

Collection « La mine en France »

Mines européennes

Quelques exemples de mines de métaux



TOME 10

Collection « La mine en France »

Mines européennes

Quelques exemples de mines de métaux

Tome 10

Février 2017

Vic G.



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 : mines, métaux, Europe, exploitation minière.

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

Vic G. (2017) – Mines européennes. Quelques exemples de mines de métaux. Collection « La mine en France ». Tome 10, 43 p., 28 fig.

Sommaire

1. Synthèse	9
2. Mine d'Emerdon (Royaume-Uni).....	11
2.1. SYNTHÈSE	11
2.2. LOCALISATION.....	11
2.3. EXPLOITANT	11
2.4. SUBSTANCES	12
2.5. HISTORIQUE	12
2.6. GISEMENT	12
2.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'ÉVALUATION	12
2.8. DÉBUT D'EXPLOITATION.....	13
2.9. PRODUCTION ANNUELLE.....	13
2.10. RESERVES ET RESSOURCES	14
2.11. EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINÉRAI.....	14
2.12. ENVIRONNEMENT	15
2.13. CAPEX / OPEX	15
3. Mine de Kylylahti (Finlande).....	17
3.1. SYNTHÈSE	17
3.2. LOCALISATION.....	17
3.3. EXPLOITANT	17
3.4. SUBSTANCES	18
3.5. HISTORIQUE	18
3.6. GISEMENT	18
3.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'ÉVALUATION	19
3.8. DÉBUT D'EXPLOITATION.....	19
3.9. PRODUCTION ANNUELLE.....	20

3.10.	RESERVES ET RESSOURCES.....	20
3.11.	EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERALI	21
3.12.	ENVIRONNEMENT.....	21
3.13.	CAPEX / OPEX.....	22
4.	La mine de Tabuaço (Portugal)	23
4.1.	SYNTHESE	23
4.2.	LOCALISATION	23
4.3.	EXPLOITANT	24
4.4.	SUBSTANCES	24
4.5.	HISTORIQUE	24
4.6.	GISEMENT.....	24
4.7.	TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'EVALUATION.....	25
4.8.	DEBUT D'EXPLOITATION.....	26
4.9.	PRODUCTION ANNUELLE	26
4.10.	RESERVES ET RESSOURCES.....	26
4.11.	EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERALI	27
4.12.	ENVIRONNEMENT.....	27
4.13.	CAPEX / OPEX.....	28
5.	La mine de Tara (Irlande)	30
5.1.	SYNTHESE	30
5.2.	LOCALISATION	30
5.3.	EXPLOITANT	30
5.4.	SUBSTANCES.....	30
5.5.	HISTORIQUE	31
5.6.	GISEMENT.....	31
5.7.	TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'EVALUATION.....	32
5.8.	DEBUT D'EXPLOITATION.....	32

5.9. PRODUCTION ANNUELLE.....	32
5.10. RESERVES ET RESSOURCES	32
5.11. EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERAL.....	32
5.12. ENVIRONNEMENT	34
5.13. CAPEX / OPEX	34
6. La mine de Mittersill (Autriche).....	35
6.1. SYNTHÈSE	35
6.2. LOCALISATION.....	35
6.3. EXPLOITANT	36
6.4. SUBSTANCES	36
6.5. HISTORIQUE	36
6.6. GISEMENT	36
6.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'EVALUATION.....	36
6.8. DEBUT D'EXPLOITATION.....	37
6.9. PRODUCTION ANNUELLE.....	37
6.10. RESERVES ET RESSOURCES	37
6.11. EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERAL.....	37
6.12. ENVIRONNEMENT	38
6.13. CAPEX / OPEX	39
7. Références	42

Liste des figures et des tableaux

Figure 1 : Les mines actives en Europe, hors charbon à fin 2015 (Source : BRGM).....	10
Figure 2 : Localisation de la mine d'Hermerdon (Royaume-Uni).....	11
Figure 3 : Sondage d'exploration du gisement d'Hermerdon (Cliché : WolfMinerals.com).....	13
Figure 4 : Modélisation 3D du modèle de blocs du gisement d'Hermerdon avec la répartition des teneurs en tungstène et le design de la mine (Source : WolfMinerals.com).....	13
Figure 5 : Coupe du nouveau design de la mine d'Hermerdon après une réévaluation des réserves de 34% en mars 2015, ainsi que la géométrie du gisement contenu dans le granite (Source : WolfMinerals.com).....	14

Figure 6 : Vue par satellite mettant en évidence la localisation du permis d'Hemerdon et des carrières de kaolin (Source : WolfMinerals.com).....	16
Figure 7 : Localisation de la mine de Kylylahti (Finlande).....	17
Figure 8 : Coupe géologique du gisement de Kylylahti avec la position des sondages réalisés (Source : GTK).....	19
Figure 9 : Coupe schématique illustrant les prévisions annuelles d'exploitation de la mine de Kylylahti avec la localisation des galeries (Source : Altona Mining Ltd).....	20
Figure 10 : Les différentes étapes du traitement des minerais dans l'usine de Luikonlahti. Gauche : le broyage ; Centre : le concassage ; Droite : la flottation (Source : Altona Mining Ltd).....	21
Figure 11 : Vue aérienne du site de la mine de Kylylahti, Finlande (Source : Altona Mining Ltd).....	22
Figure 12 : Localisation de la mine de Tabuaço (Portugal).....	23
Figure 13 : Carte géologique et localisation du permis de Tabuaço (Portugal).....	23
Figure 14. Gauche : Caisse de carotte de sondage du gisement de Tabuaço. Droite : Mise en évidence de la présence de scheelite (CaWO ₄) à la lumière UV (Source : ColtResources.com).....	25
Figure 15 : Modélisation 3D du gisement de Tabuaço avec la mise en évidence de trois zones de skarn (lower, upper et middle) (Source : ColtResources.com).....	25
Figure 16 : Sondage d'exploration du gisement de Tabuaço (Source : ColtResources.com).....	26
Figure 17 : Plan primitif des galeries souterraines d'accès au gisement ciblé de Tabuaço et au gisement « secondaire » d'Aveleira (Source : SKR Consulting).....	27
Figure 18 : Paysage de la région de Tabuaço (Source : ColtResources).....	28
Figure 19 : Localisation de la mine de Tara.....	30
Figure 20 : Coupe géologique OSO-ENE de la partie centrale du gisement de Tara (en rouge) (Source : Tara mine Ltd).....	31
Figure 21 : Coupe schématique de la mine de Tara avec la mise en évidence du gisement stratiforme et les galeries d'exploitation (Source : Boliden).....	33
Figure 22 : L'usine de traitement de la mine de Tara (Source : Boliden).....	33
Figure 23 : Localisation de la mine de Mittersill en Autriche.....	35
Figure 24 : Carte géologique simplifiée de la région de Mittersill (Source : Thalhammer et al., 1989).....	35
Figure 25 : Mise en évidence de scheelite en lumière UV (Cliché : www.wolfram.at).....	36
Figure 26 : Coupe schématique de la mine de Mittersill avec la mise en évidence du gisement de scheelite stratiforme et les galeries d'exploitation (Source : Thalhammer et al., 1989).....	38
Figure 27 : Photo de l'usine de traitement de Saint-Martin construite à 3 km de la mine de Mittersill et dont le propriétaire est Wolfram Bergbau und Hütten AG (Cliché : www.wolfram.at).....	38
Figure 28 : Entrée principale de la mine souterraine de tungstène de Mittersill, en Autriche (Cliché : Wolfram Bergbau und Hütten AG).....	39

1. Synthèse

Le domaine minier métropolitain a été délaissé depuis une vingtaine d'années, mais un réel potentiel en métaux est fondé sur la géologie du territoire métropolitain ; il est intact à des profondeurs supérieures à 300 m. Ce potentiel est principalement localisé dans trois « régions minières » : le Massif Armoricain, le Massif Central ainsi que les Pyrénées. Les Vosges recèlent également quelques gîtes métalliques. Le potentiel est attesté par les contextes géologiques, mais sa réalisation effective passe par des investissements en exploration. Celle-ci suscite l'intérêt d'investisseurs : 6 opérateurs ont déposé des demandes, 8 permis exclusifs de recherches (PER) ont été attribués depuis 2013, autant sont en instruction et devraient faire l'objet de décisions en 2016. L'émergence dans les prochaines années de plusieurs projets de mines est donc plausible.

Comme indiqué dans le Tome 1 de la présente collection, les substances minières métalliques présentant la plus forte probabilité de développement minier en France métropolitaine sont : le tungstène, l'antimoine, la fluorine et l'or.

Des gisements à minéralisation de plomb-zinc pourraient également faire l'objet de projets miniers, si les teneurs économiquement valorisables en argent ou en métaux critiques comme le germanium ou encore le gallium sont suffisamment importantes pour améliorer notablement la rentabilité de l'exploitation.

D'autres métaux ont fait l'objet d'exploitations et sont donc présents sur le territoire (ex. étain, tantale, niobium, cuivre) ; le nombre d'occurrences et de contextes géologiques favorables, et donc la probabilité de trouver de nouvelles mines, sont beaucoup plus faibles, mais cette dernière n'est pas nulle.

Les conditions techniques et économiques sont réunies aujourd'hui pour relancer l'exploitation en métropole, en fonction des résultats des explorations en cours et à venir. L'exemple d'autres pays européens montre qu'une telle relance est compatible avec les conditions économiques et environnementales de l'Europe : les teneurs exploitées sont souvent inférieures, voire très inférieures aux teneurs des mines exploitées en France dans les années 1980, ce qui atteste de technologies de très bon niveau ; certains projets ont su se développer dans des environnements sensibles.

Des pays européens ont en effet conservé et développé des activités minières significatives (Suède, Finlande, Autriche, Pologne, Portugal). La Grande-Bretagne vient de rouvrir une mine de tungstène. Parmi les 104 mines de minerais métalliques recensées en Europe (Figure 1), il a été sélectionné quatre mines en activité: (Kylylahti en Finlande, Mittersill en Autriche, Tara en Irlande, Hemerdon en Grande-Bretagne) plus une mine en construction : (Tabuaço au Portugal) ; de configurations qui pourraient se rencontrer en France métropolitaine.

Certaines sont situées dans des environnements très sensibles : le projet de Tabuaço est sous le vignoble de Porto, identifié au patrimoine mondial de l'UNESCO. La mine de Mittersill est en bordure d'un parc national ; dans un environnement exceptionnel, l'exploitant a construit la plupart des infrastructures en souterrain dissimulant l'entrée des galeries derrière une digue naturelle ; un petit chalet en bois, utilisé par le département d'ingénierie, est l'unique bâtiment construit en surface ; le traitement du minerai est réalisé dans une usine située à 3 km de la mine ; la mine et l'usine sont reliées par une station de concassage souterraine et un convoyeur

à bande limitant les transports locaux. La mine de Tara exploitée depuis 1977 est dans un bassin de vie (Navan) de 28 000 habitants et est située à 45 km de Dublin.

Les fiches montrent que des effectifs directs de 200 personnes en phase de production ne sont pas irréalistes, de même que des dépenses d'investissements de l'ordre de 100 millions d'euros et de fonctionnement de 150 millions d'euros.

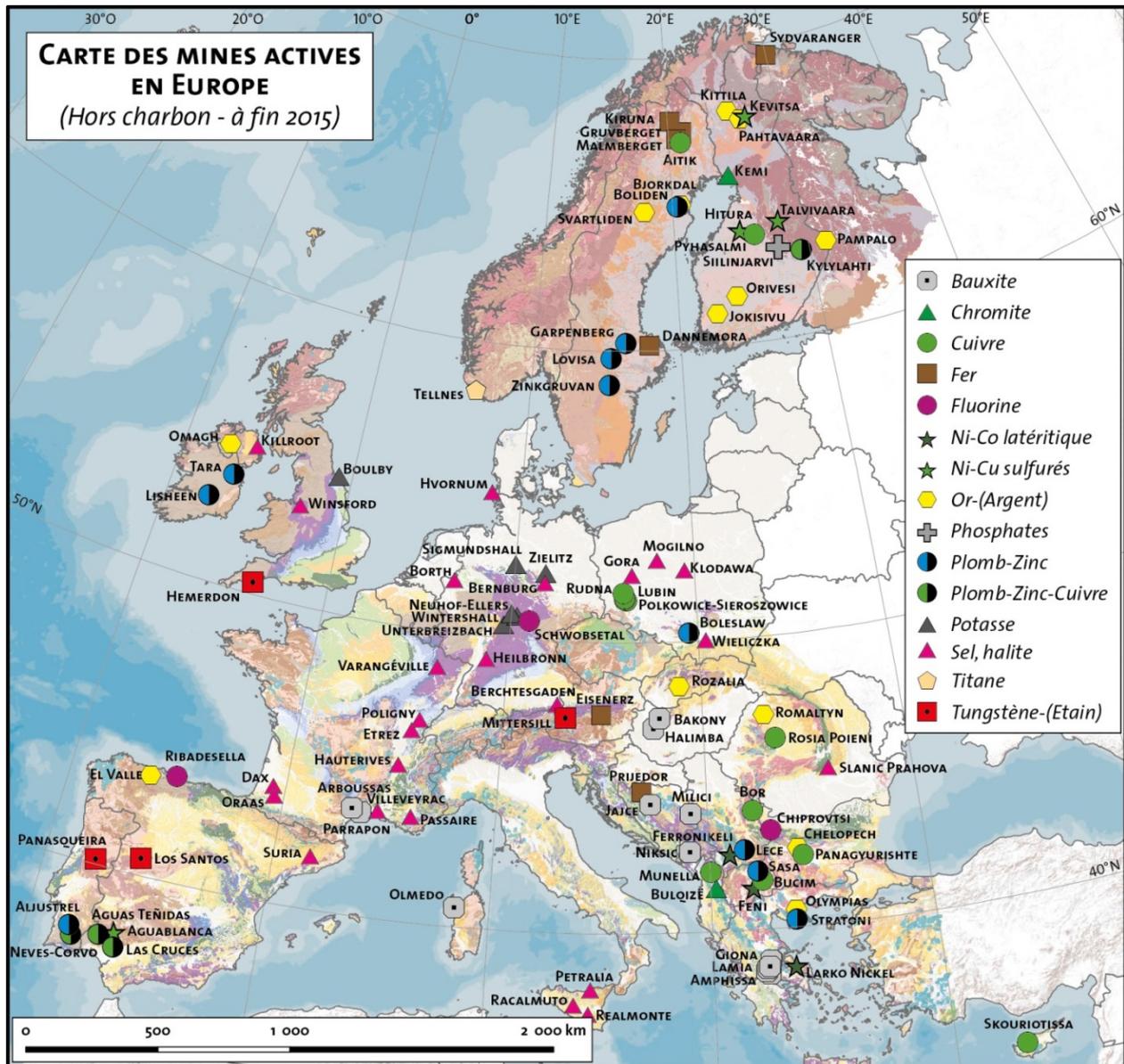


Figure 1 : Les mines actives en Europe, hors charbon à fin 2015 (Source : BRGM).

2. Mine d'Hermerdon (Royaume-Uni)

2.1. SYNTHÈSE

Le gisement d'Hermerdon, au sud-ouest de l'Angleterre, est détenu à 100% par la compagnie Australienne Wolf Minerals. Il s'agit d'une mine de tungstène et d'étain, exploitée à ciel ouvert et contenue dans un granite.

2.2. LOCALISATION

La mine d'Hermerdon (Latitude: 50°40'80"N, Longitude: 4°01'00"W) est située dans le comté de Devon, à la frontière du Parc national du Dartmoor, au sud-ouest de l'Angleterre à environ 10 km au nord-est de Plymouth (Figure 2).



Figure 2 : Localisation de la mine d'Hermerdon (Royaume-Uni).

2.3. EXPLOITANT

Wolf Minerals Limited (www.wolfminerals.com) est une compagnie australienne d'exploration et de développement minier créée en 2006 et spécialisée dans les métaux de base. En 2007, Wolf Minerals obtient 100% des droits miniers sur la concession couvrant le projet d'Hermerdon avec l'objectif de devenir l'un des plus gros producteurs de tungstène mondiaux. Hermerdon est à l'heure actuelle le seul projet actif de Wolf Minerals.

2.4. SUBSTANCES

Les substances ciblées à Hemerdon sont le tungstène (W) et l'étain (Sn). Le tungstène est contenu dans la wolframite de formule chimique $(Fe,Mn)WO_4$ et l'étain est contenu dans la cassitérite de formule chimique SnO_2 .

2.5. HISTORIQUE

Le gisement de tungstène et d'étain d'Hemerdon a été découvert en 1867 et a été exploité de 1918 à 1919 afin de couvrir les besoins en métaux lors de la première guerre mondiale. Laissé à l'abandon, il a de nouveau été exploité le temps de la Seconde guerre mondiale.

Entre 1976 et 1980 un vaste programme d'exploration a été conduit par la firme AMAX mettant en évidence un gisement conséquent mais non exploité par la suite.

C'est en 2007 que la compagnie Wolf Minerals obtient les droits miniers sur le permis d'Hemerdon.

2.6. GISEMENT

Le gisement d'Hemerdon, également connu sous le nom de Drakelands, est contenu au sein et autour du corps granitique porphyrique d'Hemerdon qui forme une coupole à l'extrême sud-ouest du granite principal du Dartmoor. Les roches encaissantes des corps granitiques sont les schistes ardoisiers du Killas datés au Dévonien supérieur (385 à 359 Ma).

La partie nord du granite d'Hemerdon accueille un stockwerk (réseau anastomosé) de veines de quartz avec une minéralisation mineure et un réseau de veines de greisen riches en wolframite et cassitérite. Les sondages réalisés ont permis de mettre en évidence une continuité de la minéralisation sur 400 m de profondeur.

2.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'EVALUATION

Bien que le gisement d'Hemerdon soit connu depuis 1867, l'essentiel des travaux d'exploration et d'évaluation ont été réalisés par AMAX entre 1976 et 1980 comprenant notamment une campagne de 532 sondages d'exploration pour une longueur cumulée de 24 500 m. Depuis 2007, Wolf Minerals a réalisé 6 sondages supplémentaires afin de contrôler et valider la qualité des sondages d'AMAX (Figure 3). Une modélisation 3D du gisement et des études conceptuelles des infrastructures minières et des aspects environnementaux ont ensuite été proposées lors de l'étude de faisabilité en 2011 (Figure 4).



Figure 3 : Sondage d'exploration du gisement d'Hemerdon (Cliché : WolfMinerals.com).

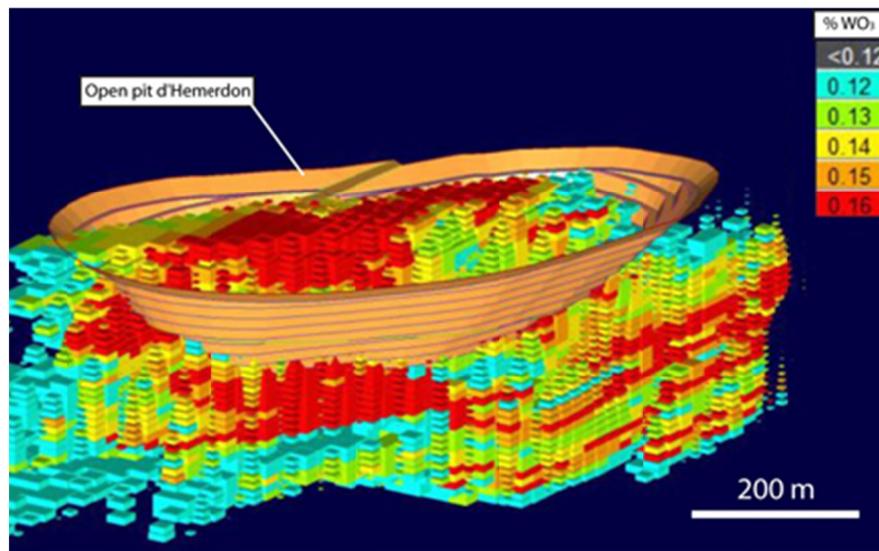


Figure 4 : Modélisation 3D du modèle de blocs du gisement d'Hemerdon avec la répartition des teneurs en tungstène et le design de la mine (Source : WolfMinerals.com).

2.8. DEBUT D'EXPLOITATION

Actuellement active, la mine d'Hemerdon est entrée en production effective durant la seconde moitié de l'année 2015.

2.9. PRODUCTION ANNUELLE

Wolf Minerals se base sur un taux de production moyen annuel de 3 Mt de minerai au cours de la durée de vie de la mine, estimé entre 9 et 12 ans avec les réserves actuelles. Cela correspond à la production moyenne annuelle d'environ 3 450 t de concentré de WO₃ et de

460 t de concentré d'étain. Environ 80% de cette production sont destinés aux compagnies GTP (USA) et Wolfram Bergbau und Hütten AB (Allemagne) avec un contrat d'engagement de 5 ans.

2.10. RESERVES ET RESSOURCES

En mars 2015, les réserves et les ressources en tungstène et en étain du gisement d'Hemerdon ont été réévaluées avec une augmentation de 34% par rapport aux prévisions initiales publiées en 2011.

Ainsi, les estimations des réserves et des ressources pour le gisement d'Hemerdon sont les suivantes :

- Réserves : 35,7 Mt de minerai de teneur moyenne de 0,18% de WO_3 et de 0,03% de Sn, soit 64 710 t de WO_3 et 9 930 t de Sn contenues ;
- Ressources identifiées : 22,9 Mt de minerai de teneur moyenne de 0,16% de WO_3 et de 0,008% de Sn, soit 37 400 t de WO_3 et 1 790 t de Sn contenues ;
- Ressources présumées : 86,6 Mt de minerai de teneur moyenne de 0,14% de WO_3 et de 0,020% de Sn, soit 121 240 t de WO_3 et 17 320 t de Sn contenues.

Les estimations des réserves et des ressources ont été calculées à partir d'un cut-off (teneur minimale moyenne en dessous de laquelle le minerai n'est plus rentable) de 0,063% de WO_3 par tonne de minerai, évalué par la compagnie en fonction des coûts d'exploitation et de fonctionnement estimés. Le gisement d'Hemerdon est ainsi défini comme faisant partie des quatre plus gros gisements de tungstène et d'étain mondiaux (Figure 5).

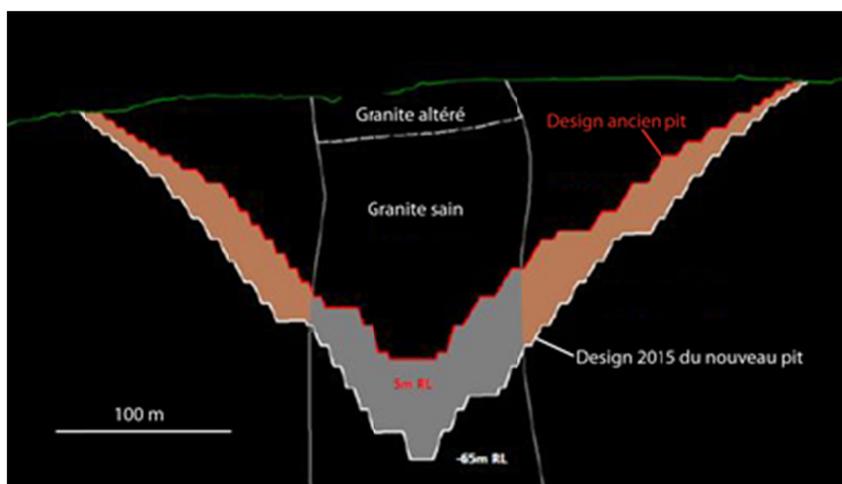


Figure 5 : Coupe du nouveau design de la mine d'Hemerdon après une réévaluation des réserves de 34% en mars 2015, ainsi que la géométrie du gisement contenu dans le granite (Source : WolfMinerals.com).

2.11. EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERAI

Les opérations minières, sous-traitées à un opérateur minier, se feront à ciel ouvert (*open pit*) dont les dimensions de la fosse en fin d'exploitation seront de 800 m de long, 400 m de large et

260 m de profondeur. En effet, l’affleurement en surface et la géométrie du gisement (140 m de large et 400 m de profondeur prouvée) permettent une exploitation à ciel ouvert à moindre coût.

Les méthodes d’exploitation sont classiques pour ce type de mine à ciel ouvert. Il s’agit d’utiliser des explosifs afin de fracturer la roche et d’acheminer, à l’aide de pelles hydrauliques et de camions, le minerai vers l’usine et les stériles vers la zone de stockage des résidus miniers. Un marché potentiel concernant les granulats (résidus miniers) destinés aux entreprises de BTP est envisagé par Wolf Minerals.

Le traitement du minerai, sous-traité par la compagnie GR Engineering, se fera par un circuit gravitaire simple utilisant une technologie avancée avec une succession de phases de broyage, de flottation et de séparation magnétique.

La création de 200 emplois directs durant la période d’exploitation et de plus de 100 emplois indirects est prévue par Wolf Minerals.

2.12. ENVIRONNEMENT

Wolf Minerals est dans l’attente de validation du certificat ISO14001 – Système de Management Environnemental. Dans ce sens, de nombreux travaux d’aménagement socio-environnementaux ont été réalisés telles que la plantation de 30 000 arbres, la construction de mur de pierres le long des chemins de promenade, la protection et l’isolation des zones avec une biodiversité riche ainsi que la protection et la construction de niches et de perchoirs pour les espèces animales.

Un suivi régulier de la qualité des eaux souterraines et de surface sera réalisé ainsi que des études concernant le bruit, la poussière et les vibrations seront menées afin d’en minimiser les impacts. Des études archéologiques ont également été menées sur le site lors des premières étapes de construction de l’usine et de la mine.

Wolf Minerals s’engage à consulter les communautés locales régulièrement, bien que celles-ci ne semblent pas être hostiles à la réalisation de ce projet. En effet, la mine d’Hemerdon est voisine de trois grandes carrières de kaolin exploitées notamment par Imerys et Watts Bearne Blake depuis plusieurs décennies (Figure 6).

2.13. CAPEX / OPEX

L’estimation du capex (dépenses d’investissement de capital) et de l’opex (coût d’exploitation) a été réalisée en tenant compte des taux suivants : 1 Livre Sterling = 1,52 US\$ et 1 L de diesel = 0,65 £ et, dans l’optique d’une sous-traitance des opérations d’extraction par un opérateur minier.

- Capex : 104 millions £ ;
- Opex : 122 millions £.



Figure 6 : Vue par satellite mettant en évidence la localisation du permis d'Hemerdon et des carrières de kaolin (Source : WolfMinerals.com).

3. Mine de Kylylahti (Finlande)

3.1. SYNTHÈSE

La mine de Kylylahti, au sud-est de la Finlande, est détenue à 100 % par la compagnie minière Boliden AB depuis 2012. Il s'agit d'une exploitation polymétallique de cuivre-or-zinc-argent-cobalt-nickel exploitée en souterrain.

3.2. LOCALISATION

La mine de Kylylahti (Latitude: 62°51'23,94"N, Longitude: 29°20'14,9"E) est située dans la province d'Outokumpu et le district de Keretti en Finlande, à environ 375 km au nord-est d'Helsinki (Figure 7).



Figure 7 : Localisation de la mine de Kylylahti (Finlande).

3.3. EXPLOITANT

Boliden AB (www.boliden.com) est une compagnie suédoise d'exploration et de développement minier spécialisée dans l'acquisition, l'exploration, le développement de gisements métallifères et le traitement des minerais avec un accent sur les métaux de base. Boliden compte environ 4 900 employés pour 6 mines en exploitation, 6 usines de traitement et plus d'une vingtaine de projets en cours de développement répartis dans toute l'Europe du Nord.

Boliden AB détient 100 % des droits miniers sur la concession de Kylylahti, d'une superficie de 64 ha, qu'elle a rachetée en juillet 2014 à la compagnie Altona Mining Limited.

3.4. SUBSTANCES

Les substances ciblées à Kylylahti sont le cuivre (Cu), l'or (Au) et le zinc (Zn). Le nickel (Ni), le cobalt (Co) et l'argent (Ag) sont également exploités en sous-produits.

3.5. HISTORIQUE

Le gisement de Kylylahti a été découvert en 1984 suite à une campagne d'exploration et de sondage menée par la compagnie d'exploration d'Outokumpu Oy Exploration dans la province minière historique d'Outokumpu. Entre 1985 et 1998, Outokumpu Oy Exploration a modélisé et réalisé une estimation des ressources de Kylylahti. Plusieurs compagnies se sont ensuite succédées dans l'acquisition du permis de Kylylahti dont Altona Mining Ltd qui, après avoir réalisé une étude de faisabilité, a commencé l'exploitation du gisement début 2012 avant d'être rachetée par Boliden AB en juillet 2014.

3.6. GISEMENT

Le gisement polymétallique de Kylylahti, situé à 400 m de profondeur, est de type VMS (i.e. amas sulfuré volcanogénique) en lien avec l'hydrothermalisme affectant des roches ultrabasiques (serpentinites). Le contexte géodynamique généralement admis, lors de la mise en place de la minéralisation, est un contexte extensif proche d'une ride médio-océanique. Les roches encaissant le gisement sont des carbonates, des quartzites, des schistes noirs et des micaschistes d'âge Paléoprotérozoïque (2 500 à 1 600 Ma) très métamorphisées et déformées.

La minéralisation du gisement de Kylylahti se présente sous deux formes distinctes : des lentilles de sulfures massifs à semi-massifs (40 à 60% de sulfures) à l'interface des schistes noirs et des carbonates et, des sulfures disséminés dans les roches encaissantes telles que les carbonates, les skarns, les serpentinites et les quartzites (Figure 8). Les sulfures principalement rencontrés sont la pyrite, la pyrrotite et la chalcopyrite, parfois accompagnés de sphalérite, cobaltite et magnétite.

Le gisement a une géométrie tabulaire en forme de lentille subverticale de 1 500 m de long pour 15 m de puissance.

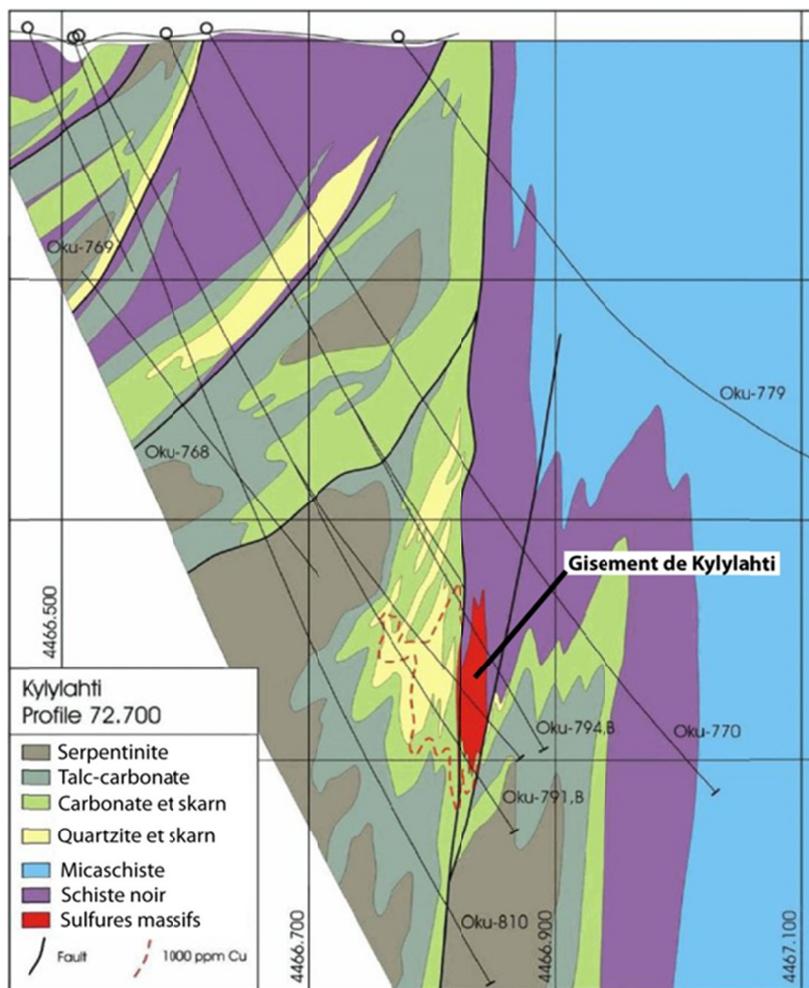


Figure 8 : Coupe géologique du gisement de Kylylahti avec la position des sondages réalisés (Source : GTK).

3.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'ÉVALUATION

Plusieurs compagnies successives ont réalisé des travaux d'exploration et d'évaluation du gisement de Kylylahti depuis 1979. En effet, après avoir mené une campagne d'exploration régionale de surface, la compagnie Outokumpu a réalisé 29 km de sondages cumulés, entre 1983 et 1986, afin d'évaluer le potentiel de Kylylahti et d'en évaluer les ressources en 1998. Entre 2004 et 2010, les compagnies Vulcan et Altona ont successivement réalisé sept nouveaux sondages pour une longueur cumulée de 2900 m, ainsi que des études géophysiques et géologiques de surface afin d'affiner l'évaluation des ressources et de proposer une étude de faisabilité en 2007.

3.8. DEBUT D'EXPLOITATION

Les travaux d'accès souterrain au gisement ont commencé fin 2010 et la mise en production du gisement de Kylylahti a débuté en janvier 2012.

3.9. PRODUCTION ANNUELLE

Boliden se base sur un taux de production moyen annuel de 550 000 t de minerai de teneur moyenne de 1,6% de Cu, 0,7 g/t d'or et de 0,6% de Zn, au cours de la durée de vie de la mine estimée entre 9 et 10 ans avec les réserves actuelles (Figure 9). Cela correspond à la production moyenne annuelle d'environ 8 000 t de concentré de cuivre, 8 400 onces (soit 260 kg) d'or et 2319 t de concentré de zinc. La production de cobalt et de nickel n'a toujours pas commencé car des aménagements de l'usine de traitement sont nécessaires.

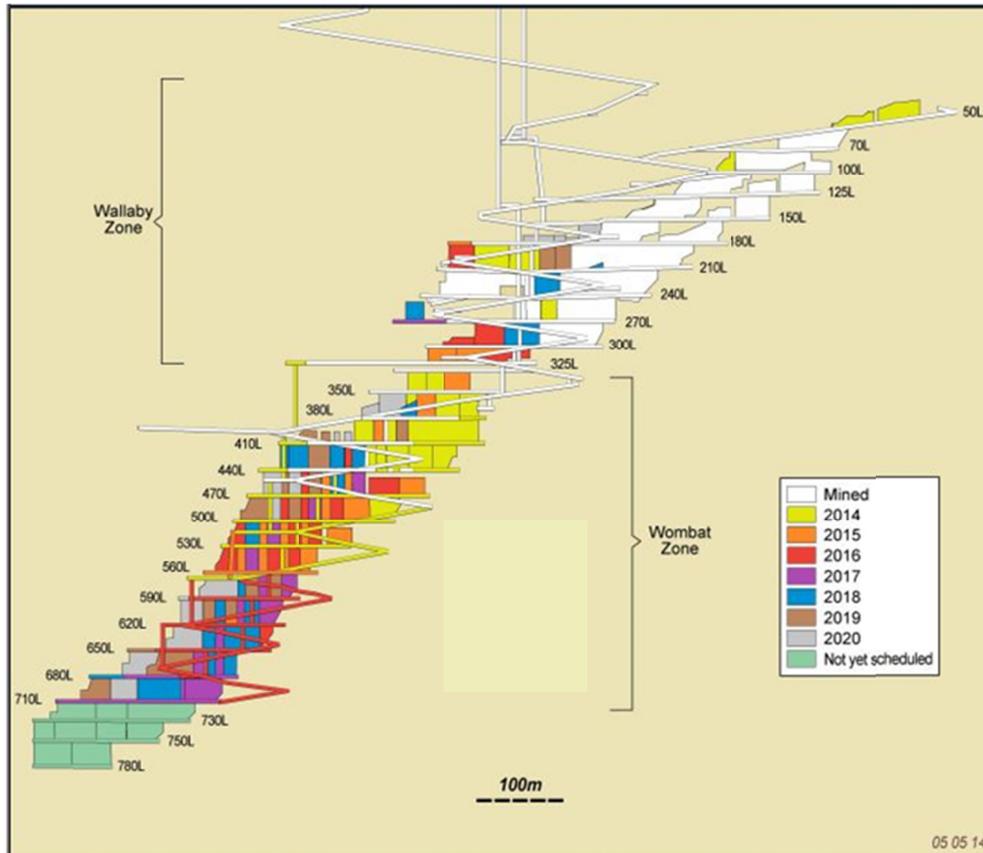


Figure 9 : Coupe schématique illustrant les prévisions annuelles d'exploitation de la mine de Kylylahti avec la localisation des galeries (Source : Altona Mining Ltd).

3.10. RESERVES ET RESSOURCES

En décembre 2014, les réserves et les ressources en cuivre, or, zinc, cobalt et nickel du gisement de Kylylahti évaluées par Boliden sont les suivantes :

- Réserves : 3,9 Mt de minerai de teneur moyenne de 1,58% de Cu, 0,96 g/t d'or et 0,61% de Zn, soit 61 620 t de Cu, 3,7 t d'or et 23 790 t de Zn contenues ;
- Ressources : 4,5 Mt de minerai de teneur moyenne de 0,70% de Cu, 0,60 g/t d'or, 0,34% de Zn, 0,21% de Co et 0,26% de Ni, soit 31 500 t de Cu, 2,7 t d'or, 15 300 t de Zn, 9 500 t de cobalt et 11 800 t de Ni contenues.

L'estimation des réserves et des ressources a été calculée à partir d'un cut-off (teneur minimale moyenne en dessous de laquelle le minerai n'est plus rentable) basé sur les concentrations de

cuivre dans le minerai. Cependant la valeur du cut-off appliquée n'est pas communiquée par Boliden.

3.11. EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERAI

Les opérations minières de Kylylahti sont réalisées en souterrain. En effet, la géométrie, la profondeur et les conditions de surface (enneigé 6 mois par an) imposent une exploitation souterraine. La méthode classiquement utilisée pour l'exploitation du gisement est la méthode par sous-niveaux abattus.

Le traitement du minerai est réalisé au sein de l'usine de Luikonlahti située en surface et à 43 km de la mine de Kylylahti (Figure 10). Le minerai est acheminé par la route et la capacité annuelle de production est de 700 000 t. Elle a été construite en 1962 et entièrement rénovée en 2012. La méthode de traitement utilisée dans l'usine de Luikonlahti est la flottation après broyage et concassage successif du minerai. Les concentrés de cuivre à 93% et d'or à 77,1% sortis de Luikonlahti sont acheminés vers la fonderie de Harjavalta, à 510 km par la route, et les concentrés de zinc à 49,3% sont acheminés vers la fonderie de Kokkola, à 400 km par la route.

Enfin, les résidus miniers sont principalement utilisés comme remblais dans les galeries exploitées. Une partie des résidus est également stockée sur le site de l'usine dont la capacité de stockage est limitée.

La mine de Kylylahti et l'usine de Luikonlahti disposent d'une main d'œuvre directe de 110 employés et de 120 sous-traitants. Aucune estimation concernant les emplois indirects n'est disponible.



Figure 10 : Les différentes étapes du traitement des minerais dans l'usine de Luikonlahti. Gauche : le broyage ; Centre : le concassage ; Droite : la flottation (Source : Altona Mining Ltd).

3.12. ENVIRONNEMENT

La mine de Kylylahti est située dans une région où de nombreuses exploitations minières sont présentes depuis des décennies et où la densité de population est très faible. En outre, la majorité des exploitations étant souterraines, les impacts socio-environnementaux sont limités,

bien que le réseau routier finlandais soit emprunté par les camions acheminant le minerai de la mine à l'usine (43 km entre Kylylahti et Luikonlahti, Figure 11). Aucune donnée concernant la consommation d'eau et l'alimentation en électricité de la mine et de l'usine n'est communiquée par Boliden.



Figure 11 : Vue aérienne du site de la mine de Kylylahti, Finlande (Source : Altona Mining Ltd).

3.13. CAPEX / OPEX

L'estimation du capex (dépenses d'investissement de capital) et de l'opex (coûts d'exploitation) a été réalisée en tenant compte des taux suivants : 1 € = 1,09 US\$ et 1 litre de diesel = 1,30 €.

- Capex : 39,3 M\$;
- Opex : 3,73 \$/kg de cuivre exploité.

4. La mine de Tabuaço (Portugal)

4.1. SYNTHÈSE

Le gisement de Tabuaço, au nord du Portugal, est détenu à 100% par la compagnie minière canadienne Colt Resources. Il s'agit d'un projet en cours d'étude de faisabilité concernant l'exploitation souterraine d'un gisement de tungstène contenu dans des skarns à scheelite. Le début de l'exploitation minière est prévu pour l'année 2017.

4.2. LOCALISATION

Le projet de Tabuaço (Latitude: 41°5'5,27"N, Longitude: 7°30'55,69"W) est situé dans la province de Viseu au nord du Portugal à environ 300 km au nord de Lisbonne et 100 km à l'est de Porto (Figure 12).



Figure 12 : Localisation de la mine de Tabuaço (Portugal).

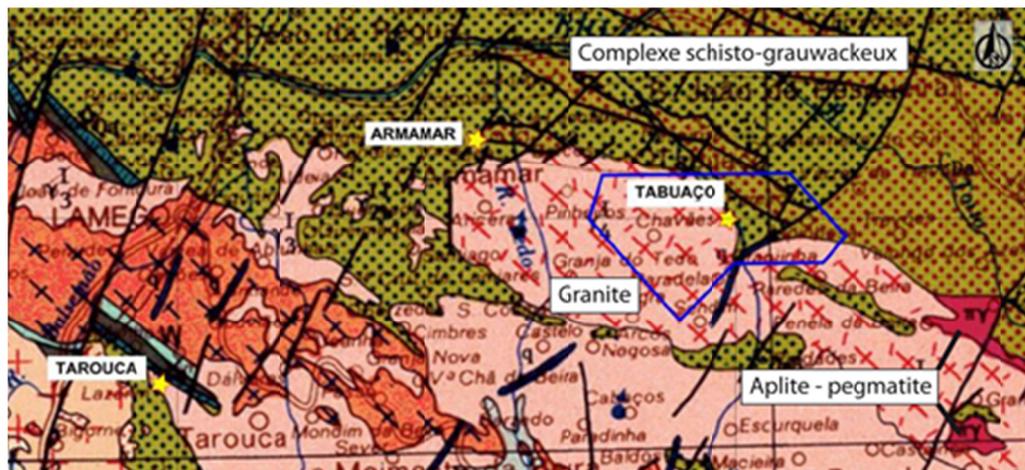


Figure 13 : Carte géologique et localisation du permis de Tabuaço (Portugal).

4.3. EXPLOITANT

Colt Resources (www.coltresources.com) est une compagnie canadienne d'exploration et de développement minier spécialisée dans l'acquisition, l'exploration et le développement de gisements métallifères avec un accent sur l'or et le tungstène. Cette compagnie se concentre actuellement sur des projets d'exploration avancés au Portugal où elle détient de nombreuses concessions.

Colt Resources dispose de 100% des droits miniers sur la concession couvrant le projet Tabuaço dont le permis d'exploitation expérimental (EML) (valable 4 ans renouvelable 1 an) de 45,12 km² a été délivré le 20 février 2013 à l'issue du projet d'exploration entrepris par la compagnie sur sa concession d'exploration d'Armanar-Meda entre 2007 et 2012.

4.4. SUBSTANCES

La substance principale ciblée à Tabuaço est le tungstène (W) présent sous forme de scheelite (CaWO₄). L'or (Au) et l'étain (Sn) seront également exploités en sous-produit.

4.5. HISTORIQUE

Dans les années 1970, des indices de scheelite contenue dans les skarns ont été mis en évidence le long de la rivière Távora par les géologues du Service de développement minier portugais. Entre 1980 et 1982, une exploration plus ciblée du district de Tabuaço a été réalisée par une joint-venture entre la Sociedade Portuguesa de Empreimentos et une filiale du BRGM.

4.6. GISEMENT

Le permis de Tabuaço est situé au contact de deux unités géologiques majeures de la Zone Centrale Ibérique (ZCI), à savoir les granites varisques de Beiras et le complexe schisto-grauwackeux d'âge Cambrien inférieur (542 à 521 Ma) de la vallée de Douro (Figure 13). Ce dernier, composé de schistes, siltstones, grès, grauwackes et lits de carbonates a subi un faible métamorphisme régional et a encaissé de nombreuses intrusions granitiques à l'origine d'importantes auréoles de métamorphisme de contact au cours de l'orogénèse varisque.

Le métamorphisme de contact est responsable du métasomatisme (de la modification chimique) des carbonates de l'encaissant produisant des skarns à quartz-grenat-amphibole-pyroxène-scheelite, hôtes de la minéralisation-cible en tungstène. Le gisement de Tabuaço est donc défini comme un skarn à scheelite (Figure 14).

Du point de vue géométrique, la zone minéralisée est découpée en trois zones de skarn relativement continues de structure tabulaire avec un pendage moyen (20°C environ) orienté vers le sud-ouest et dont la profondeur se situe entre 105 et 132 m environ.

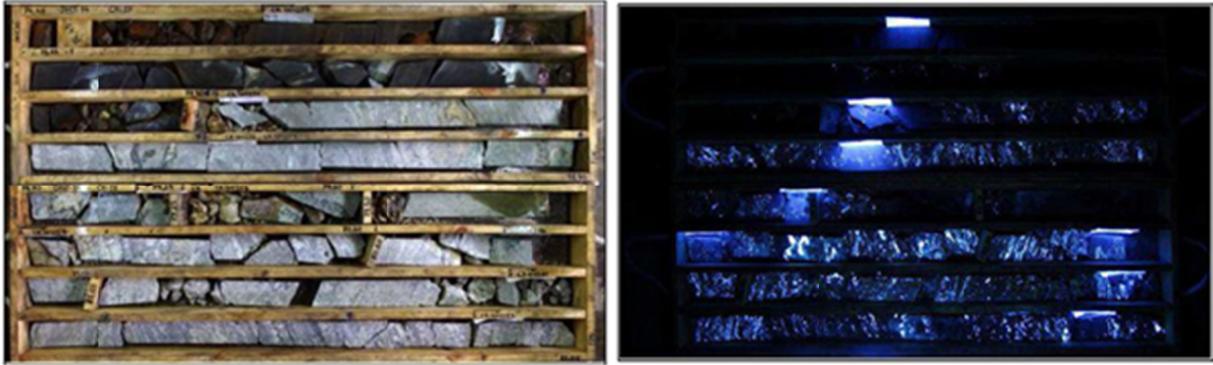


Figure 14. Gauche : Caisse de carotte de sondage du gisement de Tabuaço. Droite : Mise en évidence de la présence de scheelite (CaWO_4) à la lumière UV (Source : ColtResources.com).

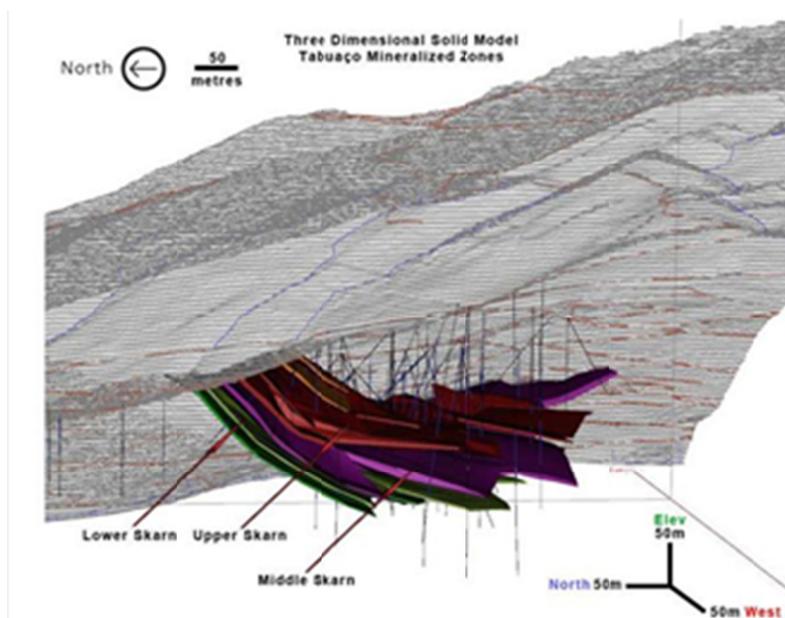


Figure 15 : Modélisation 3D du gisement de Tabuaço avec la mise en évidence de trois zones de skarn (lower, upper et middle) (Source : ColtResources.com).

4.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'ÉVALUATION

Les travaux d'exploration et d'évaluation du gisement de Tabuaço ont été réalisés entre 2007 et 2013. Ces travaux comprennent notamment des études géologiques de surface (cartographie géologique, prospection géochimique, étude structurale, étude minéralogique, etc.), des sondages (82 sondages d'exploration pour une longueur cumulée de 9 760 m), des tests métallurgiques, une modélisation 3D du gisement et des études conceptuelles des infrastructures minières et des enjeux environnementaux (Figure 15 et Figure 16).



Figure 16 : Sondage d'exploration du gisement de Tabuaço (Source : ColtResources.com).

4.8. DEBUT D'EXPLOITATION

Actuellement en cours d'étude de développement des réserves et de pré faisabilité, la construction des infrastructures est prévue pour 2016 et la mise en production effective est estimée courant 2017.

4.9. PRODUCTION ANNUELLE

Colt Resources se base sur un taux de production moyen quotidien de 1 415 t de minerai durant la durée de vie de la mine, estimée à 10 ans avec les ressources actuelles. Le plan de production proposé est de 265 jours par an à raison de 16 heures par jour concernant la mine et de 360 jours par an concernant l'usine.

4.10. RESERVES ET RESSOURCES

L'estimation des ressources en tungstène pour le projet de Tabuaço sont les suivantes :

- Ressources identifiées : 760 000 t de minerai de teneur moyenne de 0,58% de WO_3 , soit 4 400 t de WO_3 contenues ;
- Ressources présumées : 1 330 000 t de minerai de teneur moyenne de 0,57% de WO_3 , soit 7 600 t de WO_3 contenues.

L'estimation des ressources a été calculée à partir d'un cut-off (teneur minimale moyenne en dessous de laquelle le minerai n'est plus rentable) de 0,3% de WO_3 par tonne de minerai, évalué par la compagnie en fonction des coûts d'exploitation et de fonctionnement estimés. Il n'y a actuellement aucune évaluation des réserves pour le gisement de Tabuaço.

lors de l'étude de faisabilité. Cependant, Colt Resources semble s'orienter vers un couplage entre des prélèvements d'eau de surface (sources et rivières) et des prélèvements d'eau souterraine afin d'avoir une gestion durable sans entrer en concurrence avec les exploitants agricoles.

Un plan de traitement adapté des eaux de forage et de rejet de l'usine est également prévu. Les différents impacts socio-environnementaux tels que les nuisances sonores, les vibrations lors des explosions, les rejets possibles dans l'atmosphère et dans l'eau ou une modification du caractère visuel du paysage sont à l'étude par Colt Resources afin d'être minimisés ou évités. Aucun plan de réhabilitation n'a à ce jour été rendu public, cependant il devra obligatoirement être fourni lorsque que Colt Resources fera la demande d'un permis minier complet.



Figure 18 : Paysage de la région de Tabuaço (Source : ColtResources).

4.13. CAPEX / OPEX

L'estimation du capex (dépenses d'investissement de capital) et de l'opex (coût d'exploitation) a été réalisée en tenant compte des taux suivants : 1€ = 1,30 \$ et 1 Litre de diesel = 1,50€ et, dans l'optique d'une sous-traitance des opérations d'extraction par un opérateur minier.

- Capex :

Suivant les options proposées par le cabinet de consulting SKR le capex total estimé varie entre 72,7 et 144,3 M\$;

- Opex :

Suivant les options proposées par le cabinet de consulting SKR l'opex total estimé varie entre 251,7 et 302,3 M\$.

5. La mine de Tara (Irlande)

5.1. SYNTHÈSE

La mine de Tara, à l'est de l'Irlande, est détenue à 100 % par la compagnie minière Boliden AB depuis 2004. Il s'agit d'une mine de zinc-plomb-argent exploitée en souterrain. C'est l'une des mines souterraines les plus profondes du monde.

5.2. LOCALISATION

La mine de Tara (Latitude : 53°39'19"N, Longitude : 6°42'54"W) est située dans la province du Leinster et le comté de Meath en Irlande, à environ 2 km à l'ouest de Navan et 45,5 km au nord-ouest de Dublin (Figure 19).



Figure 19 : Localisation de la mine de Tara.

5.3. EXPLOITANT

Boliden AB (www.boliden.com) est une compagnie suédoise d'exploration et de développement minier spécialisée dans l'acquisition, l'exploration, le développement de gisements métallifères et le traitement des minerais avec un accent sur les métaux de base. Boliden compte environ 4 900 employés pour 6 mines en exploitation, 6 usines de traitement et plus d'une vingtaine de projets en cours de développement répartis dans toute l'Europe du Nord.

Boliden AB détient 100% des droits miniers sur la concession de Navan, d'une superficie de 803 ha et sur laquelle se situe la mine de Tara, qu'elle a rachetée en janvier 2004 à la compagnie Outokumpu pour 1,11 G\$.

5.4. SUBSTANCES

La substance principalement ciblée à Tara est le zinc (Zn). Le plomb (Pb) et l'argent (Ag) sont également exploités comme sous-produits.

5.5. HISTORIQUE

Le gisement de Tara a été découvert en 1970 suite à une campagne géochimique menée par la compagnie Tara Exploration & Development. Une campagne intensive de sondages a permis de mettre en évidence un gisement, défini comme le plus grand gisement de zinc d'Europe, avec 70 millions de tonnes de minerai à 10,1% de zinc et 2,6% de plomb. Tara E&D a commencé la production de la mine en 1977 puis l'a revendue à Outokumpu en 1986. C'est en 2004 que Boliden AB a acquis la mine de Tara avec l'objectif de prolonger la durée de vie de la mine. En janvier 2017, Boliden AB annonce un plan d'investissement de près de 44 M€ après la découverte de nouvelles extensions de la minéralisation au-delà de 1,9 km de profondeur, qui augmentent la durée d'exploitation de 20 années supplémentaires.

5.6. GISEMENT

Le gisement de Tara est encaissé dans des calcaires et dolomies connus sous le nom de « lits pâles » et datés du Carbonifère inférieur (environ 360 Ma). Le gisement se prolonge à travers une épaisseur verticale d'environ 200 m avec plusieurs zones minéralisées à environ 800 m de profondeur. La zone minéralisée principale, d'une puissance maximale de 80 m, est composée d'une série de lentilles stratiformes empilées et séparées par des épaisseurs variables de stérile. Un second corps minéralisé d'une puissance variant entre 4 et 16 m est situé au sud de la mine de Tara, et une troisième zone minéralisée localisée dans des brèches de débris de flux chaotique contient localement une forte concentration de zinc-plomb (Figure 20).

Les minéraux métallifères exploités sont la sphalérite (ZnS) pour le zinc et la galène (PbS) pour le plomb. Ils sont généralement accompagnés de sulfures de fer tels que la pyrite ou la marcassite. La gangue (stérile) est essentiellement composée de calcite, dolomite et barytine. Le gisement de Tara est donc défini comme étant de type « Mississippi Valley Type », contenu dans des carbonates.

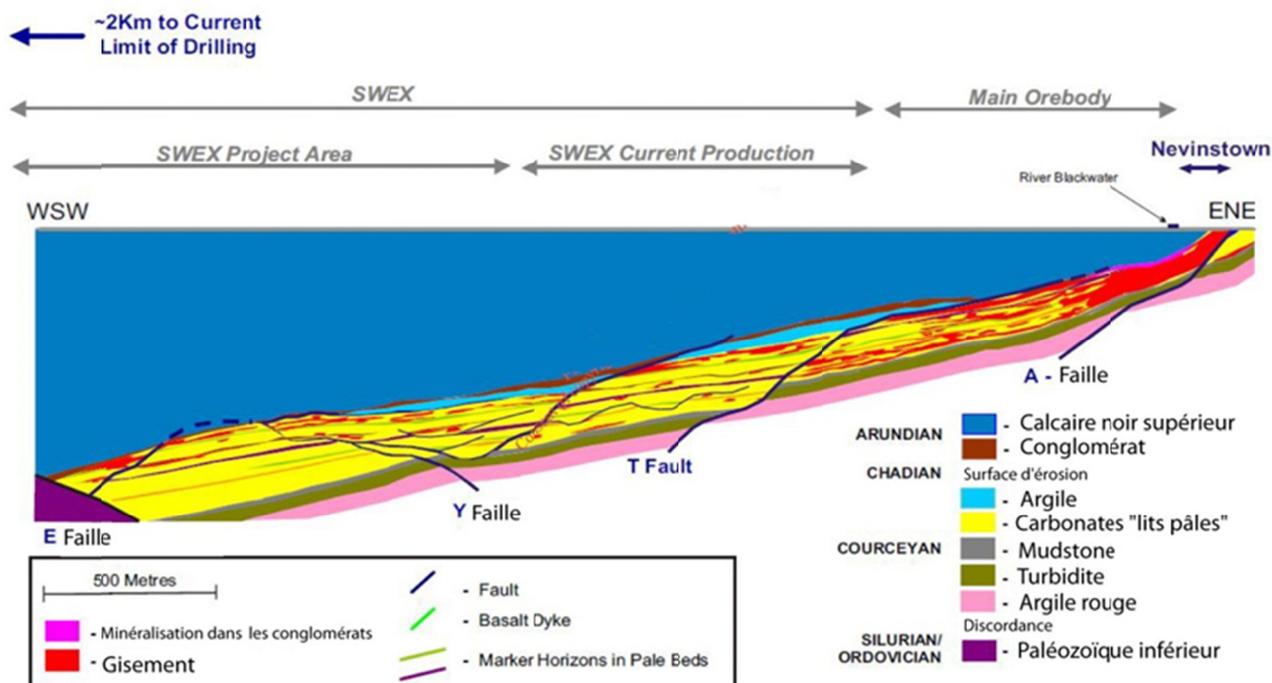


Figure 20 : Coupe géologique OSO-ENE de la partie centrale du gisement de Tara (en rouge) (Source : Tara mine Ltd).

5.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'EVALUATION

Les premiers travaux d'exploration du gisement de Tara ont débuté au milieu des années 1960 avec une vaste campagne géochimique et géologique de surface menée par la compagnie Tara E&D. Ces travaux ont permis de mettre en évidence une anomalie en zinc qui a ensuite été évaluée grâce à de nombreux sondages en 1970.

En 2011 et 2012, la compagnie Boliden AB a lancé une nouvelle campagne d'exploration afin d'augmenter la durée de vie de la mine de Tara et découvrir de nouveaux gisements sur le permis. Ainsi, 100 km de ligne sismique 2D ont été réalisés avec un excellent résultat qui a mené la compagnie à faire de nouveaux sondages et à réévaluer ses réserves de 2,2 Mt.

5.8. DEBUT D'EXPLOITATION

Les travaux de développement en souterrain du gisement de Tara ont commencé en 1973 et la mise en production a débuté en juin 1977.

5.9. PRODUCTION ANNUELLE

Depuis l'ouverture de la mine en 1977, environ 80 Mt de minerai ont été produites, ce qui correspond à 2,3 Mt annuel avec une interruption de la production entre 2001 et 2003 à cause de la chute du cours du zinc.

En 2014, 2,29 Mt de minerai de teneur moyenne de 6,9% de zinc et de 1,6% de plomb ont été extraites. Cela correspond à 150 000 t de zinc et 22 000 t de plomb produites. La teneur moyenne du minerai de 1,6 g/t en argent a également permis de produire 2,21 t de ce métal. En 2015, la production s'est établie à 2,197 Mt de minerai dont 133 000 t de zinc, 17 000 t de plomb et 1 273 kg d'argent.

5.10. RESERVES ET RESSOURCES

En décembre 2014, les réserves et les ressources en zinc et plomb du gisement de Tara évaluées par Boliden sont les suivantes :

- Réserves : 15,3 Mt de minerai de teneur moyenne de 6,6% de Zn et 1,5% de Pb, soit 1,013 Mt de Zn et 233 000 t de Pb contenues ;
- Ressources : 12,6 Mt de minerai de teneur moyenne de 6,2% de Zn et de 1,5% de Pb, soit 781 200 t de Zn et 258 300 t de Pb contenues.

Aucune estimation de réserves et de ressources n'est communiquée concernant l'argent.

L'estimation des réserves et des ressources a été calculée à partir d'un cut-off (teneur minimale moyenne en dessous de laquelle le minerai n'est plus rentable) basé sur les concentrations de zinc dans le minerai. Cependant la valeur du cut-off appliquée n'est pas communiquée par Boliden.

5.11. EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERAI

Les opérations minières de Tara sont réalisées en souterrain, à une profondeur allant de 80 à 1 000 m (Figure 21).

Actuellement, 60 galeries horizontales renforcées avec des piliers sont en cours d'exploitation. Chaque année, 15 km de galeries supplémentaires sont ainsi exploitées pour alimenter l'usine. Deux méthodes d'exploitation sont utilisées : la méthode de trous verticaux avec extraction du

minerai de l'éponte inférieure et la méthode de long de trous horizontaux lorsque la zone minéralisée est plus fine.

Une fois extrait, le minerai est directement concassé en fraction <150 mm par quatre concasseurs souterrains avant d'être acheminé par convoyeurs vers l'usine de traitement en surface (Figure 22). Le procédé de traitement est classique avec une succession d'étapes de concassage secondaire et tertiaire et de broyage du minerai avec en bout de chaîne, une série de cellules de flottation qui séparent le plomb en premier lieu puis le zinc.

Les concentrés de zinc à 54,6% et de plomb à 57,6% sont acheminés par train jusqu'à Dublin et par bateau vers les usines de concentration européennes.

Enfin, les résidus miniers sont principalement utilisés comme remblai dans les galeries exploitées à hauteur de 1,3 Mt/an.

La mine et l'usine de Tara disposent d'une main d'œuvre directe de 728 employés avec une estimation de 2 000 emplois indirects.

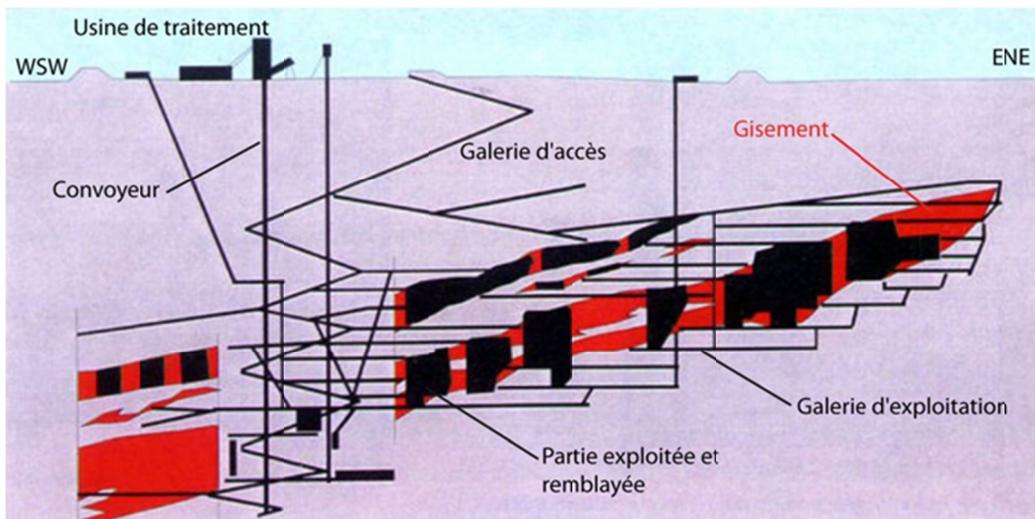


Figure 21 : Coupe schématique de la mine de Tara avec la mise en évidence du gisement stratiforme et les galeries d'exploitation (Source : Boliden).



Figure 22 : L'usine de traitement de la mine de Tara (Source : Boliden).

5.12.

5.13. ENVIRONNEMENT

Le gisement de Tara se trouve à la confluence de deux rivières, la Boyne River et la Blackwater River. La rivière de Boyne est l'une des principales rivières pour la pêche de saumons en Irlande. Ainsi, six ans avant que la mine n'entre en production, une étude environnementale établissant les démarches à suivre a été menée. Ce programme environnemental pionnier a reçu une reconnaissance avec un prix du gouvernement irlandais.

Depuis 1991, trois employés à plein temps spécialisés dans l'étude et le suivi des paramètres environnementaux, réalisent quotidiennement des tests sur le terrain et en laboratoire afin de produire un rapport mensuel fourni au conseiller du comté.

En outre, en 1991, Outokumpu a lancé un programme de recherche sur l'exploitation de Tara ayant pour but d'en faire une exploitation minière sans déchets. Aujourd'hui, Boliden continue à limiter les impacts négatifs sur l'environnement.

Concernant la consommation en électricité, la mine est alimentée par le réseau public et l'eau, nécessaire au fonctionnement de la mine et de l'usine, est pompée dans les bassins de décantation. Le surplus d'eau est évacué après un traitement contre l'acidité avec de la chaux.

5.14. CAPEX / OPEX

L'estimation du capex (dépenses d'investissement de capital) et de l'opex (coûts d'exploitation) est la suivante :

- Capex : 273,2 M\$, dont 150 M\$ investis lors du lancement de la production en 1977 et 36,2 millions de dollars investis par Boliden depuis l'acquisition de la mine de Tara ;
- Opex : 114,8 \$/t de minerai extrait. Les coûts d'extraction et de fonctionnement de l'usine sont pris en compte dans le calcul de l'opex.

6. La mine de Mittersill (Autriche)

6.1. SYNTHÈSE

La mine de Mittersill, à l'ouest de l'Autriche, est détenue à 100 % par la compagnie minière Wolfram Bergbau und Hütten. Il s'agit d'une mine de tungstène (W), présent sous forme de scheelite (CaWO_4), et exploitée en souterrain depuis 1979 avec des contraintes environnementales importantes.

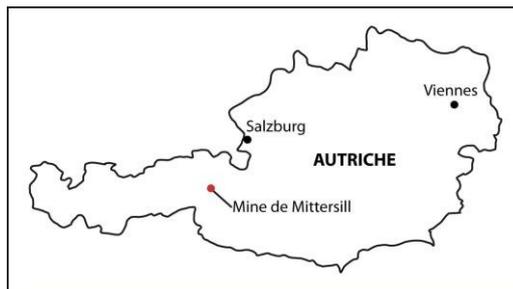


Figure 23 : Localisation de la mine de Mittersill en Autriche.

6.2. LOCALISATION

La mine de Mittersill (Latitude : $47^{\circ}11'49,20''\text{N}$, Longitude : $12^{\circ}29'49,19''\text{E}$) est située dans la province de Salzburg, dans les Alpes Centro-Orientales, au sud de la ville de Mittersill. La mine se trouve au milieu d'un espace protégé adjacent au Parc national du Haut-Tauern.

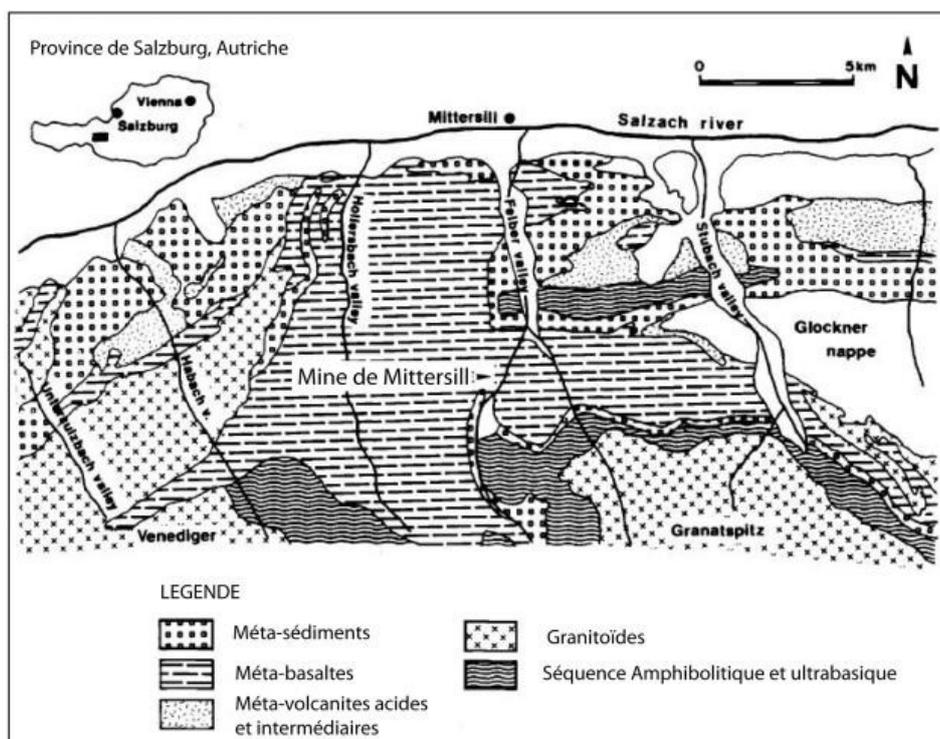


Figure 24 : Carte géologique simplifiée de la région de Mittersill (Source : Thalhammer et al., 1989).

6.3. EXPLOITANT

Wolfram Bergbau und Hütten AG (WBH) (www.wolfram.at) est une compagnie germano-autrichienne de développement minier créée en 1975 et spécialisée dans le tungstène et les métaux de base. Elle détient 100% des droits miniers sur la concession de Mittersill qu'elle exploite depuis 1976 et qui, à l'heure actuelle, est son seul projet actif.

6.4. SUBSTANCES

La substance principale ciblée à Mittersill est le tungstène (W) présent sous forme de scheelite (CaWO_4) (Figure 25).

6.5. HISTORIQUE

Le gisement de tungstène de Mittersill a été découvert en 1967 par l'universitaire Thalhammer lors de travaux d'exploration. Exploité depuis 1976, Mittersill est toujours en cours d'exploitation malgré une fermeture temporaire entre 1993 et 1995 pour des raisons financières liées à la chute du cours du tungstène.

6.6. GISEMENT

Le gisement de scheelite de Mittersill se trouve dans la partie centrale du Tauern, plus précisément à l'intérieur du complexe Habach de la couverture schisteuse inférieure. Le complexe Habach est constitué d'une épaisse séquence de roches volcano-sédimentaires polymétamorphiques du début du Paléozoïque dans laquelle la scheelite, dont plusieurs générations ont été décrites, est soit disséminée, soit associée à des veines de quartz reliées à des intrusions de granitoïdes d'âge Hercynien (Figure 24).



Figure 25 : Mise en évidence de scheelite en lumière UV (Cliché : www.wolfram.at).

6.7. TRAVAUX D'EXPLORATION ET D'EVALUATION

Les travaux d'exploration et d'évaluation du gisement de Mittersill ont été menés entre 1971 et 1975, période durant laquelle 6 400 m de sondages ont été réalisés. Actuellement, l'exploration continue par carottage depuis les galeries souterraines.

6.8. DEBUT D'EXPLOITATION

L'exploitation du gisement de Mittersill a été réalisée en deux phases. Une première phase a été effectuée à ciel ouvert de 1976 à 1986 dans la partie orientale du gisement, et une seconde phase exploitant la partie occidentale du gisement en souterrain a débuté en 1979. L'exploitation souterraine est toujours active.

6.9. PRODUCTION ANNUELLE

Depuis l'ouverture de la mine en 1976, Wolfram Bergbau und Hütten AG a produit 14 Mt de minerai de teneur moyenne de 0,5 % de WO_3 . Cela correspond à environ 45 500 t d'oxyde de tungstène (WO_3). L'équivalent en production annuelle est de 400 000 t de minerai de teneur moyenne de 0,5 % de WO_3 , soit 1380 t de WO_3 .

6.10. RESERVES ET RESSOURCES

Aucune information fournie par Wolfram Bergbau und Hütten AG n'est disponible concernant les réserves et les ressources du gisement de Mittersill.

6.11. EXTRACTION ET TRAITEMENT DU MINERAI

La mine de Mittersill (Figure 26) étant située dans une réserve naturelle adjacente au Parc national le plus important d'Autriche, presque toutes les infrastructures sont souterraines (i.e. atelier d'entretien, vestiaire, magasin, atelier de concassage et de criblage, etc.). L'usine de concentration a été construite en surface à 3 km dans un site moins sensible et le minerai y est transporté par un convoyeur à bande souterrain.

L'entrée principale de la mine se situe à une altitude de 1 175 m et les travaux miniers se situent entre 1 267 m et 675 m, accessibles par une rampe de pente de 12,5%. L'atelier de concassage et de criblage est disposé au fond de la mine, à 850 m de profondeur, et consiste en un concasseur à mâchoires suivi de deux concasseurs giratoires. Le minerai concassé est ensuite acheminé vers l'usine de concentration de Saint-Martin, située à proximité immédiate, par un convoyeur à bande souterrain long de 3 km.

Jusqu'à présent, 50 km de galeries de 22 m² de section ont été créées. Environ 2 000 m d'extension et un développement vertical de 13 m sont nécessaires chaque année pour assurer une production annuelle d'environ 400 000 t. Cela nécessite la consommation annuelle d'environ 52 000 détonateurs et quelques 200 t d'explosifs.

La méthode d'exploitation essentiellement utilisée est la méthode par sous-niveau abattu avec un remblayage partiel. Il s'agit de la méthode idéale lorsque la minéralisation est la plus puissante et le minerai relativement tendre dans une roche encaissante dure. Les méthodes par chambres, perpendiculaires aux veines minéralisées avec un remblayage ultérieur, et par chambres, le long des veines minéralisées avec des consolidations par piliers et un remblayage tardif, sont parfois utilisées en fonction de la géométrie du gisement.

Le traitement du minerai est réalisé au sein de l'usine de Saint-Martin (Figure 27) par une cellule de flottation de dégrossissage et subit cinq étapes de lavage jusqu'à l'obtention d'une concentration de 32% en WO_3 .

Enfin, du fait de la teneur en tungstène du minerai, la quantité de résidus après valorisation est presque égale à celle du minerai extrait. Ces résidus sont utilisés au maximum comme granulats ou comme remblais pour la mine, essentiellement sous forme de pâte de remplissage. Le solde est mis en stockage définitif dans la vallée de Salzach à 10 km.

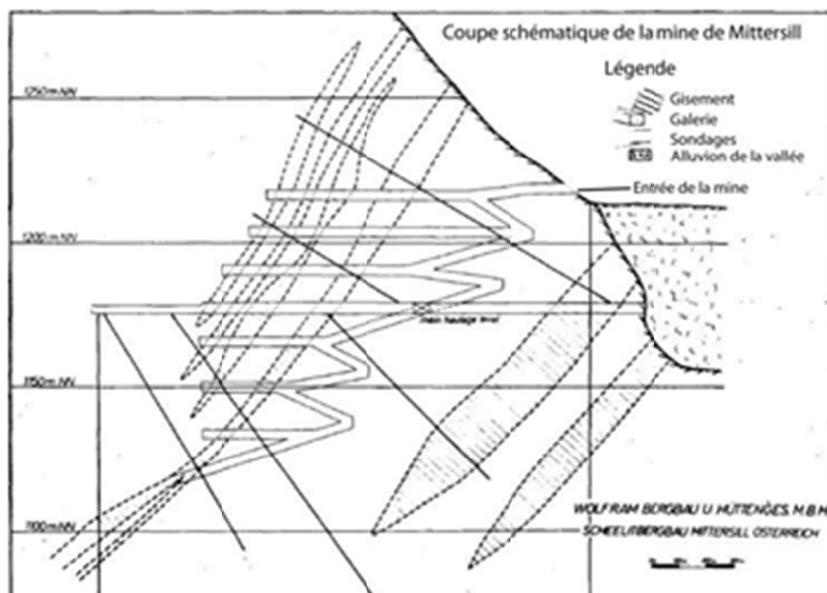


Figure 26 : Coupe schématique de la mine de Mittersill avec la mise en évidence du gisement de scheelite stratiforme et les galeries d'exploitation (Source : Thalhammer et al., 1989).



Figure 27 : Photo de l'usine de traitement de Saint-Martin construite à 3 km de la mine de Mittersill et dont le propriétaire est Wolfram Bergbau und Hütten AG (Cliché : www.wolfram.at).

6.12. ENVIRONNEMENT

La mine de Mittersill (Figure 28), située dans un environnement remarquable, a très peu d'impacts environnementaux. En effet, les infrastructures sont pour la plupart souterraines et l'usine de flottation est située à 3 km en aval afin d'être protégée des avalanches. L'essentiel des résidus stériles étant utilisés comme remblai, cela permet de limiter leur dépôt au niveau de la digue à stériles prévue à cet effet et dont la capacité est limitée.

En outre, la certification ISO14001 concernant entre autre les normes environnementales a été accordée à Wolfram Bergbau und Hütten AB en 1999, et ce jusqu'en 2016. La mine de Mittersill est la première mine de tungstène au monde ayant reçu cette certification.

Du point de vue énergétique, la mine est alimentée par le réseau électrique public. L'électricité est livrée à 25 kV et transformée à 6 kV pour la distribution interne. La mine est ventilée par 7 500m³/min d'air frais, avec une prise d'air dans la rampe du convoyeur, soufflé dans la mine par plusieurs ventilateurs. La capacité des pompes installées pour l'évacuation de l'eau de la

mine peut être considérée comme étant relativement basse, car toute l'eau au-dessus de 1 065 m peut s'évacuer par gravité. Seule l'eau provenant des zones les plus basses doit être pompée.



Figure 28 : Entrée principale de la mine souterraine de tungstène de Mittersill, en Autriche (Cliché : Wolfram Bergbau und Hütten AG).

6.13. CAPEX / OPEX

Aucune information, ni estimation concernant le capex et l'opex n'est fournie par Wolfram Bergbau und Hütten.

7. Références

Altonia mining limited, Geology Manager 2014. Geology and mineral resources of the Kylylahti Mine.

Ashton, et al., 2003. The Navan Orebody - discovery and geology of the South West Extension. Irish Assoc. Econ. Geol., Dublin 405-436.

Boliden Group, 07.2014. Acquisition of mine and exploration rights in Finland.

Colt Resources, Nov. 2011 – Initial NI 43-101 Resource Estimate for its 100% Tabuaço Tungsten Project, Northern Portugal.

Kontinen, 2005. Geology of the Kylylahti Cu-Co Deposit, Finland. Geological Survey of Finland.

Mineral deposit report, 04.2015. Kylylahti. Geological Survey of Finland.

SKR Consulting (UK), Oct. 2013 - A preliminary economic assessment on the Tabuaço tungsten project, Portugal.

Thalhammer et al., 1989. The Mittersill scheelite deposit, Austria. Economic Geology 84, 1153-1171.

Tara Mine Ltd, 2003. Extension of Mining operation into Nevinstown orebody.

Wolf Minerals, 2011. HEMERDON Tungsten and Tin Project Definitive Feasibility Study.

Wolf Minerals, April 2015. Investor Presentation by Russel Clark, Managing Director.

Internet : www.Boliden.com

www.mining-technology.com

www.wolfram.at

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

