

# 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 minérale<sup>1</sup> 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,

---

<sup>1</sup> 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.

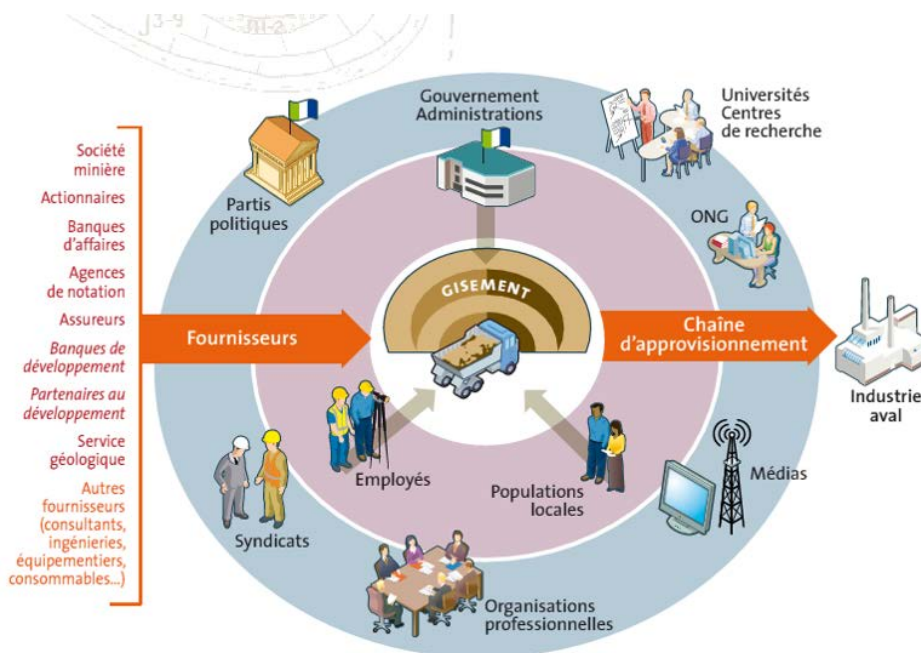


Figure 1 – Les parties prenantes du projet minier (les parties dont le nom figure en italique sont spécifiques de projets dans des pays en développement– Source : P. Christmann et al. (2012)

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 stériles<sup>2</sup> 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 profondes<sup>3</sup> 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

---

<sup>2</sup> 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* ».

<sup>3</sup> « *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 (évictions 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*<sup>4</sup> » (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.

---

<sup>4</sup> 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.com](http://snl.com)<sup>5</sup>, le coût de l'investissement initial s'établit à environ 400 millions US\$ par projet.

---

<sup>5</sup> 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 International<sup>6</sup>, Neptune Minerals<sup>7</sup> et Deep Green Resources<sup>8</sup>.

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 Minerals<sup>9</sup> et Deep Green Resources<sup>10</sup> 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.

---

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

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

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

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

<sup>10</sup> 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*<sup>11</sup>, le CAPEX initial moyen est légèrement inférieur à 400 millions US\$.

---

<sup>11</sup> 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.

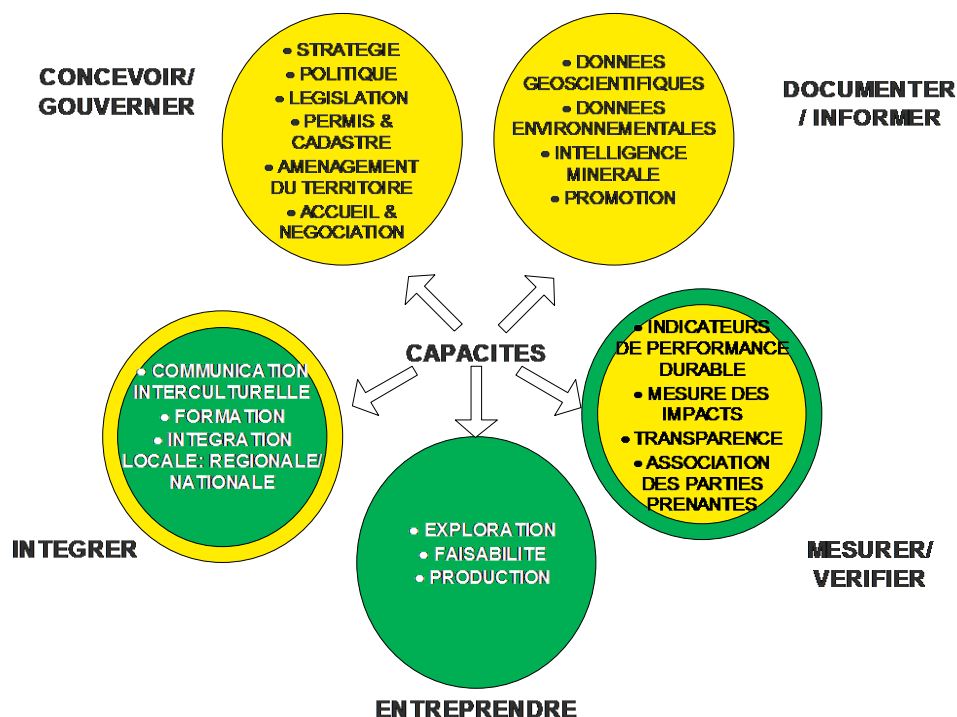


Figure 2 – Représentation simplifiée des grandes fonctions à maîtriser au cours d'un projet minier et des rôles respectifs simplifiés de l'État (et des collectivités territoriales/ locales, aires jaunes) et des opérateurs industriels (aires vertes). Source : BRGM/ P. Christmann

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 pré-faisabilité (« 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](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 résultats<sup>12</sup> ;

---

<sup>12</sup> 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 réserves<sup>13</sup> 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 ».

---

<sup>13</sup> 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 faisabilité<sup>14</sup>, 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 ;

---

<sup>14</sup> 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 suivants<sup>15</sup> :

- 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 réserves<sup>16</sup> 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 » ;

---

<sup>15</sup> 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)

<sup>16</sup> 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 avoirdupois<sup>17</sup> (lb av) de cobalt ;

---

<sup>17</sup> 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 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 rapportage 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 rapportage 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 acide<sup>18</sup>, 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.

---

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

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 TROIANELLO	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