. Elle devra aussi considérer la question de la spatialisation et de la localisation de la compensation. Ceci oblige à insérer la politique minière sous-marine dans le cadre d'une planification spatiale marine.

6. Gouvernance socio-environnementale, planification spatiale marine et soutenabilité

A ce stade de l'expertise, il nous paraît prématuré d'émettre des recommandations en termes de plan de gestion et de planification spatiale marine. L'étude exploratoire éventuellement menée préciserait les conditions économiques, écologiques et sociales d'une exploitation.

Toutefois, en Polynésie française, on observe le déploiement de dynamiques impliquant des acteurs variés et portant souvent sur des enjeux environnementaux, voire des dispositifs environnementalistes. Elles prennent la forme de processus de concertation, parfois de participation d'acteurs institutionnels, sectoriels, non-gouvernementaux, locaux, variés. Ces processus sont par exemple à l'œuvre dans le cas de l'AMP des Marquises, comme dans celui de la biosphère de la commune de Fakarava. Ils doivent permettre d'aboutir à un zonage de la ZEE en tenant compte de nombreux facteurs environnementaux, sociaux, culturels et économiques.

Il nous semble toutefois que les facteurs à prendre en compte dans les démarches précitées, sont insuffisamment précis et exhaustifs. Cette démarche, en l'état actuel des connaissances, a certes abouti aux Marquises, à un macro-zonage, mais les informations collectées tant d'un point de vue écologique qu'humain et culturel, sont insuffisantes pour proposer un schéma directeur qui satisfasse notamment les acteurs institutionnels et les possibles sources de financement publics, nationaux et européens.

On a vu que les impacts environnementaux des projets miniers doivent être pris en compte, évalués et compensés dans une perspective plus large, socio-environnementale. Ceci invite à considérer les questions socio-environnementales dans le cadre d'une orientation, à préciser, de type développement durable, posant de manière claire la question de la soutenabilité qui, on l'a vu (voir contribution I-6), s'organise autour d'une tension entre version faible (les formes de capitaux sont substituables) et version forte (tout n'est pas substituable : on peut par exemple estimer que

certains écosystèmes, certaines espèces rares ou encore des formes immatérielles, culturelles par exemple, ne sont pas remplaçables). On peut très bien jouer sur des « effets de seuil » pour délimiter les domaines de conceptions « fortes » et « faibles » de la substituabilité, sachant que le choix de l'exploitation minière valide mécaniquement l'option faible, via les politiques de compensation.

Pour aller dans ce sens, il faut prendre en compte dans les évaluations des impacts socio-environnementaux l'ensemble des valeurs attachées aux espaces concernés, au-delà de la seule valeur économique de la ressource extraite. Les coûts associés à la compensation et à la restauration permettent d'intégrer de manière indirecte et très rustique des valeurs de non usage (valeur d'option, d'héritage), mais cette conversion comptable, utile techniquement, est insuffisante. Il est essentiel de passer d'une logique d'évaluation monétaire à une logique de négociation politique et de reconnaissance de la diversité des valeurs et des acteurs. Pour ce faire, il faut ouvrir des espaces de débat et de participation pour traiter ces enjeux dans le cadre d'une politique publique mobilisant par exemple les outils de la planification spatiale marine et permettant de définir une géographie concertée de la mine et de l'environnement.

Bibliographie

ADELLE, C. et WEILAND S., 2012 – Policy assessment: the state of the art, *Impact Assessment and Project Appraisal* 30 (1): 26-34

BANKS G., 2013 – Little by little, inch by inch: Project expansion assessments in the Papua New Guinea mining industry, *Resources Policy* 38: 688–695.

BOND A. et POPE J., 2012 – The state of the art of impact assessment in 2012, *Impact Assessment and Project Appraisal* 30 (1): 1-4.

BOND A., MORRISON-SAUNDERS A. et POPE J., 2012 – Sustainability assessment: the state of the art, *Impact Assessment and Project Appraisal* 30 (1): 56-66.

ESTEVEZ A. M., FRANKS D. et VANCLAY F., 2012 – Social impact assessment: the state of the art, *Impact Assessment and Project Appraisal* 30 (1): 35-44.

FILER C., 1997 – Compensation, rent and power in Papua New Guinea, in: Toft, S. (ed.), *Compensation for resource development in Papua New Guinea*, Port Moresby and Canberra: Law Reform Commission of Papua New Guinea (Monograph no. 6) and National Centre for Development Studies (Pacific Policy Paper 24): 156–190.

FUNDINGSLAND TETLOW M. F., HANUSCH M., 2012 – Strategic environmental assessment: the state of the art, *Impact Assessment and Project Appraisal* 30 (1): 15-25.

KIRSCH S., 2001 – Property effects. Social networks and compensation claims in Melanesia, *Social Anthropology* 9 (2): 147-163.

LEVACHER C et LE MEUR P.Y., 2015 – *Governmentality, politics, and mining compensation in New Caledonia*. 10th EsFO Conference ‘Europe and the Pacific’, Working Session 3 “Land, resources and state formation”, 24-27 June 2015, Brussels.

O'FAIRCHEALLAIGH C., 2010 – Public participation and environmental impact assessment: Purposes, implications, and lessons for public policy making, *Environmental Impact Assessment Review* 30: 19–27.

MORGAN R.K., 2012 – Environmental impact assessment: the state of the art, *Impact Assessment and Project Appraisal* 30 (1): 5-14.

Axe V.

Question transversale

Expert coordonnateur :

Nicholas ARNDT

V-1. Quels enseignements tirer des projets d'exploration en cours ?

N. ARNDT, S. SAMADI, P. CHRISTMANN

Typologie et relations des acteurs du secteur, en particulier concernant les rôles respectifs des compagnies d'exploration, d'exploitation et de l'État (enjeux de gouvernance et de souveraineté, mécanismes de suivi environnemental, etc.) dans le cas des projets d'exploration en cours.

1. Exploitation de diamants en Namibie

L'extraction des diamants des graviers en eaux peu profondes au large de la côte de Namibie représente le seul cas analogue actuel d'une exploitation minière marine. Même s'il est caractéristique d'une activité par faible profondeur d'eau (80-120 m.), cet exemple peut cependant nous apporter des conclusions, fondées sur l'expérience, très intéressantes pour l'offshore profond (plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres).

L'opération a commencé dans les années 60 et a fonctionné sous le contrôle de la société De Beers Marine plus ou moins sans interruption depuis les années 80.

L'exploitation minière se fait à des profondeurs d'eau de 80 à 120 m, environ 40 à 50 km au large des côtes. Du gravier non-consolidé est aspiré par

le fond de la mer, tandis que les dépôts plus indurés sont récupérés à l'aide d'engins téléguidés, des « crawlers » et « cutters », sur le plancher océanique. L'épaisseur de gravier exploité est d'environ 50 cm et le taux d'extraction est d'environ 1000 m²/h. Les informations sur la valeur du matériau exploité ne sont pas disponibles.



Figure 1 — Un bateau d'exploitation de diamantes (à gauche) ; un « crawler /cutter », engin d'exploitation qui fonctionne sur le fond marin (à droite).

Le principal opérateur, De Beers Marine, est le plus gros contributeur de l'économie de la Namibie et le plus grand producteur de devises ; l'exploitation et l'exportation des diamants contribuent à 20 % des exportations. L'exploitation minière est approvisionnée par les péniches qui partent des installations portuaires en Namibie et en Afrique du Sud. La société De Beers Marine a tenté d'augmenter le retour économique pour le pays en établissant des écoles et des infrastructures en Namibie pour le tri et la découpe les diamants.

Après l'extraction de diamants, les graviers sont renvoyés au fond de l'océan à partir du navire. Selon De Beers Marine, cette opération a peu d'impact sur l'environnement car elle se déroule sur le delta de la Fleuve Orange dans une zone de forte turbulence et de sédimentation naturelle rapide. L'entreprise affirme que « la remise en état du fond marin et du milieu marin se produit naturellement au fil du temps ». C'est peut-être pour cette raison, et grâce à la réussite de longue date de cette opération qui génère des revenus considérables pour le pays, que l'extraction de diamants sous-marins a peu attiré l'attention de la part des écologistes et des mouvements anti-mines.

Cette situation est en net contraste avec le cas d'une proposition d'exploitation de ressources sous-marines de phosphates, sur un site plus au nord sur la côte de Namibie, qui a été rejeté par le gouvernement namibien en 2014 suite aux protestations des industriels de la pêche et du tourisme dont l'activité est fortement développée dans ces milieux côtiers

2. Solwara 1 en Papouasie-Nouvelle Guinée

L'exploitation de ce petit gisement riche de sulfures de Cu-Au au large de la côte de Papouasie-Nouvelle-Guinée sera probablement la première mine en eau profonde. Le gisement est un corps d'amas sulfuré qui se trouve dans un bassin arrière-arc de la Mer de Bismarck. La profondeur d'eau est 1600m et le corps de minerai est situé à environ 30 km de la côte de l'île de Nouvelle-Irlande.

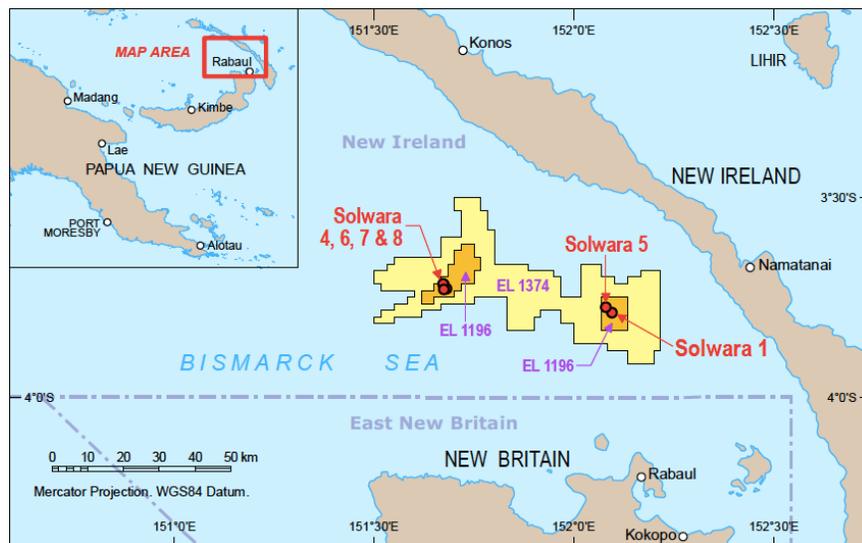


Figure 2 — Zones d'exploration des sulfures sous-marins du groupe Nautilus Minerals

La compagnie canadienne Nautilus Minerals a effectué des forages exploratoires en 2007 et a démontré une ressource "indiquée" de 1 million de tonnes à 7,2 % Cu, 5,0 g/t Au, 23 g/t Ag, 0,4 % Zn avec la même quantité de ressource "inférée". Si ces chiffres sont exacts, le dépôt aura environ la même taille que les gisements terrestres qui sont exploités dans la région de Timmins au Canada, mais les teneurs en métaux sont beaucoup plus élevées.

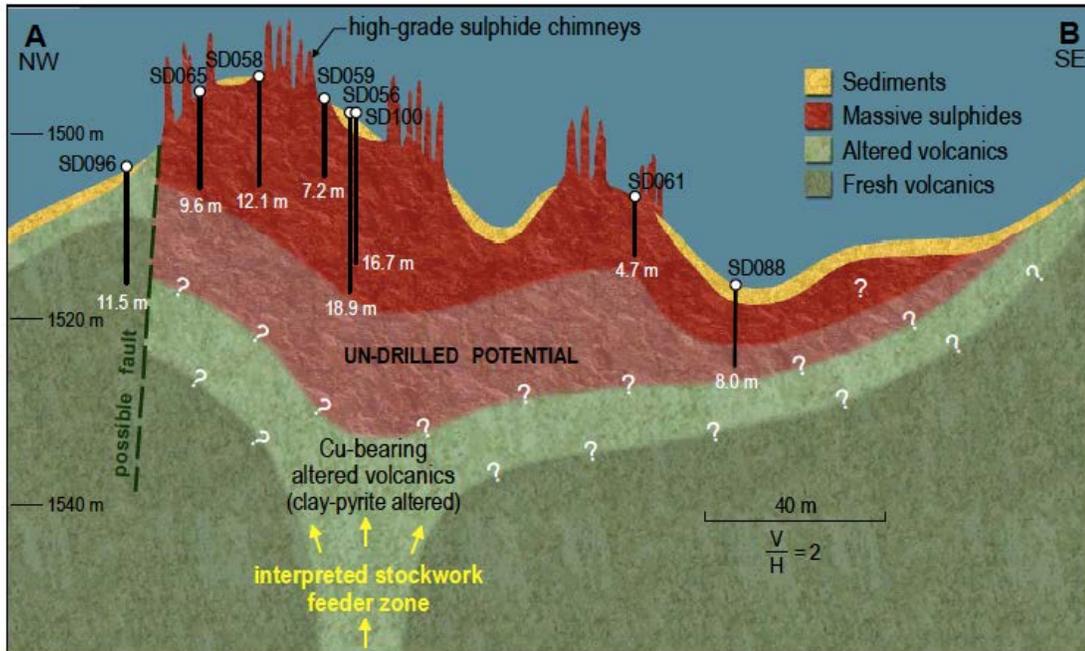


Figure 3 — Mineral Resource Estimate, Solwara 1 Project, Bismarck Sea, Papua New Guinea. (Source : De Lipton, I, 2008¹).

Un permis d'exploitation minier a été demandé en 2008 et accordé par le gouvernement de la Papouasie-Nouvelle-Guinée en 2011. Une étude d'impact environnemental a été menée et approuvée en 2009. La compagnie a commandé la construction des engins capables d'extraire le minerai sur le fond marin et de transférer le matériel dans un navire de support. Le navire a été commandé et est actuellement en rénovation. Le gouvernement de Papouasie-Nouvelle-Guinée a pris une participation de 15% de projet Solwara, pour un coût de 113 m\$. La société a dépensé entre 9 et 80 m\$ par an depuis (coût total d'environ 300 m\$), et le coût final de l'opération est estimé à plus d'un milliard de dollars. Les projections actuelles prévoient le démarrage de l'exploitation minière en 2017 ou 2018.

¹ Référence : De Lipton, I, 2008 – Canadian NI43-101 form F1. February 2008, 116 pp

L'opération a des points communs avec les perspectives d'exploitation des encroûtements cobaltifères ou de nodules polymétalliques. Le minerai sera creusé sur le plancher océanique, pulvérisé et ensuite transféré dans le "slurry" à travers un "riser" jusqu'au navire de support. Le minerai sera traité à bord du navire et les résidus seront redéposés dans la colonne d'eau ou sur le plancher océanique. Le minerai raffiné sera expédié directement à une fonderie en Chine. Il y a des différences importantes, cependant, entre l'opération de Solwara et l'extraction des encroûtements cobaltifères. Pour le premier, un petit corps de minerai compact constitué de minéraux sulfurés durs va être creusé jusqu'à une profondeur de quelques dizaines de mètres. Pour le dernier une croûte mince, mais très dispersée de minerai aux propriétés géotechniques mal connues sera extrait. Il existe également des différences dans la nature des résidus. Le matériau rejeté de l'opération de Solwara contient une concentration élevée de sulfure et de métaux lourds alors que les rejets de l'exploitation des encroûtements cobaltifères comprendront des oxydes plus inertes et des roches stériles. Une analyse comparative environnementale et sociale, commandée par Nautilus Minerals a comparé l'opération de Solwara 1 avec trois mines de cuivre terrestres et a conclu que l'impact environnemental de l'opération sous-marine serait semblable, voire beaucoup moins sévère que celui des mines conventionnelles.

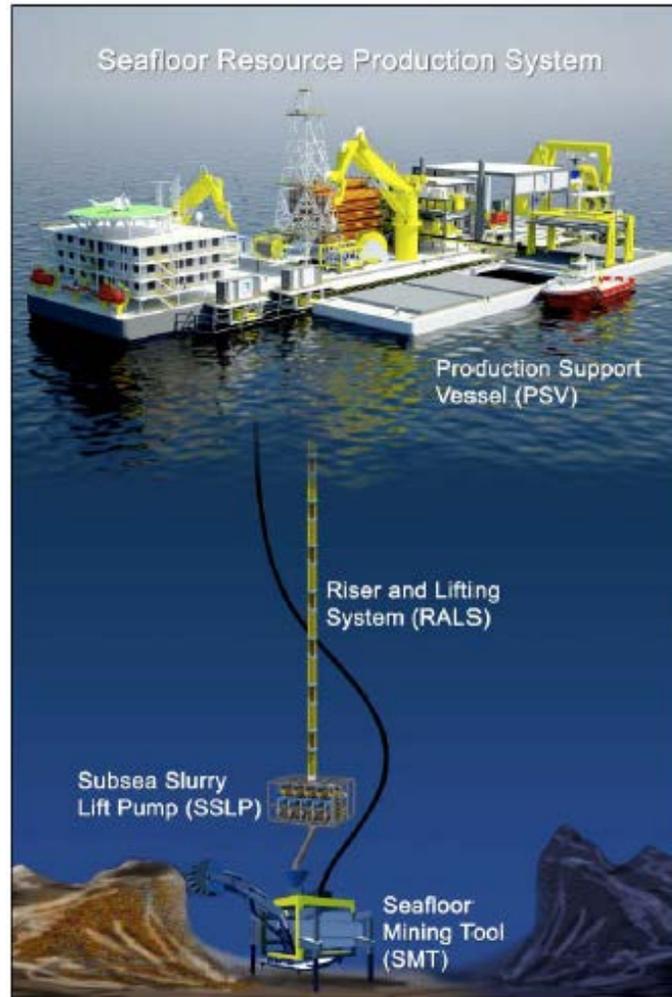


Figure 4 —Offshore Production System Definition and Cost Study. SRK Project NAT005 2010. Source : Nautilus Minerals Document No: SL01-NSG-XSR-RPT-7105-001

Néanmoins, l'opposition à ce projet emblématique augmente continuellement. Beaucoup de groupes différents, y compris Mining Watch, Earthworks, Deep Sea Mining Campaign and Oasis Earth Canada affirment que les impacts sociaux et environnementaux de l'opération n'ont pas été correctement évalués et ces groupes font pression pour imposer une interdiction ou un moratoire sur ce qu'ils appellent « l'exploitation minière expérimentale des fonds marins ».

3. Atlantis Deep II

Ce projet se situe au milieu de la Mer Rouge à environ 115 km à l'ouest de Djeddah en Arabie Saoudite à une profondeur d'eau de 2000m. Des travaux initiaux effectués en 1970 par l'entreprise allemande Preussag AG ont démontré un gisement de 90 millions de tonnes contenant 2 % de Zn, 0,45 de Cu, 38 ppm de Ag. Ceci correspond à un dépôt terrestre de taille moyenne pour ce type de gisement. La minéralisation s'étend jusqu'à une profondeur d'au moins 8,5 m. sous le plancher océanique et couvre une superficie d'environ 57 km².

L'avantage d'une possible future opération réside dans la nature de la ressource – une boue non consolidée sur le plancher océanique qui sera, en principe, facile à extraire. Les inconvénients sont la grande profondeur d'eau et surtout la situation politiquement très sensible de cette région du Moyen Orient. Une convention entre les sociétés Diamond Fields (Canada) et Manafa International Ltd. (Arabie saoudite) a été signée en 2010, mais les conditions sont encore en négociation et actuellement l'opération est en attente.

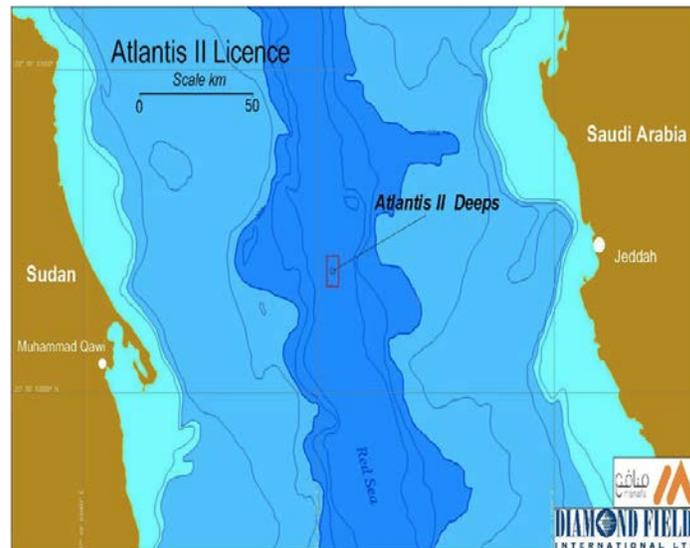


Figure 5 — Localisation du permis pour le projet Atlantis II (Source : site web de Diamond fields²)

² Page consultée en avril 2016 : <http://www.diamondfields.com/s/AtlantisII-MapsPhotos.asp?ReportID=417476&_Title=Atlantis-II-Licence#PageTop>

4. Taranaki, Nouvelle-Zélande

Ce projet est inclus dans notre rapport à titre d'exemple d'un projet qui a été abandonné suite à une décision négative des autorités gouvernementales. La société néo-zélandaise Trans-Tasman Resources a proposé d'exploiter jusqu'à 50 millions de tonnes de sédiments meubles contenant environ 10 % de titanomagnétite par an, sur une superficie de 66 km². Le minerai serait traité à bord d'un navire de production et de soutien. Le gisement est situé à 22,4 km au large de la côte de l'Île du Nord, à une profondeur de 20 à 45 mètres. L'entreprise a investi 60 m\$ pour explorer les ressources et travailler sur l'ingénierie, le marketing, les études du cadre physique et écologique et les impacts potentiels sur l'environnement.

Au cours des audiences publiques organisés par l'Autorité de Protection Environnementale, 4702 soumissions ont été reçues, la grande majorité fortement contre le projet. Les raisons invoquées sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Liste partielle de raisons données pour justifier le refus du projet de Trans-Tasman Ressources

Prélèvement de sable, ressource non-renouvelable pour les plages de la côte ouest
Erosion côtière exacerbée en amont et en aval
Modification des vagues et des courants
Effets néfastes pour les espèces de mammifères migrateurs et sédentaires
Menace pour l'écologie des fonds marins et des récifs, y compris les moules, les vers et les crustacés, garants d'une ressource de pêche saine
Impact sur la pêche commerciale, récréative et coutumière à cause du bruit, de lumière et des perturbations du fond de l'océan
Impact sur fonds marins qui peuvent se caractériser par des polluants précédemment enfouis, comme les métaux lourds qui pourraient alors s'accumuler chez certaines espèces de poissons
Effets potentiels sur la pêche en eau douce
Perturbation des activités telles que la plongée, le palmes-masque-tuba, le kite-surf
Effets sociaux négatifs sur les résidents côtiers
Impacts négatifs sur intérêts des Maoris, tels que la pêche ou autre "taonga" et incidence sur les droits d'exercer "manaakitanga" ou autres pratiques coutumières

En juin 2014, l'autorité a refusé une demande d'un permis d'exploitation minière en invoquant comme principales raisons "les incertitudes dans la portée économique et l'importance des effets environnementaux négatifs potentiels et par rapport aux intérêts existants, tels que les intérêts de la pêche et les Māori". La société a décidé de ne pas faire appel et a abandonné le projet en décembre 2014.



Figure 6 Manifestation de la société civile en Nouvelle Zélande contre les projets de mine sous-marine (Source : site web du journal [Stuff.co.nz](http://www.stuff.co.nz)³, 2015)

5. Autres exemples

D'autres exemples de projets d'exploitation de ressources minérales sous-marines sont donnés sur le Tableau 2. La majorité de projets répertoriés dans le tableau sont des exemples où l'autorisation d'exploiter a été refusée par les autorités responsables.

³ Site web consulté en juin 2015 : < <http://www.stuff.co.nz/taranaki-daily-news/news/9187985/Students-oppose-seabed-mining>>

Ces exemples illustrent les difficultés que toute tentative d'extraire des minéraux des fonds marins est susceptible de rencontrer. Il convient de souligner qu'il s'agit dans la plus part des cas, d'exploitation envisagée par petite profondeur, sur la plate-forme continentale (< 300 m) où les conflits d'usage sont importants (pêche, tourisme, érosion côtière, pollution, gêne pour les populations côtières, ...). Cet aspect est analysé pour la Polynésie dans la contribution II-4.

La région présentant le plus grand intérêt pour l'exploitation future des minéraux marins profonds est la zone de Clarion-Clipperton (>5000 m) qui contient de grandes concentrations de nodules polymétalliques. De nombreuses entreprises, tant publiques que privées, et de nombreux pays différents ont demandé des permis d'exploration dans la région. Même pour cette région en eau profonde et à l'extérieur des juridictions nationales, l'opposition à l'exploration et l'exploitation minière éventuelle est active. Une pétition exigeant que l'ISA impose un moratoire sur la délivrance des permis de prospection, a reçu plus de 800 000 signatures en quelques semaines (mais n'a pas convaincu la commission de renoncer à sa politique).

Save our oceans from deep sea mining



After plundering and poisoning our land, mining magnates are embarking on a deep sea gold rush. The body in charge of

SIGN THE PETITION

To ISA Secretary General Nii Allotey Odunton and members of the ISA Assembly, Council, and Finance Committee:

“ As citizens concerned about the health of our oceans, we call on you to agree a moratorium on mining of the seabed unless and until it can be proved safe. The current approach to regulating seabed mining is too weak and too biased towards industry and we need to redress the balance towards conservation, based on independent science.

Already an Avaaz member?

Figure 7 — Pétition lancée par Avaaz en août 2015, contre la mine sous-marine. Elle a reçu plus de 800 000 signatures) (Source : site web d'Avaaz⁴, 2015).

⁴ Page consultée en août 2015 :

< https://secure.avaaz.org/en/deep_sea_mining_2/?pv=61&rc=fb>

Tableau 2 — Résumé de quelques projets d'exploration

Nom	Localité	Type de gisement	Métaux ou produit minéral	Profondeur (m)	Distance de la côte (km)	Entreprise	Remarques
DebMar	Namibia	diamants détritiques dans des graviers	diamants	80-120	40-50	De Beers Marine	Une opération importante et réussie qui a fonctionné de façon rentable depuis plus de 25 ans. Relativement peu d'opposition des groupes anti-mines.
Solwara 1	Papouasie-Nouvelle Guinée	amas sulfuré	Cu-Au-Ag	1600	30	Nautilus Minerals (Canada) et le gouvernement de Papouasie-Nouvelle Guinée	L'exploitation d'un petit amas sulfuré riche sera probablement le premier exemple réussi de l'exploitation minière en eaux profondes. L'exploitation minière est prévue pour commencer début 2017. L'opposition des groupes environnementaux est en augmentation.
Atlantis 2	Mer Rouge	boues enrichies en sulfures	Zn-Cu-Ag	2000	115	Diamond Fields (Canada) and Manafa International (Saudi Arabia)	Un dépôt de taille modérée de bas grade Pb-Zn-Ag sulfure. La nature du dépôt sous forme de boue consolidée facilitera l'exploitation. L'opération est bloquée par des considérations politiques.

Taranaki	Nouvelle-Zélande	sable enrichi en magnétite	Fe-Ti	20-45	22	TransTasman Resources	Un projet d'exploitation de magnétite dans des sables qui a été rejeté en 2015 sur la base d'arguments environnementaux et sociaux
Don Diego	Mexique	Sable de phosphates	phosphate	70-90	40	Odyssey Minerals	Un projet d'exploitation de phosphates dans le ZEE de Mexique. Etudes d'impacts environnementaux en cours en juillet 2015
Sandpiper	Namibia	phosphate	phosphate	180-300	60	Namibian Marine Phosphate	Un projet d'exploitation de phosphates qui a été rejeté en 2011 sur la base d'arguments environnementaux et sociaux
Chatham	Nouvelle-Zélande	nodules de phosphate	phosphate	250-450	250	Chatham Rock	Un projet d'exploitation de phosphates qui a été rejeté en 2015 sur la base d'arguments environnementaux et sociaux
Groote Eylandt	Australie	manganèse sédimentaire	Mn	100-300	divers	Northern Manganese Ltd Groote Resources Ltd, BHP Billiton	Un moratoire sur toute exploration minérale et d'exploitation minière des fonds marins, établie en 2011, a été prolongé de 3 ans en 2015
Clarion-Clipperton	la "zone"	nodules polymétalliques	Mn, Ni, Co	4000-6000	>500	plusieurs	De nombreuses licences d'exploration ont été accordées, mais aucune proposition minière concrète n'a été faite à ce jour