

Collection « La mine en France »

Développement, Financement & Construction



TOME 5

Développement, financement et construction

Tome 5

Février 2017

Kister P., Fleurisson J.-A., Gunzburger Y., Jébrak M., Piguet J.-P.

Comité de rédaction de la collection

Ministère de l'Économie et des Finances

Coordination : Alain Liger, Rémi Galin

Rédacteurs : Rémi Galin, Jean-François Moras, Diana Guillon.

BRGM – Bureau de Recherches Géologiques et Minières / Service Géologique National

Coordination : Nicolas Charles, Jean-Jacques Dupuy

Rédacteurs : Nicolas Charles, Laurent Bailly, Gaël Bellenfant, Francis Blanchard, Stéphane Chevrel, Patrice Christmann, Francis Cottard, Patrick D'Hugues, Jean-Jacques Dupuy, Jean-Claude Guillaneau, Jean-François Labbé, Bernard Lamouille, Maurice Save, Jean-François Thomassin, Pol Urien, Laure Verneyre, Guillaume Vic.

INERIS – Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

Coordination : Frédéric Poulard

Rédacteurs : Frédéric Poulard, Philippe Gombert, Xavier Daupley, Christophe Didier, Zbigniew Pokryszka.

Réseau d'Excellence Mine & Société (Mines ParisTech, Mines Nancy, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Mines d'Alès)

Coordination : Philippe Kister

Rédacteurs : Hossein Ahmadzadeh, Jean-Alain Fleurisson, Damien Goetz, Philippe Kister, Yann Gunzburger, Michel Jébrak, Brice Laurent, Jack-Pierre Piguet, David Salze.

Mots-clés : étude de faisabilité, financement, construction, impacts, bonnes pratiques.

En bibliographie, ce document sera cité de la façon suivante :

Kister P., Fleurisson J.-A., Gunzburger Y., Jébrak M., Piguet J.-P. (2017) – Développement, financement, construction. La mine responsable en France. Référentiel technique. Tome 5, 54 p., 9 fig., 3 tabl., 1 ann.

Sommaire

1. Généralités.....	11
2. Méthodes et techniques	13
2.1. LES ETUDES DE DEVELOPPEMENT : PRELIMINAIRES, DE PREFAISABILITE, ET DE FAISABILITE	13
Choix des techniques minières.....	16
Choix des procédés de traitement.....	19
Gestion des résidus et des stériles miniers	19
Fermeture et réhabilitation.....	20
Gestion des eaux.....	21
Aspects environnementaux et sociaux	21
Infrastructures associées.....	23
Evaluation économique globale.....	24
2.2. CONSTRUCTION.....	27
Les impératifs	27
Installations, infrastructure et équipements	28
2.3. FINANCEMENT	29
3. Impacts.....	33
3.1. IMPACTS PENDANT LES PHASES D'ETUDES DE DEVELOPPEMENT	33
Les impacts environnementaux	33
Les impacts socio-économiques.....	34
3.2. IMPACTS PENDANT LA PHASE DE CONSTRUCTION	34
Les impacts environnementaux	34
Les impacts socio-économiques.....	36
4. Solutions envisagées et bonnes pratiques	37
4.1. RAPPEL DU CADRE REGLEMENTAIRE	37
4.2. PREREQUIS.....	37
Conformité avec les standards, et référence aux meilleurs guides de bonnes pratiques existants	38
Personnel et intervenants « responsables ».....	38
Prendre en compte les possibles changements de responsabilité.....	38
Dépasser la logique financière	39
Inscription dans la durée.....	40
Evaluation et minimisation des risques.....	40
Stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre.....	41

4.3. BONNES PRATIQUES SUR LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	41
4.4. BONNES PRATIQUES SUR LES ASPECTS SOCIETAUX.....	44
Entreprendre des Etudes d'Impact Social dès la phase conceptuelle	44
Cartographier et consulter les parties-prenantes	44
S'engager	45
Communiquer	45
Faire participer les parties-prenantes	46

Liste des figures et des tableaux

Figure 1 : De l'étude conceptuelle à la construction, plusieurs étapes pour tester et confirmer la viabilité d'un projet minier.	16
Figure 2 : Différentes dépenses relatives à un projet minier.	25
Figure 3 : Exemples de distribution des flux de trésorerie sur la vie d'un projet minier (adapté de cas réels).	26
Figure 4 : Schéma de calcul de flux de trésorerie pendant la production et sur la vie de la mine.	27
Figure 5 : Projet minier Hemerdon en construction (avril 2015). Vue sur l'usine de traitement. Mine d'étain-tungstène développée par Wolf Minerals Ltd. en Cornouaille au Royaume-Uni (active depuis septembre 2015).....	29
Figure 6 : Modèle d'évolution de la valeur d'un projet minier au cours de son cycle de vie. Pour les cas de compagnies cotées en bourse un exemple d'indicateur de valeur est le cours du titre. Ce modèle d'évolution reflète typiquement l'appréhension des risques financiers sur un projet minier. Dans la réalité les évolutions sont généralement plus complexes notamment parce que soumises aux fluctuations macroéconomiques (le marché minier est un marché volatil). De plus, rares sont les cas de compagnies minières présentes sur l'ensemble du cycle du projet et qui n'ont qu'un seul projet en portefeuille.	30
Figure 7 : Illustration du découpage de l'enveloppe minéralisée d'un gisement en blocs dans lesquels sont attribuées des teneurs. Gisement d'or de Gounkoto (exploité par Randgold Resources au Mali). Information publique sur Internet.	50
Figure 8 : Classification des ressources et réserves suivant les normes regroupés au sein du CRIRSCO.	52
Figure 9 : Catégories et exemples de classes du système de « Classification-cadre des Nations Unies pour l'énergie fossile et les réserves et ressources minérales » (UNFC-2009).	53
Tableau 1: Contenu des Etudes d'Impact Environnemental et des Etudes d'Impact Social (EIE, EIS, généralement assemblées en une même Etude d'Impact Environnemental et Social, EIES).	23
Tableau 2 : Source et nature des préoccupations potentielles pendant la phase de construction sur les aspects environnementaux. Un des objectifs des études environnementales réalisées dès les phases les plus amont de développement est d'éviter – si possible – et réduire au maximum les nuisances.....	35
Tableau 3 : Synthèse de bonnes conduites environnementales sur la gestion des sols, eaux et stériles et résidus miniers pendant les phases de développement et de construction (d'après Environnement Canada, ICMM et e3Plus).	43

Annexe

Annexe 1 Notions de ressources / réserves.....	47
--	----

1. Généralités

Ce Tome 5 examine les phases du développement d'un projet minier qui incluent plusieurs étapes faisant suite à la phase initiale d'Exploration (Cf. Tome 4) : les études de pré faisabilité et de faisabilité, de planification et de financement, et de construction du projet. Ces phases de développement ne sont entreprises qu'à condition que les résultats d'Exploration se soient avérés prometteurs, c'est-à-dire qu'un gîte minéral ait été reconnu et des ressources préliminaires définies, et que les financements nécessaires à la poursuite aient été obtenus. Si les terminologies, les méthodes et les techniques pour chaque étape varient d'une société à l'autre il existe une progression commune qui se traduit par :

- Un niveau de connaissance scientifique et technique de plus en plus élevé ;
- Une augmentation des investissements engagés ;
- Une estimation de la viabilité du projet de plus en plus précise ;
- Une connaissance des enjeux sociaux et environnementaux de plus en plus affinée.

À chaque étape correspond une prise de décision sur la poursuite ou non du projet en fonction d'un compromis entre de multiples critères comprenant la technique, la micro et macro-économie, les aspects socio-environnementaux, le financement et le cadre législatif et fiscal. Au cours de ces processus le risque financier augmente pour les compagnies minières qui investissent de plus en plus sans nécessairement garantie de poursuite.

2. Méthodes et techniques

2.1. LES ETUDES DE DEVELOPPEMENT : PRELIMINAIRES, DE PREFAISABILITE, ET DE FAISABILITE

Suite aux travaux d'exploration avancée, et si les résultats de ces travaux permettent de mettre en évidence des ressources c'est-à-dire aboutissent à une quantification d'une concentration significative de minerai en sous-sol, les compagnies minières peuvent prendre la décision de poursuivre par des études de développement du projet en vue d'une potentielle mise en exploitation. L'approche employée suit plusieurs phases, qui peuvent être hiérarchisées de la manière suivante:

- les études « préliminaires » ou « conceptuelles » dont les traductions anglaises sont « *scoping study* », « *desktop study* », ou « *preliminary economic assesment* » ;
- les études de « préfaisabilité » dont la traductions anglaise est « *prefeasibility studies* » ;
- les études de faisabilité stricto sensu, dont les traductions anglaises sont « *feasability study* » ou « *definitive feasibility study* ».

Ces terminologies ne sont cependant pas figées et suivant les compagnies minières plusieurs appellations et niveaux d'études existent. Il arrive que des compagnies entreprennent des études « préliminaires » et prennent la décision de poursuivre directement par des études de faisabilité sans passer par l'étape de « préfaisabilité ». Les études de faisabilité peuvent comprendre plusieurs révisions et mises à jour en fonction des travaux et des études complémentaires effectués au cours du développement, ainsi que de l'importance de l'investissement envisagé.

Les différences entre études « préliminaires », « préfaisabilité » et « faisabilité » relèvent de la quantité de travaux entrepris (terrain, laboratoire, bureau) et du degré de précision sur la viabilité de projet (Figure 1). En conséquence ces études se distinguent par :

- le degré de **connaissance du gisement** : une étude de préfaisabilité se base sur des *ressources*¹ à conditions que celles-ci aient été reconnues avec une précision suffisante (notions de *ressources mesurées et indiquées*²). Lors d'une étude préliminaire il est possible d'intégrer des ressources d'un degré de précision moindre (notion de *ressources présumées*³) ; c'est lors d'une étude de faisabilité que sont définies des *réserves*⁴ minérales garantissant la continuité géométrique du gisement et la viabilité d'une exploitation.

¹ Voir annexe et Tome 13

² Voir annexe et Tome 13

³ Voir annexe et Tome 13

⁴ Voir annexe et Tome 13

- **le caractère contemporain des données** techniques. Les études de préfaçabilité et faisabilité font appel à des données acquises récemment (c'est-à-dire ne peuvent pas uniquement être fondées sur des résultats historiques). Il existe plus de liberté pour une étude conceptuelle qui peuvent valoriser des données d'exploration ou d'exploitation passées ;
- la **quantité de travaux** scientifiques et techniques réalisés. Une étude préliminaire se basera en grande partie sur des comparaisons avec des techniques et pratiques employées sur des gisements en exploitation analogues, alors que les études de préfaçabilité et faisabilité comprendront d'avantage d'études d'ingénierie permettant de déterminer les paramètres technico-économiques propres au gisement. Typiquement, pour une étude de préfaçabilité 40% des études d'ingénierie ont été entreprises par rapport à la phase finale de construction. Le niveau d'ingénierie atteint 80% à l'issue d'une étude de faisabilité. Le différentiel est complété lors de la phase de construction ;
- du **degré de précision** des estimations des dépenses d'investissement initial et des dépenses opératoires si le projet venait à être exploité. Cette précision est de l'ordre de $\pm 30-50\%$ pour une étude « préliminaire », $\pm 20-30\%$ pour une étude de préfaçabilité et inférieure à 15% pour une étude de faisabilité ;
- d'un niveau de connaissance de plus en plus affiné des **impacts sociaux et environnementaux** induits par l'opération minière projetée. Les études de développement s'accompagnent d'études socio-environnementales visant à éviter, réduire compenser les impacts
- des **coûts de réalisation** croissant en fonction de l'intensification des travaux d'ingénierie et du degré de précision obtenu. Les ordres de grandeurs sont quelques centaines de milliers d'euros pour une étude préliminaire à 1-3 M€ pour une étude de préfaçabilité et $\pm 5-15$ M€ pour une étude de faisabilité ;
- des **échelles de temps** de réalisation variables : une étude conceptuelle peut être réalisée sur un temps relativement court car en partie basée sur des comparaisons (ordre de grandeur 1 an), alors que plusieurs années sont nécessaires avant l'achèvement d'une étude de faisabilité (2-5 ans voire plus suivant la complexité du projet). A ces échelles de temps d'exécution s'ajoute le temps nécessaire à la recherche de financement qui peut interrompre la continuité du développement.

Schématiquement, la phase préliminaire **teste** des scénarios simplifiés, et l'étude de préfaçabilité **vérifie** un scénario optimum. Dans la mesure du possible, le scénario retenu pourra ensuite être **optimisé et confirmé** lors de la phase de faisabilité. L'étape de décision la plus critique pour une compagnie minière est en général le passage de l'étude préliminaire à l'étude de faisabilité, car il y a à ce moment suffisamment d'éléments pour anticiper la viabilité d'une opération minière et les futures dépenses à engager deviennent considérables. De plus, c'est à cette étape que les concertations avec les parties prenantes s'intensifient et que débutent en parallèle les processus de demandes d'autorisations réglementaires de construction et de Permis d'Exploitation.

Ces études peuvent nécessiter de poursuivre les travaux d'exploration qui relèveront le plus souvent du régime de l'autorisation, notamment pour les campagnes de sondages de caractérisation du gisement. En fonction de la complexité du projet, une ou plusieurs procédures d'instruction réglementaire, comportant une enquête publique peuvent être nécessaires pour finaliser le projet, augmentant d'autant la durée de cette phase.

La viabilité d'un projet minier est investiguée en prenant conjointement en compte de multiples domaines qui seront détaillés dans les paragraphes suivants:

- (a) le choix des techniques minières,
- (b) le choix des procédés de traitement du minerai,
- (c) la gestion des résidus miniers et des stériles,
- (d) la gestion de la fermeture, les plans de réhabilitation et la gestion de l'après mine ;
- (e) la gestion des eaux,
- (f) les aspects environnementaux et sociaux,
- (g) les infrastructures associées (énergie, transport)
- (h) l'évaluation économique en regard de la commercialisation des produits

A chacun de ces domaines sont associées des paramètres technico-économiques qui seront compilés et évalués au regard des contraintes macro-économiques et du cadre réglementaire et fiscal. Ces études largement multidisciplinaires engagent donc de nombreuses spécialités, à la fois sur le terrain, en laboratoire ou en bureau d'étude. Elles requièrent le concours de professionnels de l'industrie qui travaillent avec le soutien de consultants experts et de scientifiques.

		COÛTS	QUANTITÉ DE TRAVAUX D'INGÉNIERIE	PRÉCISION DES ESTIMATIONS DE DÉPENSES	LIVRABLES	ANNÉES
ETUDE CONCEPTUELLE ETUDE PRÉLIMINAIRE	-Basée sur des ressources (ressources de catégorie présumée pouvant être incluses) -Repose en grande partie des hypothèses techniques et de coûts -Prise en compte du contexte international, économique et social local	± 0,1-0,75 M€	Faible <40%	± 30-50%	Plusieurs scénarios simples testés. Si viables : étape de faisabilité	1
Recherche de financement, demandes d'autorisation de travaux miniers						
ETUDE DE PRÉFAISABILITÉ	-Basée sur des ressources de catégorie indiquée et mesurée et/ou sur des réserves -Essais géotechniques, hydrogéologiques, métallurgiques préliminaires -Etudes préliminaires de gestion des eaux, stériles et résidus minier, plans de fermeture et réhabilitation -Démarrage des études d'Impact Environnemental et Social préliminaire	± 1-3 M€	40%	± 20-30%	Plusieurs scénarios simples testés. Un scénario retenu avec possibles variantes. Si viable : poursuite en étude de faisabilité	1 à 3
Recherche de financement, demandes d'autorisation de travaux miniers						
ETUDE DE FAISABILITÉ	-Définition des réserves inclut : *Méthodes minières et procédés de traitement *Infrastructure associée *Plan de gestion des eaux, stériles et résidus miniers *Plan de fermeture et réhabilitation -Finalisation des études d'Impacts Environnemental et Social	± 5-15 M€	80%	± 10-15%	Confirmation d'un scénario. Si viable : poursuite avec ingénierie de détail, financement, construction	2 à 5
Recherche de financement, demandes de Permis d'Exploitation et d'autorisation de construction						
CONSTRUCTION	-Ingénierie de détail -Financement -Autorisations réglementaires obtenues	± 10-1 000 M€	100%	<10%	Démarrage de la production	6 à 10

Figure 1 : De l'étude conceptuelle à la construction, plusieurs étapes pour tester et confirmer la viabilité d'un projet minier.

Choix des techniques minières

La description des différentes techniques d'extraction⁵ fait l'objet du Tome 6. A ce stade précisons les grandes options devant lesquelles une compagnie minière se trouve pour choisir une méthode d'exploitation en fonction du type de gisement et en mettant en regard les conséquences et impacts de ces choix pour les populations et territoires.

⁵ Globalement classées en trois catégories : mine à ciel ouvert, mine souterraine, lixiviation ou dissolution *in situ*, ou une combinaison de ces méthodes.

Ainsi trois grands types de gisements se distinguent :

- Des gisements accessibles à ciel ouvert : ce sont principalement des gisements sédimentaires avec une ou plusieurs couches minéralisées subhorizontales ou à faible pendage, et un recouvrement stérile de faible épaisseur et sensiblement constant. Leur extension horizontale est largement supérieure à leur extension verticale. C'est le cas des gisements de charbon, bauxite, phosphate, minerai de fer ;
- Des gisements accessibles seulement en souterrain par opposition aux précédents : ce sont des amas minéralisés affleurant éventuellement en surface mais s'étendant en profondeur, des gisements filoniens ou des gisements sédimentaires profonds ou à fort pendage. Dans ce cas l'extension verticale du gisement est de loin la plus importante. C'est le cas de l'essentiel des gisements métalliques. Cette catégorie inclut également les gisements de sel ;
- Des gisements à basse teneur (tels les grès rouges à cuivre ou « *red beds* ») ou à minéraux solubles (tels les sels), stratiformes, encaissés entre deux horizons perméables.

Dans le cas de gisements « superficiels », l'exploitation se développe à ciel ouvert globalement horizontalement et il est possible de rejeter les stériles de découverte directement dans la fosse pendant l'exploitation par remblayage ou auto-remblayage.

Dans les gisements profonds, l'exploitation se développe verticalement du haut vers le bas, soit à ciel ouvert soit par excavation souterraine (ou les deux). Dans le premier cas la fosse peut atteindre plusieurs dizaines à centaines de mètres de profondeur jusqu'aux limites fixées par les critères technico-économiques) sans qu'il soit possible de rejeter les stériles dans la fosse pendant l'exploitation. Les matériaux stériles extraits doivent donc être transportés à l'extérieur de la fosse jusqu'aux verses à stériles. Dans le cas d'une extraction souterraine les impacts en surface dépendront du choix du traitement des vides excavés. Sont distinguées :

- les exploitations totales avec effondrement contrôlé des terrains surplombant le gisement et en conséquence affaissements de surface inéluctables, d'amplitude variable selon les modalités d'exploitation et les conditions naturelles mais relativement prévisibles ;
- exploitations partielles dimensionnées pour réduire les affaissements de surface à plus ou moins long-terme ;
- exploitations remblayées dont les avantages recherchés sont notamment la réduction des affaissements de surface et l'élimination des stériles à stocker en surface, mais avec un coût supplémentaire ;
- exploitations par lixiviation *in situ*, sans excavation, adaptées pour les gisements encaissés entre deux niveaux perméables.

Le retour d'expérience montre que la géologie (au sens large) du gisement joue un rôle décisif sur le choix des techniques minières incluant les paramètres suivants : teneurs, tonnage, morphologie, profondeur, pendage, propriétés du minerai (incluant produits et coproduits) et les propriétés des roches encaissantes (notamment fracturation et résistance mécanique). Les choix se mesurent à l'aune de la faisabilité technique, de l'optimisation économique et de l'occupation en surface.

La connaissance géologique du gisement s'approprie graduellement par une intensification des travaux d'exploration, tels que décrits dans la section portant sur la phase d'Exploration (Cf. Tome 4) : densification du nombre de forages, augmentation du nombre d'analyses géochimiques, complément par des mesures de diagraphie le long des forages, dont la finalité est d'approfondir la connaissance géologique du gisement, de préciser les estimations des

ressources (incluant produit et coproduits) et, si possible, d'augmenter leur volume. Ces travaux sont complétés par des mesures topographiques permettant de géo-localiser dans le détail le gisement. En stade avancé de développement et dans le cas de gisements profonds l'excavation de galeries de reconnaissances souterraines peut s'avérer nécessaire. Ces galeries permettent en effet un accès direct au gisement et peuvent servir de base pour des forages souterrains (réduisant ainsi le métrage de forage par rapport au métrage qu'il aurait été nécessaire d'exécuter pour atteindre le gisement depuis la surface) et vérifier la continuité du gisement. Ces galeries peuvent également servir d'exploitation pilote (à petite échelle) pour tester le comportement des terrains et récupérer une quantité suffisante de minerai pour alimenter une usine pilote (à faible cadence) utilisant la méthode de traitement retenue (voir section suivante).

En plus des études géologiques et géochimiques de nouvelles investigations sont entreprises lors des phases de développement : investigations géotechniques et hydrogéologiques qui ont pour objectif la caractérisation des masses rocheuses afin de déterminer les critères de conception d'une mine. Ces études menées par des experts géotechniciens et hydrogéologues servent de ligne directrice pour une conception technique plus détaillée lors de phases ultérieures de développement.

Une évaluation géotechnique s'appuie a minima sur :

- le relevé des failles majeures et la caractérisation du réseau de discontinuités naturelles du massif rocheux (densité de fracturation, définition des familles directionnelles, si elles existent, et de leurs propriétés géométriques – orientation, pendage, extension, espacement) ;
- des essais de caractérisation géotechnique et des essais mécaniques effectués en laboratoire à partir d'échantillons prélevés *in situ* ;
- et, si possible, sur la mesure en forage de l'état de contraintes naturelles (amplitudes et orientations).

Les forages et prélèvements réalisés à des fins géotechniques sont réalisés dans des conditions identiques et avec des équipements similaires aux forages d'exploration tels que décrits dans les Tomes 4 et 11. Les résultats des essais en laboratoires sont introduits dans des modèles numériques 2D ou 3D à l'aide de logiciels spécialement dédiés aux calculs de coefficients de sécurité ou de distribution des contraintes et des déplacements. Complété par des modèles hydrogéologiques, ce travail de bureau aboutit à la détermination (indicatives à ce stade) des conditions de stabilité des ouvrages (stabilité des pentes dans le cas d'une mine à ciel ouvert, stabilité des excavations et choix des soutènements dans le cas d'un ouvrage souterrain) et à leur dimensionnement.

En outre, dans le cas où des exploitations existent ou ont existé dans le voisinage du gisement étudié (ou dans des gisements présentant de fortes analogies avec celui-ci), leur analyse permet de guider jusqu'à un certain point le choix des techniques d'exploitation et le dimensionnement des ouvrages.

En parallèle les ingénieurs miniers conduisent des études de planification minière opérationnelle qui permettent de dimensionner et optimiser les installations minières et le parc d'équipements en fonction des rythmes de production. Les critères de sécurité, de taux de récupération des ressources et de qualité de récupération (dilution, salissage) sont également pris en compte. Les estimations de coûts de construction des installations et d'achat des équipements, ainsi que les estimations de coûts de productions sont intégrées à cet exercice d'optimisation.

Choix des procédés de traitement

Le choix des procédés de traitement du minerai⁶ résulte d'essais métallurgiques et minéralogiques effectués en laboratoire à partir d'échantillons représentatifs du gisement, voire si nécessaire, en usine pilote sur site (au stade de faisabilité). Ces échantillons peuvent provenir de carottes de forages d'exploration ou de carottes de forages spécialement dédiés, et peuvent également être prélevés à partir de petits ouvrages d'excavation : tranchées de surface ou galeries souterraines (10-100 m³).

C'est la nature du minerai et de la roche hôte qui conditionne dans un premier temps les possibilités d'extraction et de concentration de produits et coproduits considérés. A partir des résultats des programmes d'essais et de leurs interprétations par des métallurgistes et des ingénieurs chimistes, des schémas de procédés flexibles sont établis. Il s'agit de conceptualiser une chaîne de procédés allant des étapes de concassage et de broyage, au traitement stricto-sensu (séparation magnétique/électrostatique/ou par gravité, flottation, séparation en milieu dense, hydrométallurgie, pyrométallurgie etc..).

Les choix de procédés de traitement est également étudié au regard du taux de récupération des produits et coproduits et de la qualité du produit final qui sera vendu (teneur en produit et coproduits, présence éventuelle d'éléments « non désirables »). Plus le taux de récupération est élevé, meilleure sera la valorisation du sous-sol. Une fois le schéma de procédé établi, les métallurgistes et ingénieurs peuvent :

- concevoir un dimensionnement complet définissant tous les paramètres de conception de l'usine ;
- établir un bilan de masse permettant le calcul des coefficients de récupération ;
- établir la liste des équipements nécessaires ;
- établir les besoins en alimentation électrique, eau et réactifs ;
- obtenir de firmes d'ingénierie des devis de construction d'infrastructures de l'usine et estimer des coûts d'exploitation et besoins en capital de l'usine.

Gestion des résidus et des stériles miniers

La gestion des stériles (issus directement de l'exploitation) et des résidus miniers (issus de l'usine de traitement) est prise en compte dès la phase de préfaisabilité car les installations de gestion de ces matériaux doivent être conçues, exploitées, fermées et réhabilitées conformément à des critères techniques et environnementaux très stricts, selon les réglementations nationales et les normes internationales de pratique d'excellence dans ce domaine⁷. Une évaluation détaillée de ces aspects dès les premières étapes d'étude peut permettre de minimiser fortement les impacts économiques, environnementaux et sociaux susceptibles de survenir en cours de réalisation du projet.

Les stratégies de gestion des installations varient d'un site à l'autre. C'est pourquoi le choix du site et les méthodes de traitement des déchets miniers sont définis par des ingénieurs spécialisés dans ce domaine, travaillant en collaboration étroite avec les spécialistes de l'environnement, des géotechniciens, des hydrogéologues, des géochimistes et des centres de recherche et laboratoires certifiés

⁶ Les différents procédés de traitement seront plus largement développés dans le Tome 6.

⁷ La gestion de résidus et stériles miniers sera également développée dans les Tomes 6 et 7.

La conception et la gestion d'un site de traitement des stériles et/ou résidus miniers dépendent premièrement des propriétés physiques et chimiques de ces résidus et du lieu de stockage. C'est pourquoi une première étape consiste en une étude exhaustive des propriétés physiques et chimiques des matériaux à gérer à partir d'échantillons avant de passer à la conception proprement dite des installations. Le choix du site nécessite au préalable d'avoir défini les limites du gisement incluant son potentiel d'extension (ce qui se fait au moyen de forages dits de « stérilisation ») afin de ne pas implanter les installations de stockage sur une aire potentiellement exploitable à l'avenir.

La conception des installations repose sur des matrices décisionnelles fondées sur les éléments suivants : réutilisation possible des déchets produits, topographie et géologie du site, droit de propriété, d'occupation et utilisation des terres, questions relatives aux eaux de surface et souterraines, méthodes de mise en dépôt des stériles et résidus, volume des résidus et stériles, stabilité géotechnique des dépôts, méthodes de réhabilitation, disponibilité des matériaux de construction, calendrier de construction et d'opération, coûts en capital et d'exploitation des installations de gestion.

Fermeture et réhabilitation

Il est commun aujourd'hui d'étudier et d'envisager les conditions de fermeture du site minier dès les études de pré faisabilité et faisabilité avant même que la première tonne de minerai ait été extraite (les anglophones parlent de « *Design to close* »). Après l'arrêt de l'exploitation minière, il convient en effet que l'emplacement de l'exploitation soit à la fois stable et sécuritaire du point de vue physique, géochimique, écologique et social, et que la qualité des eaux environnantes soit protégée. L'utilisation ultérieure du terrain doit être clairement définie à la satisfaction du gouvernement et des populations riveraines, dans un cadre de développement durable. La fermeture d'une mine est actuellement moins un défi technique (il existe des solutions) qu'un défi d'anticipation. Les planificateurs doivent tenir compte de l'évolution potentielle des conditions sociales économiques et environnementales, depuis les études de faisabilité, jusqu'à la fermeture de la mine.

C'est pourquoi les plans de fermeture et de réhabilitation de mine sont conceptualisés et chiffrés dès la phase de pré faisabilité afin que leurs mises en place puissent être financées et menées de manière efficace lorsque le moment sera venu. Les budgets de fermeture ainsi définis sont communément réservés et proposés aux instances en charge des mines dès le montage des dossiers réglementaires d'attribution de permis d'exploiter.

En s'appuyant sur des consultants experts et en tenant compte de l'incidence biophysique et sociale, des exigences de conception, et de la réglementation, les compagnies minières, évaluent les risques, les coûts et les avantages des différents scénarios de fermeture possibles. Dans ces évaluations est également intégrée l'échelle de temps avec laquelle les paramètres sociaux et environnementaux évoluent. La gestion des plans de fermeture historiquement concentrée sur les aspects environnementaux, s'effectue désormais également sur les aspects sociétaux en concertation avec les populations concernées en vue de leur acceptation et appropriation des projets de fermeture. Les compagnies minières sont en mesure d'informer à l'avance ce que le projet va occasionner comme changement sur les plans environnemental et social, durant le développement, l'exploitation et après la fermeture de la mine (par exemple en matière d'impact paysager et d'emploi pendant et après la mine).

À plus long-terme se posera la question de la gestion des aléas associés aux anciennes exploitations minières. Cette problématique est abordée dans le Tome 7.

Gestion des eaux

Les opérations minières peuvent être fortement consommatrices d'eau et productrice d'eaux usées. C'est particulièrement le cas du broyage (avec apport d'eau généralement), de la flottation et des procédés de séparation chimique lors du traitement. C'est pourquoi une gestion judicieuse des eaux de mine constitue une composante essentielle pour une exploitation viable. Une bonne gestion des eaux de mine se conçoit dès la phase d'étude de pré faisabilité et porte à la fois sur les aspects qualitatifs et quantitatifs. Cela nécessite une approche planifiée et intégrée qui s'échelonne sur l'ensemble du cycle de vie de la mine, depuis l'évaluation préliminaire des ressources jusqu'à la gestion opérationnelle d'approvisionnement durable en eau. Cette approche incorpore la stratégie de développement de la mine, les besoins opérationnels et les considérations d'ordre environnemental et social. Une gestion efficace des eaux engendre des économies en gérant les risques (notamment ceux d'instabilité des ouvrages de rétention) et en réduisant les incertitudes et les impacts liés au projet.

Les études de gestion des eaux font appels à de multiples spécialistes incluant des hydrogéologues, des hydrologues, des modélisateurs spécialisés en eaux de surface et souterraines, des géochimistes et scientifiques environnementaux. Ce travail se fait en collaboration avec les ingénieurs chargés de la planification de la mine, les ingénieurs des procédés et les ingénieurs géotechniciens du projet.

Ces études conduisent au développement de modèles conceptuels permettant une compréhension de la dynamique des eaux de surface et souterraines ainsi que le transport de polluants. Ces modèles sont établis en intégrant les données recueillies sur le terrain (état initial), ainsi que par l'analyse de documents et l'interprétation des programmes d'essais spécifiques en laboratoire. La modélisation prédictive fait appel à toute une variété d'outils analytiques et numériques afin d'optimiser le système de gestion des eaux de mine.

Enfin, la gestion des eaux doit prendre en compte non seulement les eaux consommées, les eaux pluviales mais également les eaux extraites (exhaure) qui concernent de nombreuses mines souterraines et les eaux de rejets. Dans certains cas les volumes d'eau pompée dépassent les volumes de minerais extraits.

Aspects environnementaux et sociaux

Les Etudes d'Impact Environnemental (EIE) sont une nécessité réglementaire. Lors de l'instruction des demandes de travaux, elles sont examinées par l'autorité environnementale qui statue sur leur qualité et leur adéquation aux demandes.

Ces études sont entreprises pendant les phases de développement en vue d'obtenir les autorisations pour effectuer des travaux de développement dans le cadre d'un Permis Exclusif de Recherche, ainsi que pour les futures demandes de Permis d'Exploitation et d'autorisation d'ouverture de travaux de construction. Il est devenu pratique courante dans l'industrie minière de compléter les EIE par des Etudes d'Impact Social (EIS) même si ces dernières ne sont pas, en toute rigueur, requises par la réglementation. En effet, une Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) sert à d'autres finalités :

- elle permet de mesurer les effets positifs et négatifs d'un projet sur l'environnement, les individus et/ou les populations concernées. En conséquence les décideurs pourront modifier la conception finale du projet en vue d'optimiser les impacts positifs et éviter ou réduire les impacts négatifs (dans la limite de viabilité du projet), - et, si nécessaire, de planifier les mesures compensatoires ;

- elle permet de prouver aux investisseurs et financeurs que la gestion du risque environnemental et social est menée de manière appropriée, c'est-à-dire conforme à des standards tels que les *Principes de l'Équateur*⁸, ou les *Normes de performance*⁹ de la Société Financière Internationale (SFI). Une EIES incluant un Plan de gestion environnemental et social (PGES) constitue notamment un requis dans les pays en développement pour bénéficier de financements de la SFI et de banques signataires des Principes de l'Équateur ;
- elle sert de support dans les dialogues avec les parties prenantes pour acquérir l'acceptation et l'approbation du projet par celles-ci.

Les EIES nécessitent souvent plusieurs années d'investigation et commencent généralement dès la phase d'exploration (par des études d'état initial) pour s'achever en phase de faisabilité. Pour y parvenir, différentes actions sont entreprises telles que (Tableau 1):

- collecte et revue approfondies des données relatives aux conditions environnementales et socio-économiques existantes et au cadre législatif et administratif ;
- évaluation de tous les effets positifs/négatifs environnementaux et sociaux, et des difficultés technologiques associées au projet ;
- identification et planning de mesures correctives envisagées pour atténuer ou compenser des effets négatifs potentiels ;
- développement d'un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) comprenant les mesures d'atténuation, ainsi que des exigences de surveillance et de suivi.

Une approche holistique est généralement employée sur les questions sociales et environnementales ainsi que sur celles relatives à la santé et à la sécurité des travailleurs et de la population sur l'ensemble du projet, incluant les infrastructures et les services de soutien. Par des processus de consultation avec les parties-prenantes l'approche vise à comprendre et à respecter les intérêts des parties intéressées et touchées par le projet. Les équipes en charge de ces études sont constituées de scientifiques et d'ingénieurs de l'environnement (botanistes, pédologues, hydrogéologues, écologues, etc.) ainsi que des professionnels des sciences sociales possédant de l'expérience dans les domaines de gestion, réglementation et d'études d'impact.

⁸ Voir Tome 9

⁹ Voir Tome 9

Tableau 1: Contenu des Etudes d'Impact Environnemental et des Etudes d'Impact Social (EIE, EIS, généralement assemblées en une même Etude d'Impact Environnemental et Social, EIES).

Etudes d'Impact Environnemental	Etudes d'Impact Social
Cadrage du projet	Cadrage du projet
Définition de l'état initial	Définition de l'état initial sur le plan social, économique et culturel
Milieu physique : géologie, pédologie, eaux de surface ; hydrogéologie ; air, bruit ; paysage ;	Études socio-économiques basées sur les données existantes du secteur ;
Milieu biologique : Inventaires faune - flore et études spécifiques adaptées au contexte du projet comme par exemple l'ichtyologie, herpétologie, ornithologie... ;	Enquêtes de terrain auprès des populations concernées par le projet portant sur leur niveau et conditions de vie (incluant, revenus, santé, éducation, logement, transport, loisirs, utilisation des sols, culture, coutumes)
	Discussions et rencontres avec des représentants des populations concernées, des autorités locales, des professionnels de la santé, de l'éducation et du développement économique et culturel local
Évaluation des impacts	Évaluation des impacts
Utilisation de référentiels d'évaluation reconnus (Réglementation Française, <i>SFI, Principes de l'Équateur</i> ¹⁰);	Utilisation de référentiels d'évaluation reconnus (<i>SFI, Principes de l'Équateur</i> ¹¹);
Identification et cotation des impacts négatifs et positifs du projet au cours des différentes phases (construction, exploitation, fermeture et réhabilitation).	Identification et cotation des impacts négatifs et positifs du projet au cours des différentes phases (construction, exploitation, fermeture et réhabilitation).
Plan de Gestion Environnementale(PGE)	Plan de Gestion Sociale (PGS)
Définition de mesures d'évitement d'atténuation et de compensation ;	Définition de mesures d'évitement d'atténuation et de compensation ;
Mise en place d'un programme de suivi environnemental	Mise en place d'un programme de suivi social ;
Planification de la fermeture	

Infrastructures associées

Les exploitations minières consomment de l'eau, et de l'énergie, et de plus les produits extraits ainsi que les approvisionnements divers nécessitent d'être transportés. Ces besoins varient

¹⁰ Voir Tome 9

¹¹ Voir Tome 9

grandement suivant les projets en fonction de la nature des minerais de la capacité de production, et des techniques utilisées pour l'extraction et le traitement du minerai. Il est certains cas où c'est l'accessibilité aux infrastructures qui conditionne l'économie du projet minier (ex. enjeu énergétique majeur dans certaines zones isolées telles qu'en Guyane (Cf. Tome 8) ; nécessité d'infrastructures de transport et portuaires pour les minerais à faible ratio valeur/volume tels le fer et la bauxite).

L'infrastructure globale d'un projet minier ne se limite donc pas seulement aux installations liées aux opérations d'excavation (la mine elle-même), à l'usine de traitement et à la gestion des résidus miniers et des stériles. L'infrastructure globale peut également inclure, en fonction de la nécessité du projet, une centrale de production d'énergie, des barrages de rétention d'eau ou systèmes de canalisation ou usine de désalinisation, des infrastructures de transport (route ou rail ou port). A cela peuvent s'ajouter en fonction des besoins des installations annexes comme par exemple une carrière et/ou une usine produisant et/ou préparant des matériaux destinés à combler les vides miniers (pour le remblayage éventuel de mines souterraines), ou une carrière de calcaire pour neutraliser les résidus acides.

Ces installations, regroupées pour les besoins de ce rapport sous l'appellation « infrastructures associées » entrent dans le cadre des études d'ingénierie réalisées lors des études de pré faisabilité et de faisabilité, et des études d'impact social et environnemental. Elles sont prises en compte dans le calcul des besoins en capitaux et dans les coûts de production du projet.

Evaluation économique globale

La viabilité d'un projet minier se mesure par un certains nombres d'indicateurs, parmi lesquels les indicateurs financiers sont prédominants. Ces indicateurs sont calculés à partir des résultats des études entreprises pour chacune des disciplines décrites ci-dessus concernant les aspects de techniques d'exploitation minière, de procédés de traitement, de gestion des eaux, des stériles et des résidus, de fermeture et sur les aspects environnementaux et sociaux, ainsi que sur les infrastructures associées. L'approche intégrée de ces disciplines aboutit à un compromis de techniques, méthodes et procédés qui fournissent quatre ensembles de variables, à savoir :

- La capacité de production des installations et équipements sélectionnés. Un profil de production global est élaboré comprenant la production de minerai tout venant (avant traitement) et de produits finis (et s'il y a lieu, de coproduits) prêts à la vente (après traitement) répartie sur la durée de vie de l'opération minière (mensuellement, trimestriellement ou annuellement) ;
- Les dépenses d'investissement initial en capital (CAPEX initial ou « *initial capital expenditures* » en anglais) représentant les dépenses qu'il sera nécessaire d'engager pour construire les installations et se procurer les équipements (Figure 2). Ces dépenses sont engagées pendant la phase de construction, avant le démarrage de l'opération ;
- Les dépenses opératoires (OPEX ou « *operating expenditures* » en anglais) que sont les dépenses requises pour extraire et traiter le (ou les) produits valorisés (Figure 2). Ces dépenses sont réparties sur la durée de vie de l'exploitation ;
- Les dépenses de maintenance des installations et équipements pendant la production (ex. entretien, contrôle, renouvellement, remise aux normes) ;
- les dépenses de fermeture et de réhabilitation de la mine (Figure 2).

DÉPENSES D'INVESTISSEMENT INITIAL EN CAPITAL (CAPEX INITIAL)	DÉPENSES OPÉRATOIRES (OPEX)	DÉPENSES DE MAINTENANCE DÉPENSES DE FERMETURE ET DE RÉHABILITATION	AUTRES DÉPENSES
* Dépenses initiales avant mise en production incluant : - Etudes d'ingénierie de détail et autres études complémentaires à l'étude de faisabilité - Construction de la mine et de l'usine de traitement incluant installation et équipements - Construction des installations de gestion des résidus miniers et stériles - Construction de l'infrastructure associée - Provision pour imprévus de 8 à 15% * Ordre de grandeurs : 10 M€ à plus de 1 000 M€ sur une période de construction de 2 à 3 ans	* Dépenses relatives au fonctionnement de la mine, usine de traitement, installations de gestion des eaux, stériles et résidus miniers et infrastructure associée * Incluent: - Main d'oeuvre - Energie, eau - Réactifs et autres matières premières nécessaires à la production - Frais administratifs et généraux	* Dépenses nécessaires au maintien des installations et équipements (ex. entretien, contrôle, renouvellement, remise aux normes, etc.) * Dépenses relatives à la fermeture et à la réhabilitation, ainsi qu'à la gestion environnementale et sociale	* Frais de financement * Fiscalité * Besoins en fond de roulement

Figure 2 : Les différentes dépenses relatives à un projet minier.

À partir d'un profil de production et prenant en compte les dépenses d'investissement initial en capital, les dépenses opératoire, les dépenses de maintenance et de fermeture réparties sur la durée de vie du projet minier, il est possible d'établir un calendrier des flux de trésoreries (cash-flow, Figure 3). C'est à ce stade que sont introduites les hypothèses de cours des matières premières sur la durée de l'exploitation, les paramètres fiscaux (taxes, redevances), et – mais pas systématiquement – les paramètres de financement (taux d'intérêts) et autres paramètres macroéconomiques (taux d'actualisation). Les cash-flows mesurent la différence entre les entrées de trésorerie (i.e. les revenus apportés par la production multipliée par le prix de vente) et les sorties (incluant les dépenses d'investissement avant le démarrage + les dépenses opératoires, de maintenance et de fermeture, pendant l'exploitation, Figure 4). Il s'agit de flux de trésorerie prévisionnels basés sur un profil de production et des coûts anticipés.

Les indicateurs financiers les plus utilisés dans les études de développement de projet minier pour comparer différents scénarios sont la valeur actuelle nette (VAN¹²), le taux de rentabilité interne (TRI¹³) et le délai de récupération (Figure 4). La VAN résulte d'une actualisation des flux de trésorerie anticipés sur la durée de vie du projet A l'issue de chacune des études de

¹² La Valeur Actuelle Nette (VAN) d'un projet minier correspond à la somme des flux de trésorerie « actualisés » sur la vie du projet. « Actualisés » signifie qu'un taux (« taux d'actualisation ») a été appliqué à ces flux pour prendre en compte un des principes fondamentaux de la finance : la valeur temps de l'argent (« un euro aujourd'hui ne vaut pas un euro demain »).

¹³ Le Taux de Rentabilité Interne (TRI) correspond au taux d'actualisation qui donnerait une VAN nulle. Le délai de récupération est le temps nécessaire pour que les flux de trésorerie prévisionnels dégagés rentabilisent le coût d'investissement en capital initial. Il peut être calculé : soit « simple », sans que les flux soient corrigés pour tenir compte de la valeur temps de l'argent; soit, en actualisant les flux de trésorerie. On parle alors de « délai de récupération actualisé »

développement les scénarios a priori privilégiés seront ceux qui afficheront les VAN et TRI les plus élevés avec des délais de récupération les plus faibles. Il est essentiel que le projet dégage des marges suffisantes le mettant à l'abri des aléas, et permettant de rembourser prêteurs et investisseurs en tenant compte des risques encourus. L'étude de faisabilité finale délivrera un seul scénario avec des dépenses d'investissement en capital initial, des dépenses opératoires, de maintenance et de fermeture estimées à moins de 15% près.

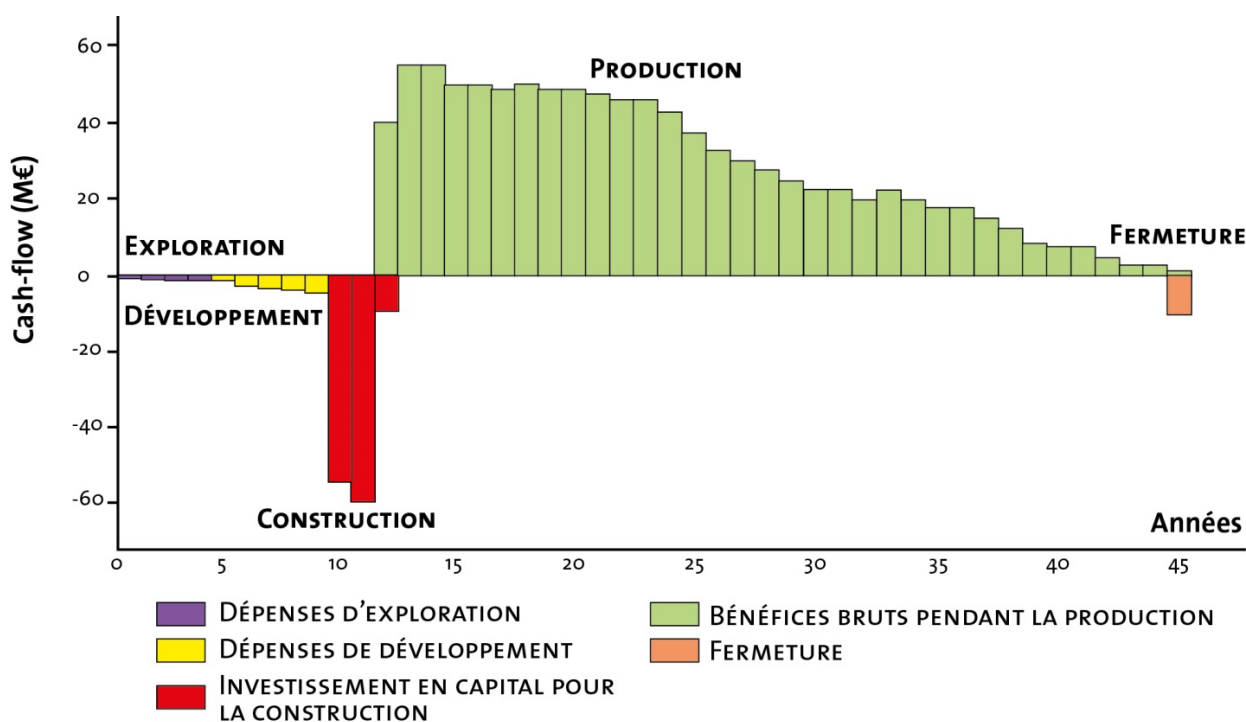


Figure 3 : Exemples de distribution des flux de trésorerie sur la vie d'un projet minier (adapté de cas réels).

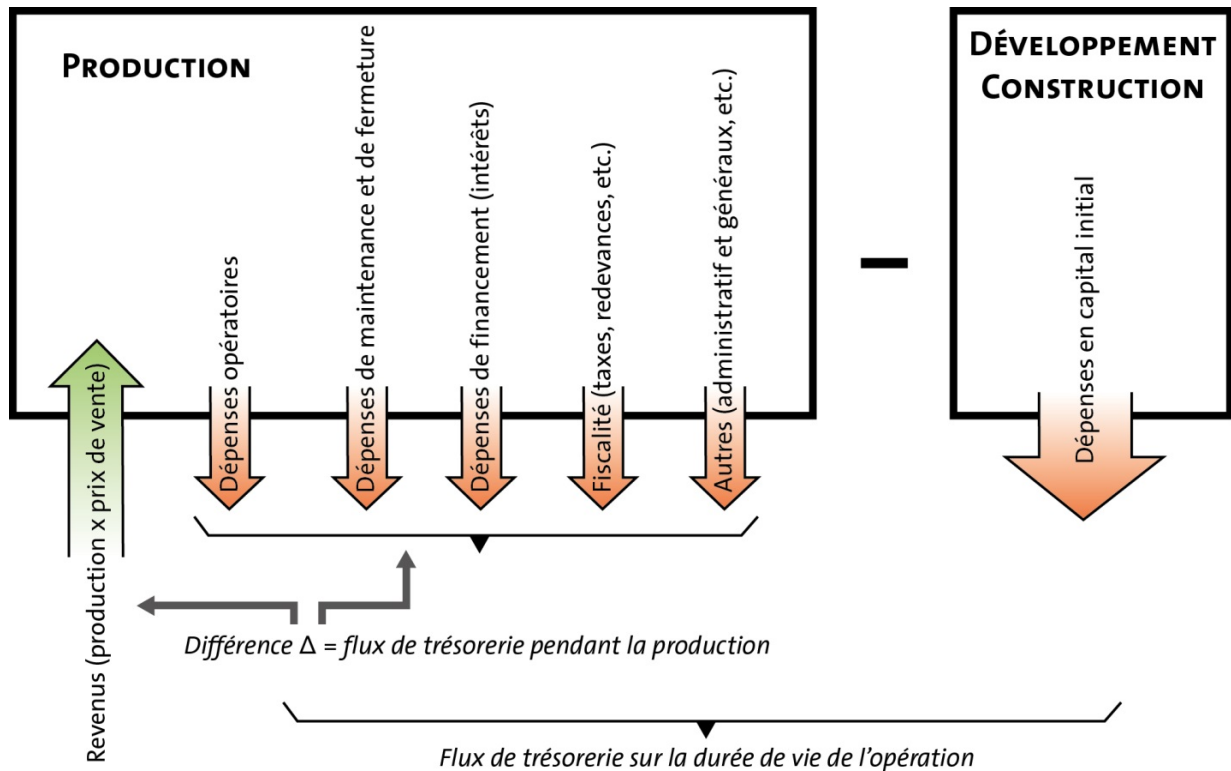


Figure 4 : Schéma de calcul de flux de trésorerie pendant la production et sur la vie de la mine.

2.2. CONSTRUCTION

Les impératifs

Lorsque les études de développement sont parvenues à démontrer la viabilité d'un projet minier, les compagnies minières peuvent prendre la décision de s'engager dans la phase d'ingénierie détaillée et de construction. Cette phase est marquée par des exigences et des accroissements de presque tous les ordres de grandeur conduisant à des activités sur de multiples fronts :

- L'octroi d'une concession minière délivré par le ministère en charge des mines (titre d'exploitation régi par le Code minier) et les autorisations réglementaires préfectorales d'ouverture de chantier de construction sont un pré requis avant le démarrage d'un chantier minier. La réglementation en vigueur pour la construction et future mise en exploitation d'une mine apporte un ensemble très détaillé de réglementations et de prescriptions. Les processus de demande de concession et d'autorisation de travaux comportent de multiples étapes et fait participer de nombreux acteurs (ministre des mines, préfet, D@EAL, maires, etc.). Les dossiers de demande comprennent des documents financiers, techniques et environnementaux (notamment une Etude d'Impact Environnemental). Ces procédures, plus longues et plus complexes que pour une demande de Permis Exclusif de Recherches peuvent prendre plusieurs années.
- Le montage financier doit être abouti. Il est question d'investir quelques dizaines de millions dans un schéma de petite mine à plus d'un milliard d'euros pour les grandes exploitations ce qui nécessite une recherche de financement faisant appel à des

montages complexes provenant de multiples sources (voir ci-dessous). Au regard de ces enjeux financiers et dans l'attente des premiers revenus de production, une pression s'exerce pour minimiser le temps de construction (ordre de grandeur ± 2 ans mais peut durer plus longtemps par exemple pour des projets en site éloigné)

- 100% des études d'ingénierie doivent être achevées, ce qui nécessite des études complémentaires d'ingénierie de détail en bureau d'étude (« *Front End Engineering Design* » et « *Detailed Engineering* ») qui peuvent prendre une année supplémentaire
- La commande de matériel et des équipements ainsi que la construction des installations et des infrastructures doivent s'exécuter suivant un cahier des charges techniques précis, dans le respect des coûts et des délais impartis et suivant les contraintes environnementales et sociales conceptualisées en phase d'étude. A cette fin les compagnies minières engagent des entreprises spécialisées dans la construction d'installations industrielles disposant d'expériences dans le secteur minier et de compétences en génie civil, génie des procédés etc., ainsi que de compétences dans l'établissement de cahiers de charges de travaux et de procédures d'exécution.

Installations, infrastructure et équipements

Construire un projet minier consiste à commander de multiples équipements et matériels, préparer le site (défrichage, terrassement, débiter la découverture) et à ériger plusieurs ensembles d'installations et infrastructures.

Typiquement :

- La mine est associée à des installations qui comprennent les ouvrages reliés aux sites d'excavation (puits et galeries dans le cas d'une mine souterraine, fosse dans le cas d'une mine à ciel ouvert, réseau de forages et conduits dans le cas d'une opération de lixiviation ou de dissolution *in situ*). Est également compris un ensemble d'installations de support incluant, s'il y a lieu, systèmes de ventilation, systèmes de sécurité, installations de remblayage, local à explosif, poste de contrôle, garage, magasin, ateliers, hangars de stockage, installations d'approvisionnement en carburant, bureaux, etc... Un parc d'équipement minier comprend l'ensemble du matériel roulant qui varie en fonction de la méthode d'exploitation choisie (ex. pour les plus courants, pelles, chargeuses, bulldozers, camions, niveleuses, arroseuses, etc.), auquel s'ajoutent des équipements de développement (foreuses, jumbos de foration, boulonneuses, ventilateurs et gaines pour l'aérage dans les mines souterraines, etc.) ;
- Les infrastructures d'usine de traitement se composent de plusieurs unités en chaînes allant des installations de concassage, broyage, et séparation granulométrique, aux usines de traitement stricto sensu (concentration, métallurgie, fonderie, etc.), ainsi que des installations de support comprenant bâtiments de manutention et d'entreposage, de contrôle, etc. Ces infrastructures sont reliées aux installations de gestion des résidus miniers et stériles et aux systèmes de gestion des eaux et de traitement des eaux usées et de déchets
- L'infrastructure globale d'une opération minière inclut les voies d'accès au site (généralement conçues pour permettre le passage de camions de grande taille), les routes de chantier, les aires de stationnement et d'entreposage, voire dans certains cas, voie ferrée ou installations portuaires. Les voies d'accès sont conçues pour permettre le passage de camions de grande taille

- À cela s'ajoute les installations associées telles que l'infrastructure énergétique, barrages, etc.

Durant la phase de construction, la majeure partie des matériaux extraits se compose de stériles. Certains chantiers donnent lieu à une extraction préliminaire de minerai qui sera soit stocké pour être traité ultérieurement ou utilisé lors d'essais des installations de manutention et de traitement du minerai (Figure 5).



Figure 5 : Projet minier Hemerdon en construction (avril 2015). Vue sur l'usine de traitement. Mine d'étain-tungstène développée par Wolf Minerals Ltd. en Cornouaille au Royaume-Uni (active depuis septembre 2015).

2.3. FINANCEMENT

Les phases de développement et de construction représentent une période risquée pour les investisseurs, car seules des dépenses sont engendrées sans certitude absolue de mise en exploitation, et donc de possibles revenus et retour sur investissement. Schématiquement la valeur financière d'un projet augmente en fonction de son état d'avancement, au fur et à mesure que sa viabilité se démontre, et que les paramètres technico-économiques sont précisés (Figure 6). Un résultat positif d'étude crée une mise en confiance des investisseurs qui acceptent d'investir d'avantage, voyant les incertitudes liées au projet diminuer. En période de construction, cette confiance peut retomber, au regard des montants en jeu et, s'il y a lieu, des risques de surcoût, de retard et de mauvaise performance par rapport à ce qui avait été prévu par les études de développement (Figure 6). L'attrait du projet pour les investisseurs dépend également de la délivrance du titre d'exploitation (régi par le code minier) et des autorisations de construction. La recherche de financement fait partie du cycle de développement d'un projet minier et nécessite d'être prise en compte dans le calendrier de développement.

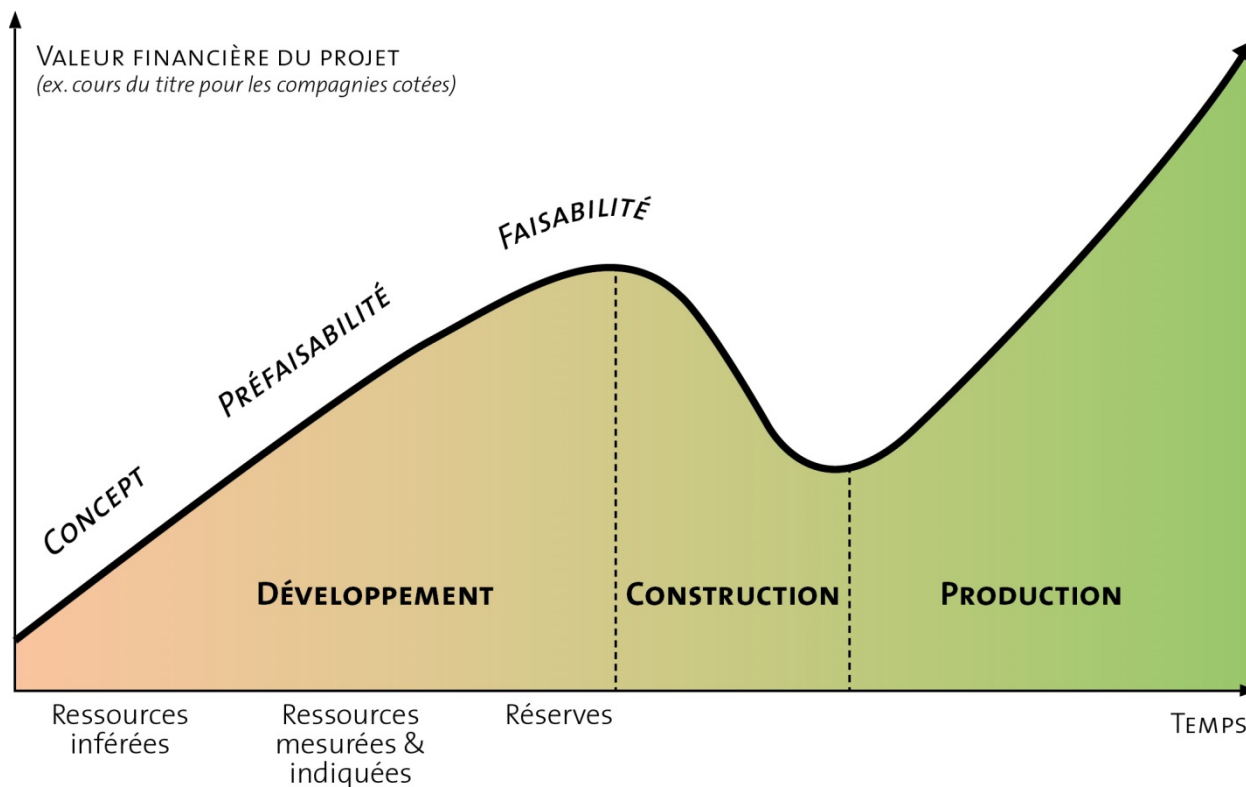


Figure 6 : Modèle d'évolution de la valeur d'un projet minier au cours de son cycle de vie. Pour les cas de compagnies cotées en bourse un exemple d'indicateur de valeur est le cours du titre. Ce modèle d'évolution reflète typiquement l'appréhension des risques financiers sur un projet minier. Dans la réalité les évolutions sont généralement plus complexes notamment parce que soumises aux fluctuations macroéconomiques (le marché minier est un marché volatil). De plus, rares sont les cas de compagnies minières présentes sur l'ensemble du cycle du projet et qui n'ont qu'un seul projet en portefeuille.

Les compagnies minières financent généralement les études de développement sur leurs fonds propres. Les investissements globalement requis pour parvenir à une étude de faisabilité finale sont de l'ordre de 1 à 2% des CAPEX nécessaires en cas de construction. Ces fonds peuvent provenir de capitaux privés et/ou du marché public (bourse). Les levées de fond ont généralement lieu à l'échéance de chaque phase de développement, à l'annonce de résultats positifs (s'il y a lieu). Les investisseurs ont des profils variés incluant investisseurs privés, potentiels futurs fournisseurs (d'équipements ou services) ou clients intéressés par acheter une partie de la production (*offtaker*), sociétés de capital-risque, investisseurs institutionnels (banques, compagnies d'assurance ou fonds de pension) ou sociétés d'État.

Il arrive souvent que les compagnies minières présentes depuis le début du projet n'aient plus la capacité technique et financière de poursuivre le développement au regard des défis et des dépenses croissants. Il se peut également que, dès le départ, « construire » et « produire » ne soient pas inscrits dans leur stratégie (c'est le cas de nombreuses compagnies dites « juniors »). C'est pourquoi il est fréquent de voir ces compagnies signer des contrats d'option voire directement s'associer (*joint-venture*) ou même totalement céder leur projet à d'autres compagnies minières ayant une plus grande capacité financière et expérience dans la mise en production.

La phase de construction nécessite des investissements beaucoup plus conséquents que les phases d'études de développement. Les ordres de grandeur d'investissement pour la construction varient de quelques dizaines de millions d'euros à plus d'1 milliard d'euros suivant la taille des projets. Les compagnies minières sont donc généralement contraintes de diversifier

leurs sources de financement. Au moment de la construction les dépenses et profils de cash-flow au cours de la vie du projet ayant été déterminés, il devient possible de créer un plan de financement basé sur les futurs flux de trésorerie. C'est pourquoi les compagnies minières peuvent faire appel à des montages financiers plus complexes faisant souvent intervenir diverses institutions financières (banques commerciales, agences multilatérales, banques de développement, agences crédit export) pour un financement par dette. En priorité par rapport à leurs investisseurs, les compagnies minières sont alors contraintes aux exigences du service de la dette qui nécessitent une marge opérationnelle suffisamment confortable pour le couvrir (ce qui se traduit en terme financier par un taux de recouvrement de la dette élevé).

L'intervention de ces institutions financières dans les financements de projet minier impose des exigences de durabilité environnementale et sociale pour les compagnies minières responsables de l'exécution et de l'exploitation du projet financé. La plupart des institutions financières sont signataires des Principes de l'Equateur qui servent de référentiel pour l'identification, l'évaluation et la gestion des risques sociaux et environnementaux pour les opérations de financement de projet. Ces Principes s'appuient sur les Normes de performance en matière de durabilité environnementale et sociale de la Société Financière Internationale (SFI).

3. Impacts

3.1. IMPACTS PENDANT LES PHASES D'ETUDES DE DEVELOPPEMENT

Les activités lors des études de développement se déroulent majoritairement dans les laboratoires et bureaux d'étude. Elles requièrent au préalable des travaux de terrain qui s'apparentent par leur nature aux activités décrites dans le Tome 4 relatif à l'exploration minière : sondages, prélèvements, exécutés à des fins géologiques, ainsi que géotechniques, hydrogéologiques et de délimitation de gisement (stérilisation), et relevés topographiques. S'ajoutent des programmes d'échantillonnage environnemental et des enquêtes socio-économiques.

Les travaux de développement s'inscrivent dans le cadre d'un Permis Exclusif de Recherches (délivré par le ministre chargé des mines et régi par le Code minier). L'octroi de ce permis n'est cependant pas suffisant pour permettre le commencement des travaux de développement. En effet, selon leur importance ceux-ci requièrent une autorisation préfectorale. Ces travaux sont ensuite soumis à la surveillance du préfet qui exerce une fonction de « police des mines ». Le développeur doit régulièrement rendre des comptes au préfet et le prévenir en cas d'incident. La suspension de travaux peut être ordonnée en cas de péril imminent. (Cf. Tome 2).

Les impacts environnementaux

Les impacts environnementaux pendant les phases de développement sont de même nature que ceux décrits dans le Tome 4. Si les travaux de développement (forage, tranchée, etc.) se concentrent sur des surfaces réduites par rapport aux surfaces d'exploration initiales (1-10 km²), ils se densifient. Les besoins associés, en eau, carburant, voies d'accès, main d'œuvre (et donc logements et bureaux) augmentent en parallèle. Alors que pour définir une ressource au stade exploratoire un maillage large suffit, le maillage se réduit au fur et à mesure de l'avancée des études de développement. Le métrage de forage augmente communément d'un ordre de grandeur, de même que le kilométrage de pistes et le nombre de plateformes à construire. A noter que suivant les projets, les travaux de forages peuvent être complétés par de petits travaux d'excavation en surface ou en souterrain, associés à des aires de stockage. Ces travaux occasionnent une emprise au sol plus large qu'un trou de forage (> 100 m²) et peuvent exposer en surface des roches à potentiel de drainage acide ou contenant des éléments contaminants pouvant être mis en solution.

Lors d'une étude de faisabilité, l'espace naturel initial tend donc de plus en plus vers un espace occupé par des activités industrielles. L'usage et l'accès aux ressources initiales de la zone du projet (ex. agriculture, forêt, zone de pêche, de chasse, etc.) ne pourra plus se poursuivre tel qu'avant le stade de développement minier. Suivant les cas cette mutation a lieu dès l'étape d'étude de préfaisabilité.

Le nombre d'intervenants sur le projet augmente également puisqu'en plus des géologues et foreurs présents en phase d'exploration, les compagnies minières font appel à d'autres compétences (topographie, géotechnique, hydrogéologie, mine, métallurgie, environnement, social) mobilisant des ingénieurs et experts sur le site. Le nombre d'intervenants et de visites peut ainsi facilement être multiplié par 10. Même si toutes ces expertises ne sont pas nécessairement effectuées au même moment sur le terrain et que leur durée est limitée dans le temps (souvent quelques semaines, le reste des activités se poursuivant en bureau), le rythme

de travail sur le site passe peu à peu d'un état intermittent, mobile et transitoire, à une présence permanente qui perdurera sur le long terme en cas de décision de construction.

Les impacts socio-économiques

Il existe une dimension nouvelle majeure propre à la période de développement par rapport aux phases d'exploration : à partir de l'étude de pré faisabilité les compagnies minières commencent à posséder suffisamment d'éléments pour être en mesure de discuter de la continuité de projet. En stade de faisabilité, la viabilité de l'opération d'extraction est démontrée. L'impact psychologique sur les populations concernées peut donc devenir important dans ces phases car leur environnement va sensiblement être transformé pendant la construction et la production. Les différentes parties prenantes peuvent avoir des intérêts, des points de vue et des priorités divergentes sur le projet, voire parfois conflictuels. Il conviendra d'analyser et prendre en compte ces divergences le plus en amont possible afin de développer un projet intégré, socialement robuste.

3.2. IMPACTS PENDANT LA PHASE DE CONSTRUCTION

La phase de construction est soumise à forte régulation sur les aspects de protection environnementale car les chantiers ne peuvent débuter que lorsque toutes les autorisations réglementaires ont été obtenues. La construction d'une mine requiert de la part des compagnies minières des demandes de titres d'exploitation régi par le Code Minier et délivré par le ministre en charge des Mines) et d'autorisation d'ouverture des travaux de construction auprès des préfets concernés. Les chantiers de construction sont ensuite soumis à la surveillance des services de l'Etat en charge de la police des mines. L'octroi d'une concession et les autorisations de démarrage de travaux de construction répondent à un processus de demandes plus long, plus complexe et plus exigeant que pour les demandes d'autorisations réglementaires propres aux phases de développement.

Les impacts environnementaux

La période de construction occasionne d'importantes répercussions environnementales qui ont trait à l'air, aux sols et écosystèmes terrestres, à l'eau et écosystèmes aquatiques, ainsi qu'à l'impact visuel sur le paysage et au bruit. Ces incidences sont induites par les activités de préparation du site (défrichage, découverture, terrassement) et de construction des infrastructures (route, pistes, etc.) et des installations (puits pour les mines souterraines, bâtiments, usine, systèmes de captage des eaux, etc.) qui vont occuper un espace s'étendant au-delà de l'emprise du gisement lui-même. Le tableau ci-dessous (Tableau 2) résume les principales incidences de ces activités sur l'air, l'eau et l'écosystème aquatique, le sol et l'écosystème terrestre pendant les activités de construction.

Tableau 2 : Source et nature des préoccupations potentielles pendant la phase de construction sur les aspects environnementaux. Un des objectifs des études environnementales réalisées dès les phases les plus amont de développement est d'éviter – si possible – et réduire au maximum les nuisances et impacts.

Source des préoccupations potentielles	Nature des préoccupations potentielles		
	Atmosphère	Eau, écosystème aquatique	Sol, écosystème terrestre
Utilisation des véhicules et engins de construction	Gaz d'échappement	Rejets huiles, solvants, détergents, substances nocives susceptibles d'affecter la qualité des eaux de surface	Rejets de produits pétroliers, substances chimiques avec possibles effets nocifs sur les sols, la végétation et les animaux
	Poussières		
Préparation du site (défrichage, découverte, terrassement)			Collision avec les animaux
			Erosion accélérée causée par le défrichage et découverte avec comme conséquences possibles une dégradation des eaux de surface et la destruction des habitats naturels
	Poussières	Poussières pouvant induire une augmentation de la concentration de solides en suspension dans les eaux de surface	Réduction de l'espace naturel avec perturbation des habitats et impact sur la biodiversité
Construction des infrastructures et installations		Poussières pouvant induire une augmentation de la concentration de solides en suspension dans les eaux de surface.	Erosion accélérée causée par les activités de terrassement avec comme conséquences possibles une dégradation des eaux de surface et la destruction des habitats naturels
	Poussières		
	Dégazage et onde aérienne dus aux tirs	Drainage acide en cas d'affleurement de minéraux sulfurés ou en cas d'utilisation de matériaux sulfurés pour la construction	Réduction de l'espace naturel avec perturbation des habitats et impact sur la biodiversité
		Perturbation des écosystèmes aquatiques par le franchissement de voie d'eau et déversement de polluants	Déversements de polluants
		Perturbation du régime hydrique par le captage d'eau et la modification des régimes d'écoulements	Vibrations dues aux tirs

D'après « Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux/Directives, Objectifs, Codes de pratiques /Environnement Canada/Gouvernement du Canada ». <https://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/codes/mm/mm-fra.pdf>.

Les impacts socio-économiques

L'équilibre social, économique et culturel peut également être significativement impacté pendant la construction. L'espace initial naturel laisse place à une activité industrielle, qui perdurera sur le long terme. Le cadre et mode de vie des riverains se situant sur ou à proximité immédiate de la nouvelle zone industrielle risque de subir des changements significatifs, incluant des délocalisations. Une des spécificités du secteur minier est que la localisation de la ressource minérale est imposée par la géologie. Si la localisation des installations de surfaces relatives au traitement du minerai, à la gestion des stériles et résidus et des autres infrastructures peut se concevoir avec une certaine flexibilité, le champ des possibilités est considérablement restreint pour les installations minières elles-mêmes portant sur l'extraction de la ressource (c'est en particulier le cas pour les chantiers à ciel ouvert).

Par ailleurs la période de construction voit affluer sur le site de nombreux intervenants (ouvriers, techniciens, ingénieurs, consultants) dont le nombre peut facilement augmenter d'un ordre de grandeur par rapport aux périodes de développement. Il est fréquent que leur nombre soit nettement supérieur à celui du personnel requis en phase d'exploitation. De par leur spécialisation, une grande part de ces intervenants vient de régions extérieures à la zone du projet (d'origine nationale et internationale). Ces travailleurs sont présents sur le terrain sur des durées plus longues, pendant la durée du chantier qui peut prendre quelques années et prendront part, au moins partiellement, à l'activité économique, sociale et culturelle de la région.

4. Solutions envisagées et bonnes pratiques

4.1. RAPPEL DU CADRE REGLEMENTAIRE

Un projet minier doit répondre aux exigences conjointes du code minier et du code de l'environnement pour la partie relevant des travaux.

Les travaux nécessaires à la réalisation des études de développement sont entrepris dans le cadre d'un Permis Exclusifs de Recherche (PER) délivré par le ministère chargé des mines et régis par le code minier. Ce titre minier est attribué dès le démarrage de la phase d'exploration, il est valable 5 ans, et peut être renouvelé deux fois pour une durée maximum de 5 ans. La conduite des travaux miniers de terrain (forage, excavation, voie d'accès etc...) nécessite d'effectuer des demandes d'ouverture de travaux soumis à déclaration ou à autorisation auprès des préfectures concernées en charge de l'instruction de ces procédures ainsi que de la police des mines.

Pour passer à l'étape de construction puis d'exploitation, les compagnies minières doivent procéder à une demande d'un titre d'exploitation auprès du ministre chargé des mines. Il est valable sur une durée maximale de 50 ans, reconductible par périodes de 25 ans au plus. Les travaux de construction de la mine sont également soumis à une procédure distincte relevant de l'autorisation préfectorale. Le projet est alors examiné par les préfectures concernées dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation d'ouverture des travaux miniers et sera soumis à une étude d'impact ainsi qu'à une enquête publique.

Ces processus de demande de titre minier et d'autorisation de travaux font participer de nombreux acteurs (ministère chargé des mines, préfectures, D@EAL, mairies, CGEJET) et exigent la constitution de dossiers multidisciplinaires portant à la fois sur les aspects techniques, financiers et environnementaux. La viabilité technico-économique du projet dans son contexte environnemental doit pouvoir être démontrée et ce pour toute la durée de l'exploitation jusqu'à l'après-mine.

Les phases de développement et de construction sont cruciales au cours du cycle de vie de la mine. C'est en effet lors de celles-ci que se précisent et mettent en place les plans de gestion environnementale et sociale qui seront ensuite appliqués durant la phase d'exploitation, ainsi qu'au moment de la fermeture et au cours de l'après mine. Le défi est surtout de planifier dans le détail, de prendre en compte les dépenses nécessaires, de mettre en place les installations et procédures dans les délais et coûts impartis, et de gagner l'acceptation et l'approbation des parties-prenantes.

La cadre d'une « mine responsable » doit s'inscrire en complémentarité et traiter des champs qui échappent à la législation (minière, environnementale, du travail, etc.) comme par exemple les relations avec les parties-prenantes.

4.2. PREREQUIS

L'application de bonnes pratiques est soumise à quelques prérequis généraux qui sont mentionnés dans cette section.

Conformité avec les standards, et référence aux meilleurs guides de bonnes pratiques existants

Dans le cas d'un développement minier « responsable » les compagnies appliqueront les méthodes et pratiques en conformité avec les meilleurs standards et en se référant aux meilleurs guides de bonne conduite.

Parmi les standards internationaux et guides de bonnes pratiques les plus utilisés et à jour peuvent être cités (Cf. Tome 9) :

- les *Principes de l'Équateur* ;
- les *Normes de performance* de la Société Financière Internationale (SFI) ;
- les Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires de la Banque Mondiale ;
- ainsi que les guides de bonnes pratiques émis par le *Conseil International des Mines et Métaux* (ICMM), le *guide e3Plus* publié par l'Association des Prospecteurs et Développeurs du Canada (PDAC), les recommandations du Chatham House, les documents de référence initiés par la Commission Européenne (notamment sur techniques disponibles de Gestion des résidus et stériles), Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA), les lignes directrices dictées par le Gouvernement du Queensland (Australie) pour établir un Plan de Gestion des Impacts Sociaux.

Ces standards et guides sont dictés pour être applicables à toute industrie minière dans un contexte international et généralement ciblés pour les territoires en développement. Il est sous-entendu que les compagnies minières « responsables » adaptent leur conduite et leurs études de développement au contexte social, culturel, spécifique à la zone où se situe le projet sur le territoire français, et en fonction de son état d'avancement et de l'étendue de la zone impactée.

Personnel et intervenants « responsables »

Prôner une mine « responsable » nécessite au préalable de s'assurer que, dès les études de développement, non seulement la compagnie minière possède une stratégie responsable et conforme aux bonnes références, avec un personnel formé et sensibilisé aux bonnes pratiques, mais également que les sociétés et consultants contractés adhèrent à une démarche similaire. Il en est de même au sujet des sources de financement : les projets miniers « responsables » devront être uniquement soutenus par des investisseurs et financiers possédant une politique de gestion durable.

Prendre en compte les possibles changements de responsabilité

Une difficulté supplémentaire émerge lorsqu'est prise en compte la possibilité de multiples changements de responsabilités au sein du projet minier (changement de propriétaire, de direction, etc.) au cours de sa durée de vie. Les responsabilités, notamment celles portant sur les aspects sociaux et environnementaux peuvent changer de 5 à 10 fois. Il existe donc un risque que les efforts de gestion environnementale et sociale varient en fonction de la personnalité du responsable en fonction. Dans ce contexte, il importera que les engagements « responsables », définis aux étapes de développement, se transmettent en cas de changement de responsabilité, voir se renforcent.

Dépasser la logique financière

Les dépenses de fermeture et de réhabilitation peuvent être significatives (plusieurs dizaines de millions d'euros) mais parce qu'elles ont lieu en fin d'exploitation (horizon ± 10 ans voire plus), elles ont un effet très limité sur les indicateurs financiers VAN ou le TRI généralement utilisés dans les estimations de viabilité de projet. Sans incitation à provisionner ces coûts en début d'opération, les VAN et TRI sont peu sensibles aux dépenses en fin de vie de mine. Il importera donc que, dans un cadre de projet minier « responsable », les études de faisabilité décrivent et budgètent dans le détail les plans de fermeture et de réhabilitation, et ce, de concert avec les parties prenantes. L'élaboration de ces plans, avant même la construction du projet, n'empêchera pas l'exploitant minier de proposer, en cours ou en fin d'exploitation, des solutions de réhabilitation encore plus performantes.

Cette approche financière incite également à démarrer la production à partir des zones les plus riches et les plus proches de la surface, puis à progresser vers des zones plus profondes et/ou plus pauvres. Cela permet lors des premières années d'engendrer un maximum de revenu avec un minimum de dépenses opératoires (autrement dit une marge opérationnelle élevée). Cette stratégie relève de l'actualisation (utilisation des critères VAN et TRI) et également du plan de financement. Dans le cas d'un financement par dette, les exigences du service de la dette nécessitent en effet que la marge opérationnelle soit suffisamment confortable pour le couvrir. Suivant cette approche il y a un risque pour les compagnies minières de devoir laisser en place une partie des ressources dans le but de maximiser les indicateurs VAN, TRI et taux de recouvrement du service de la dette à l'échelle de la vie du projet. Ce risque renvoie à la notion de gaspillage des ressources. A cela s'ajoute une autre conséquence potentielle propre à la période de production : l'écémage. L'appellation écémage est mentionnée lorsque des ressources incluses dans l'optimisation à long-terme du gisement (celles qui maximisent la VAN) sont gaspillées (non exploitées) en vue de maximiser un résultat comptable à court-terme (le résultat de l'année par exemple).

En faisant référence aux concepts de développement durable (ressources naturelles non renouvelable, soutenabilité à long terme, etc.) une compagnie minière « responsable » ne se limitera pas à optimiser les indicateurs financiers, mais établira également une stratégie dans un but de maximiser, la production de métal à partir d'un gisement donné ou la durée de vie du projet. Une compagnie minière pourrait, par exemple ne pas viser systématiquement une optimisation du TRI, mais définir un objectif de TRI, et, une fois atteint cet objectif, s'efforcer d'augmenter la durée de vie du projet en exploitant plus de ressources.

Au premier regard ce sujet pourrait prêter à controverse auprès des compagnies minières et de leurs investisseurs. Cependant une telle stratégie peut également apporter bénéfices pour ces acteurs en considérant le raisonnement suivant :

- Il n'y aura pas forcément d'autre gisement pour prendre le relai de celui qui est en train d'être épuisé ;
- La viabilité du projet final pourrait être bien supérieure si des extensions du gisement sont mises en valeur et si les installations et infrastructures construites sont exploitées non pas pendant 10 ans, mais pendant 20 ou 30 ans ;
- Augmenter la durée de vie du projet offre plus de temps pour explorer et mettre en valeur de nouvelles extensions de gisement avant de quitter le site sur lequel des dépenses ont été investies.

Inscription dans la durée

Parce qu'en phase de développement il est désormais possible d'anticiper la poursuite d'un projet minier vers la construction et l'exploitation, les compagnies minières « responsable » inscriront leur stratégie de développement dans la durée. Cela se manifestera par un renforcement des mesures visant à :

- Etudier le potentiel de prolongation du projet au-delà du calendrier établi dans l'étude de faisabilité. Il s'agira par exemple de réserver une partie du budget alloué aux forages pendant les phases de développement pour investiguer l'extension possible du gisement plus en profondeur ou latéralement au-delà des zones de ressources présumées¹⁴;
- Prévoir suffisamment de forages de stérilisation avant la construction des installations et infrastructures prévues par l'étude de faisabilité. Il est encouragé en effet que la planification de l'occupation des sols ne se réfère pas uniquement aux zones minéralisées connues au stade de l'étude de faisabilité, mais intègre l'accès à de potentielles ressources additionnelles non encore mises en valeur. Il peut s'agir d'une extension du gisement considéré, voire de la mise en valeur future d'autres ressources naturelles (autres minéraux) ;
- Faire un inventaire de tous les produits et coproduits potentiellement valorisables. Même si pour des raisons technico-économiques tous les produits ne peuvent pas nécessairement être valorisés au moment de l'étude de faisabilité, il n'est pas impossible qu'à l'avenir l'exploitation de certaines substances puisse devenir viable en fonction des progrès techniques et des cours des matières premières, ou de l'évolution des besoins de la société. Il peut être envisagé, par exemple, de procéder au stockage référencé d'un stérile potentiellement valorisable à l'avenir ;
- Dimensionner et planifier les opérations en vue d'éviter le gaspillage des réserves. Il s'agira, au cours de la phase de développement, de dimensionner les méthodes minières, d'optimiser les processus de traitement et de définir un programme de production de façon à pouvoir extraire un maximum de ressources et de ne laisser comme stériles et résidus que des matériaux à très faible teneur en produits considérés, la plus faible possible en fonction du techniquement et économiquement faisable.

Evaluation et minimisation des risques

La gestion des risques consiste à déterminer et évaluer les risques potentiels, c'est à dire les probabilités d'occurrence d'événements indésirables et/ou leurs conséquences. Réduire les risques implique donc d'agir soit sur l'aléa, soit sur l'enjeu, soit sur les deux. Une politique « responsable » de gestion des risques consiste à agir sur les deux, dès les études de développement et à considérer un large spectre de risque potentiel (aléas climatiques, économiques, sociologique, concurrence, énergie, transport, etc.).

¹⁴ À noter qu'en période de production le système fiscal français permet aux compagnies minières de déduire de leur assiette fiscale un certain pourcentage du chiffre d'affaire en faisant une provision pour payer des travaux de prospection dont l'objet est de reconstituer les réserves, donc de maintenir la durée de vie d'une activité qui par nature s'autodétruit (notion de provision pour reconstitution du gisement correspondant à un amortissement du gisement avec exigence de réinvestissement)

Les solutions techniques d'évitement et réduction des risques existent généralement. Les récentes avancées technologiques plus respectueuses de l'environnement seront utilisées. Quelques exemples sont indiqués ici :

- Si la géologie et l'économie le permet, et de concert avec les parties-prenantes, un scénario d'ouvrage souterrain entrera dans le champ des investigations pour un site localisé dans un espace limité, un environnement protégé ou densément habité ;
- Une méthode d'exploitation avec auto-remblayage (limitant ainsi le volume de stériles à entreposer à l'extérieur de la zone d'extraction), sera privilégiée, et ce d'autant plus que l'exploitation se développe dans un espace contraint par des critères sociaux et environnementaux significatifs. Constatation étant faite que ces stériles sont appropriés pour assurer un remblayage convenable et que l'économie du projet reste viable ;
- Seront privilégiées les techniques et les installations minimisant l'occupation spatiale, la consommation en eau et en énergie, limitant la toxicité et le volume des stériles et résidus miniers ;
- Peuvent être citées les méthodes d'assèchement et d'épaississement sous forme de pâte des résidus miniers liquides permettant de maximiser la récupération des eaux et minimiser les impacts environnementaux ;
- Les opportunités de recyclage, cogénération entreranno également entrer dans le champ des investigations.

Stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre

En phase de développement les compagnies minières « responsables » sont désireuses de prendre toutes les mesures de réduction d'émission de gaz à effet de serre dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, par exemple en privilégiant l'utilisation de carburants à haut rendement ou des carburants alternatifs pour les équipements et véhicules lourds, en concevant des systèmes de cogénération ou en s'approvisionnant en énergie à partir de sources non émettrice de CO₂. Constatation étant faite que le choix des sources d'énergie est largement conditionné par leur coût, et que certaines énergies nouvelles s'avèrent malheureusement plus coûteuses que les énergies traditionnelles.

4.3. BONNES PRATIQUES SUR LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Il existe plusieurs guides sur les aspects environnementaux dans le secteur minier qui contiennent des inventaires très détaillés de bonnes conduites sur les questions de gestion de l'eau, de gestion des résidus miniers et stériles, des impacts sur les écosystèmes, la qualité de l'air, la fermeture et la réhabilitation, parmi lesquels :

- *Le Code de Pratiques Ecologiques*, publiée par le Ministère de l'Environnement du Canada disponible sur le site : www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=Fr&n=CBE3CD591&offset=6&toc=show#s4_2

- *e3Plus: A Framework for Responsible Exploration. Excellence in Environmental Stewardship e-toolkit (EES)*, publié par l'Association des Prospecteurs et Développeurs du Canada (PDAC) et, disponible sur le site www.pdac.ca/e3plus.
- *Guide de bonnes pratiques : exploitation minière et biodiversité*, publié par le Conseil International des Mines et Métaux (ICMM), disponible sur le site www.icmm.com/languages/french.
- L'Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA).

Le tableau ci-dessous (Tableau 3) synthétise les principales mesures sur les aspects sols, eau, planification de la gestion de stériles et résidus lors des activités de développement et de construction. Ces bonnes pratiques de gestion environnementale s'inscrivent dans les Etudes d'Impact Environnemental et les Plans de Gestion Environnemental et entrent dans le cadre réglementaire.

Tableau 3 : Synthèse de bonnes conduites environnementales sur la gestion des sols, eaux et stériles et résidus miniers pendant les phases de développement et de construction (d'après Environnement Canada, ICMM et e3Plus).

Conduites recommandées	
	Minimiser l'emprise au sol des installations
Gestion des sols	Tracer les routes et les chemins d'accès de façon à contourner autant que possible les plans d'eau et zones écosensibles
	Eviter les routes à virages abrupts qui augmentent le risque de déversements et d'accidents.
	Pour limiter l'érosion et la sédimentation : • Réduire au minimum la superficie défrichée • Conserver autant que possible des zones tampons naturelles d'au moins 100 m entre les aires défrichées et autour des zones aquatiques • Prévoir des systèmes de drainage des eaux de ruissellement • Ajuster les pentes de talus et les stabiliser • Revégétaliser
Conserver les matériaux de couverture en vue d'une réutilisation pour la réhabilitation.	
	Effectuer un bilan hydrique du site
Gestion des eaux	Privilégier les techniques de traitement maximisant le recyclage et minimisant l'emploi de réactifs
	Evaluer la possibilité d'employer des réactifs substitués non nocifs
	Dériver des eaux de ruissellement non polluées et regrouper les eaux usées
	Concevoir les infrastructures en fonction de phénomènes météorologiques extrêmes
	Prendre en compte les impacts potentiels du changement climatique
	Prendre en compte la qualité des eaux usées le plus en amont possible au cours du cycle de vie de la mine (avant la phase de construction).
	Identifier et décrire tous les matériaux géologiques à excaver ou à découvrir, ou susceptibles d'être perturbés par les activités minières;
	Evaluer le risque de lixiviation des métaux et de drainage acide de tous les matériaux géologiques,
Déterminer la présence d'autres éléments potentiellement dangereux dans les eaux d'exhaure	
Planification de la gestion des résidus et stériles miniers	Concevoir des pratiques adaptées au risque de lixiviation ou de drainage acide en utilisant les meilleures techniques existantes
	Lors de la planification de la production limiter la production de stériles susceptibles d'engendrer un drainage acide
	Planifier des installations limitant l'oxydation (à l'origine de la formation d'acide)
	Construire des systèmes de dérivation des eaux de surface
	Sélectionner les sites de stockage en fonction du système hydrique, la topographie ; l'utilisation potentielle future des terrains, les écosystèmes aquatiques et terrestres, le paysage.

Installer des instruments appropriés permettant la surveillance au cours des phases d'exploitation et de fermeture de la mine

Evaluer les risques d'instabilité de défaillance des installations sur tout le cycle de vie de la mine, ainsi que pour l'après mine, et les moyens de les atténuer

Prendre en compte dans les conceptions les conditions climatiques extrêmes et le risque sismique

Prendre en compte les impacts potentiels du changement climatique

4.4. BONNES PRATIQUES SUR LES ASPECTS SOCIETAUX

Un projet minier « responsable » implique pour les développeurs de s'engager à bien comprendre les enjeux du projet et à déterminer, **conjointement avec les parties-prenantes**, les solutions appropriées aux problèmes qui se posent. Le succès de tout projet minier « responsable » est intimement lié à la participation des populations riveraines et des autres intervenants dans le but de créer un climat de confiance, de respect et de collaboration afin de tenir les parties prenantes informées des opérations de l'entreprise. Ce climat se crée dès les premières étapes de développement minier. Ceci témoigne d'une responsabilité sociale et facilite l'obtention d'une « *Social License to Operate* »¹⁵.

Tenant compte des spécificités techniques du projet, une compagnie minière « responsable » appliquera les principes suivants.

Entreprendre des Etudes d'Impact Social dès la phase conceptuelle

La réglementation en vigueur exige des Etudes d'Impact Environnemental (EIE). Dans le cadre de pratiques « responsables », les EIE seront complétées par des Etudes d'Impact **Social (EIS)**.

Une EIS permet de mesurer les effets positifs et négatifs d'un projet sur les individus et/ou les populations concernées et de modifier la conception du projet en vue d'optimiser les impacts positifs et éviter ou réduire les impacts négatifs (dans la limite de viabilité du projet), et si nécessaire, de planifier les mesures compensatoires.

Les EIE et EIS (soit EIES) débiteront le plus précocement possible dans la chaîne de développement (dès la phase conceptuelle).

Cartographier et consulter les parties-prenantes

En phase de développement, il devient possible de parler de l'avenir du projet, d'établir des relations à long-terme et de s'investir socialement. Il conviendra dans un premier temps d'effectuer une cartographie des parties-prenantes, à l'échelle locale et régionale. Toutes les parties-prenantes seront alors contactées pour identifier leurs relations, leurs points de vue, leurs attentes et leurs priorités vis à vis du projet sur le court- et le long-terme. Cela sous-entend l'application d'un principe de bonne foi de la part des parties-prenantes.

¹⁵

Voir Tome 9

Les parties prenantes doivent être associées à l'examen des options et un cadrage environnemental (défini aux articles L.122-1-2 et R.122-4 du code de l'environnement) demandé aux services de l'État.

Les propriétaires fonciers sont des partenaires critiques à ce stade ; l'acquisition de leur propriété est un paramètre essentiel de la localisation des installations, et donc de l'insertion environnementale. Leur pouvoir de négociation peut parfois être utilisé pour faire monter les enchères de manière non raisonnable, et le code minier prévoit la possibilité de recourir au juge de l'expropriation, comme pour de nombreux équipements publics.

S'engager

Avec une vision sur le long-terme acquise en cours de développement, les compagnies minières ont de plus en plus la capacité de déterminer les opportunités de création de richesse qu'engendrerait une mise en exploitation pour les populations locales et autres parties prenantes. Un projet minier peut par exemple être source de revenus et d'emplois, créer de nouveaux liens commerciaux, provoquer la construction de nouvelles infrastructures (communication, route, etc.) ou attirer d'autres investissements dans la région. Il devient possible pour les compagnies minières de s'engager à développer et entretenir des initiatives envers les populations locales et les autres parties prenantes dans cette optique de création de richesse. Par exemple les compagnies minières pourront proposer au cours du développement du projet de :

- Favoriser l'emploi local et en cas de sous-qualification développer les ressources humaines localement par une formation adaptée ;
- Etudier les réseaux d'approvisionnement locaux en biens et services ;
- Rechercher toute possibilité de synergies avec les entreprises locales (ex. dans une région d'exploitation forestière, les sciures de bois peuvent être utilisées à des fins de conditionnement des résidus miniers pour prémunir le drainage acide) ;
- Identifier les opportunités de faire bénéficier les populations locales des infrastructures requises par la mine, pendant et/ou après l'exploitation (routes, ponts, centrale électrique, barrages). Cela requiert au préalable de dimensionner et localiser adéquatement ces infrastructures en fonction des attentes des parties-prenantes ;
- Transférer le savoir-faire et les technologies afin d'attirer d'autres entreprises et diversifier l'économie locale ;

Il est sous-entendu que les parties-prenantes respecteront au cours de la durée de vie du projet les termes de leur engagement.

Communiquer

En plus des obligations réglementaires de transparence et de communication, les compagnies minières « responsables » communiqueront avec les parties-prenantes sur leurs engagements sociaux et environnementaux. En phase de développement, il s'agira par exemple de créer et maintenir une base de données des parties-prenantes et de leurs besoins, rédiger des

documents d'information personnalisés pour les parties-prenantes, par la publication d'indicateurs de performance « responsable ». Les compagnies minières « responsables » seront en mesure d'informer à l'avance ce que le projet va occasionner comme changement sur les plans environnemental et social, durant le développement, l'exploitation et après la fermeture de la mine (par exemple en matière d'impact paysager et d'emploi pendant et après la mine).

Faire participer les parties-prenantes

Les objectifs d'engagements pris par les compagnies minières en consultation avec les parties-prenantes méritent d'être partagés pour une meilleure acceptation et approbation du projet, et pour d'avantage de cohésion sociale et d'efficacité en divisant les efforts, les risques, les ressources et les compétences. Toutes les parties-prenantes ont un rôle à jouer. Les compagnies minières ne porteront pas seules toutes les responsabilités de la réussite ou de l'échec du débat local. A cette fin les partenariats seront encouragés notamment les collaborations et les réunions d'information avec les ONG, industries locales, syndicats, associations, organismes (tels que les Parcs Naturels Régionaux), université et centres de recherches, et l'État.

Annexe 1

Notions de ressources / réserves

Ressources

Les phases avancées de l'exploration ont pour objectif d'estimer les ressources relatives à un gîte minéral, c'est-à-dire d'une concentration de substance minérale utilisable dans l'industrie, située sur ou dans la croûte terrestre en forme et en quantité telles qu'il y a des chances raisonnables de déboucher sur une extraction économique.

En pratique, comment calcule-t-on les ressources ?

Il s'agit d'abord, à partir des données de sondage de définir les contours géométriques du gîte minéral, puis d'en calculer le volume, la concentration (teneur), et enfin le tonnage de la (ou les) substances minérale(s) considérée(s).

Le géologue, à partir des données de sondages et de sa connaissance du contexte géologique, établit un premier modèle géologique visant à corréliser, d'un sondage à l'autre, les différents corps géologiques entre eux, dont les corps minéralisés. Il est nécessaire d'établir une teneur limite (teneur minimale en métal) pour définir spatialement et quantitativement les limites des corps minéralisés. Il convient également de tenir compte de contraintes d'exploitation comme la largeur minimum exploitable. Le modèle géologique, initialement sous forme de coupes interprétées, évolue en modèle numérique à l'aide d'outils de modélisation informatique. Le modèle numérique fournit une représentation spatiale des corps minéralisés. C'est à partir de ce modèle qu'est définie l'enveloppe minéralisée.

L'enveloppe minéralisée est alors virtuellement découpée en blocs (Figure 7). La taille des blocs est choisie en fonction de la maille de sondage et des contraintes d'exploitation. A chaque bloc est ensuite attribuée une teneur basée sur la connaissance fragmentaire des teneurs fournie par les sondages. Cette attribution est réalisée à l'aide de méthodes géostatistiques qui prennent en compte la variabilité spatiale de la teneur et la différence de volume entre les mesures et les blocs. Le résultat de cette étape permet de calculer les ressources.

Il n'y a, dans le calcul des ressources qu'un faible niveau de considération technique, économique, socio-environnementale. La teneur limite minimale est à ce stade d'évaluation semi-quantitative, souvent basée sur des similitudes avec des exploitations existantes, et les ressources sont généralement calculées pour un certain nombre de teneurs limites. Il n'est pas encore possible de répondre à la question «Combien de métal puis-je récupérer ?». D'où l'importance des réserves (voir ci-après).

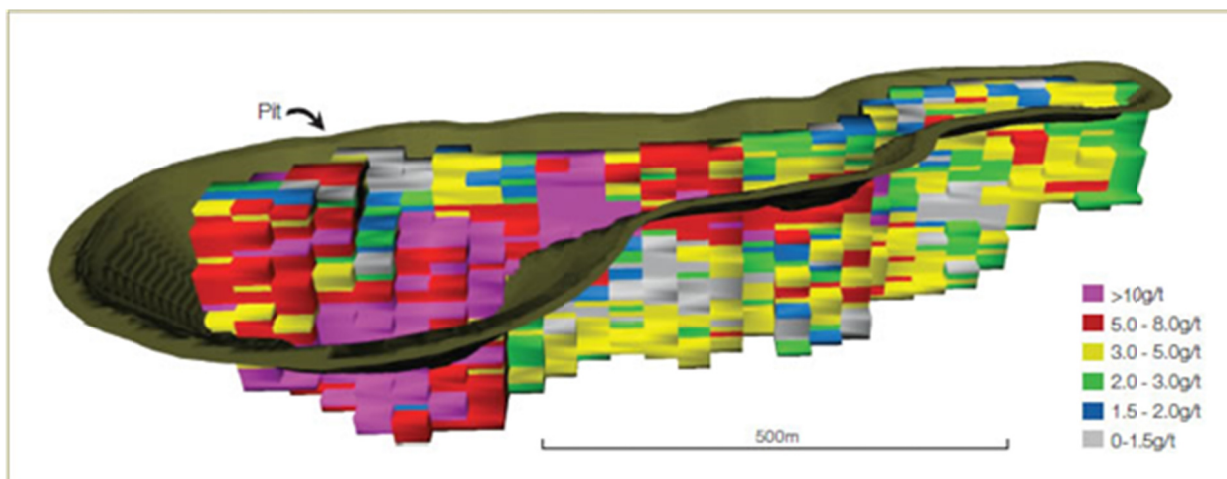


Figure 7 : Illustration du découpage de l'enveloppe minéralisée d'un gisement en blocs dans lesquels sont attribuées des teneurs. Gisement d'or de Gounkoto (exploité par Randgold Resources au Mali). Information publique sur Internet.

Réserves

L'ensemble des ressources n'est pas exploitable à 100 % du fait de leur répartition et des caractéristiques de l'exploitation minière envisagée (ex. pente de mine à ciel ouvert, piliers dans certaines exploitations en mines souterraines, etc...), auxquelles il est nécessaire d'ajouter d'autres contraintes relatives au choix des procédés de traitement, à la gestion des résidus miniers et des stériles, à la gestion de la fermeture-réhabilitation-après mine, à la gestion des eaux, aux aspects environnementaux et sociaux, aux infrastructures associées, au contexte macro-économique, ainsi qu'au cadre réglementaire et fiscal. La prise en compte de tous ces facteurs permet de calculer la part exploitable des ressources : ce sont les réserves.

Ces dernières correspondent aux parties des ressources, techniquement et économiquement exploitables, donc pour lesquelles la vente du métal récupéré excède les frais d'exploitation. Les réserves prennent en compte nécessairement les facteurs de dilution (dilution planifiée, additionnelle, salissage), les taux de récupération, et les taux de perte qui peuvent apparaître lors de l'extraction. Elles correspondent à un produit marchand, donc incluent les phases de traitement pour rendre les produits et coproduits commercialisables. Ce sont les réserves qui définissent la notion de *gisement stricto sensu* qui est un objet économique (à distinguer du *gîte minéral* défini par des ressources, voir ci-dessus).

Un calcul de réserves suppose au préalable un degré de fiabilité suffisant d'estimation des ressources. Suivant les critères de classification utilisés communément (voir paragraphe ci-dessous), seules les ressources de catégorie « indiquée » et « mesurée » peuvent entrer dans un calcul des réserves.

Les réserves évaluées ne sont valables qu'avec des paramètres et à un niveau de connaissance actuels. Toute modification des paramètres ou de l'environnement conduira à leur évolution, à la hausse ou à la baisse. Par exemple si le prix de vente augmente de 50% certaines parties du gisement économiquement non rentables le deviendront, ce qui augmentera d'autant les réserves. A contrario, si les coûts d'exploitation augmentent de 30%, certaines parties auparavant économiques ne le seront plus et seront déclassés en ressources.

Ainsi, un gisement n'a de réalité que dans un contexte économique donné. Cette variabilité renforce l'idée essentielle qu'un gîte minéral n'est jamais exploité à 100%. A noter également

que le terme réserves n'implique pas nécessairement la mise en œuvre de l'exploitation ni la réception de toutes les approbations gouvernementales.

Classification des ressources et réserves

Les ressources et réserves sont avant tout des estimations, portant une part d'interprétation et d'incertitude statistique. Ces estimations ne sont pas déterminées avec le même degré de confiance suivant la quantité et qualité de l'information acquise sur le gisement. Ainsi les ressources d'un même gisement seront plus fiables à partir d'une estimation réalisée suivant un maillage de sondage de 100 x 100 m, qu'à partir d'une estimation établie sur un plus large maillage de 500 x 500 m.

Il existe donc plusieurs catégories de ressources et réserves qui dépendent du degré de confiance dans l'information géologique disponible à propos du gisement, de la quantité et de la qualité des données acquises, du niveau de détail des informations techniques et économiques qui ont été générées et de l'interprétation des données et des informations.

En réaction contre les divergences et supercheries qui ont pu se produire dans le passé lors des annonces de ressources et de réserves par les compagnies minières (ex. scandale du gisement BreX Busang en 1994) les grands pays miniers ont développé des normes pour estimer et rendre compte des ressources et réserves minérales. Citons le code australien JORC et le code canadien CIM NI43-101, précurseurs de ce mouvement de réglementation, et majoritairement utilisés à ce jour, ainsi que le standard européen développé par le PERC (*Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee*). En réponse aux besoins qui émergent dans une économie globale, ces normes d'estimation et de déclaration des ressources et réserves tendent à s'homogénéiser et fournissent désormais des guides et terminologies communs et universellement applicables, initiative menée par le *Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards* (CRIRSCO)¹⁶.

Ainsi la classification actuellement reconnue à l'échelle internationale subdivise les ressources minérales en ressources « présumées » (également nommées « inférées » ou « supposées »), « indiquées » et « mesurées », et les réserves minérales en réserves « probables » et « prouvées » suivant l'ordre croissant de confiance géologique, tel que montré dans la Figure 8.

¹⁶ Les membres du CRIRSCO incluent l'Australie (JORC), le Canada (CIM), le Chili (Comisión Minera), l'Europe (PERC), la Russie (NAEN), l'Afrique du Sud (Samrec) et les Etats-Unis (SME).

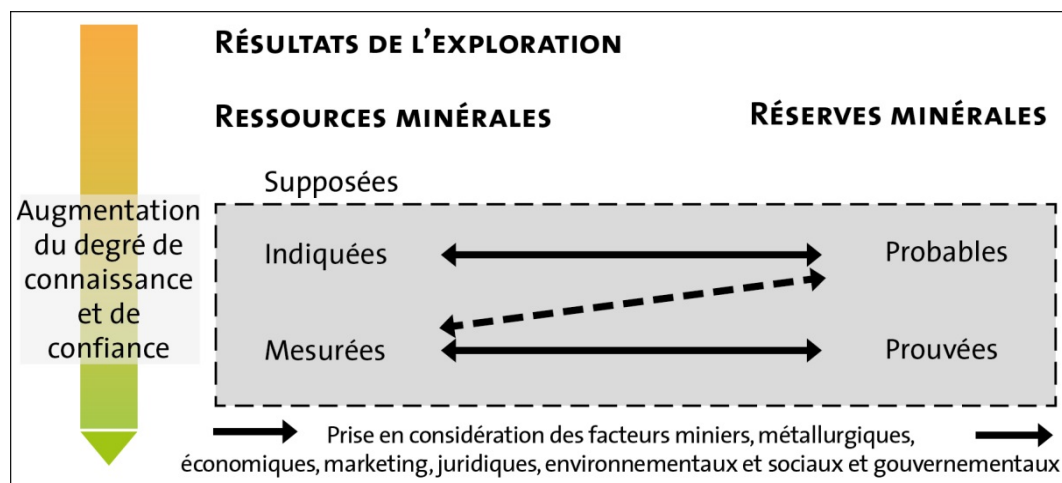


Figure 8 : Classification des ressources et réserves suivant les normes regroupées au sein du CRIRSCO.

Notes relatives à la Figure 8 :

Présumée : niveau de confiance faible, minéralisation identifiée dans quelques échantillons mais la continuité géologique et la continuité des teneurs ne peut être démontrée. Typiquement, sont disponibles des données d'affleurements, tranchées, développements et sondages. La confiance dans les estimations n'est pas suffisante pour permettre une analyse économique. Il n'y a donc jamais de réserves correspondant à ce niveau de ressources.

Indiquée : niveau de confiance raisonnable. Données suffisamment abondantes pour supposer (sans démontrer) la continuité géologique et/ou de la minéralisation. La confiance dans les estimations est suffisante pour permettre une analyse économique et éventuellement une conversion en réserve.

Mesurée : niveau de confiance élevé. Les données sont assez abondantes et rapprochées pour démontrer la continuité géologique et /ou de la minéralisation. La confiance dans les estimations est suffisante pour permettre une analyse économique et éventuellement une conversion en réserve.

Les réserves minérales, qui sont un sous-ensemble modifié des ressources minérales indiquées et mesurées (montrées à l'intérieur du cadre en tireté de la figure), exigent de considérer des facteurs affectant une extraction profitable et nécessitent d'être estimées avec la participation de plusieurs disciplines.

Toute information publiée sur les ressources et les réserves doit faire l'objet d'un rapport technique rédigé par une « personne qualifiée » indépendante (sauf exceptions) et doit être déposé auprès des responsables du territoire. La « personne qualifiée » est un ingénieur ou géoscientifique membre d'une association professionnelle et comptant au moins 5 ans d'expérience dans le domaine de l'exploration minérale, de la mise en valeur, de l'exploitation ou de l'évaluation de projets miniers. Elle possède aussi une expérience pertinente par rapport à l'objet du rapport technique.

Grâce à ces normes internationales, les divergences et déconvenues dans l'estimation et le compte-rendu des ressources et réserves minérales se sont considérablement amoindries.

Il existe un autre système de classification qui est celui des Nations Unies, la « Classification-cadre des Nations Unies pour l'énergie fossile et les réserves et ressources minérales » (UNFC-2009). Ce système est conçu pour être universellement acceptable et applicable au niveau international pour la classification et la notification de données relatives à l'ensemble du secteur des industries extractives (toute substance minérale ainsi que des énergies fossiles). L'UNFC-2009 est un système fondé sur des principes génériques, dans lequel les quantités sont classées d'après trois critères que sont la viabilité économique et sociale (incluant notamment la prise en compte de la situation des marchés, des politiques publiques, de la maturité technologique et industrielle), l'état d'avancement et la faisabilité des projets sur le terrain, et les connaissances géologiques (Figure 9). Cette classification a été conçue pour assurer l'alignement avec d'autres systèmes largement utilisés dans le secteur des industries extractives, dont le CRIRSCO et autres systèmes couvrant le secteur pétrolier. Ce système,

basé sur des définitions simplifiées et des terminologies génériques, sert majoritairement pour l'analyse des politiques publiques de gestion des ressources, les études internationales sur l'énergie et les ressources minérales, la planification des activités industrielles et l'allocation des capitaux. À l'échelle d'un projet minier, les standards du CRIRSCO (plus précis) restent majoritairement employés par les compagnies minières. Il est à noter que dans cette classification le mot « réserve » n'est utilisé que dans un sens général.

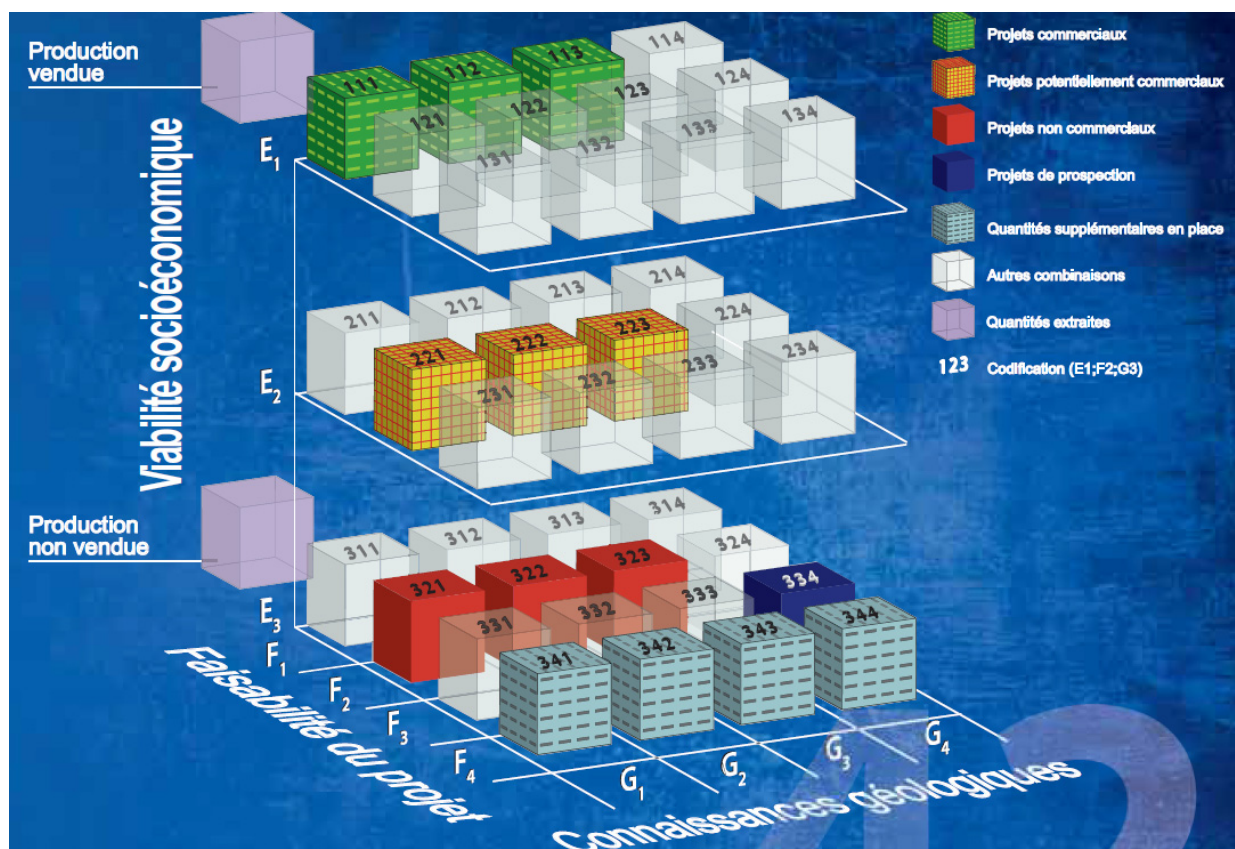


Figure 9 : Catégories et exemples de classes du système de « Classification-cadre des Nations Unies pour l'énergie fossile et les réserves et ressources minérales » (UNFC-2009).

Note relative à la Figure 9 : les critères du CRIRSCO s'inscrivent dans ce système de classification suivant les correspondances suivantes :

- Bloc 111 : Réserves Prouvées
- Bloc 112 : Réserves Probables
- Bloc 221 : Ressources Mesurées
- Bloc 222 : Ressources Indiquées
- Bloc 223 : Ressources Présumées
- Bloc 334 : Résultats d'exploration

COLLECTION « LA MINE EN FRANCE »

Tome 1 - Industrie minérale et activité minière en France

Tome 2 - Législation et réglementation minière

Tome 3 - Projet minier et parties-prenantes

Tome 4 - Exploration minière

Tome 5 - Développement, financement, construction

Tome 6 - Exploitation minière et traitement des minerais

Tome 7 - Fermeture, reconversion et gestion de l'après-mine

Tome 8 - Exploration et exploitation minière en Guyane

Tome 9 - Le concept de «mine responsable». Parangonnage des initiatives mondiales

Tome 10 - Mines européennes. Quelques exemples de mines de métaux

Tome 11 - Sondages miniers

Tome 12 - Bonnes pratiques de l'activité minière

Tome 13 - Lexique

www.mineralinfo.fr

