

RAPPORT D'ÉTUDE

Mine d'argent-mercure d'Imider, province de Tinghir, Maroc

Analyse des risques potentiels sur les eaux souterraines et de surface

Résultats d'une étude bibliographique et d'une mission de terrain réalisée du 21 au 23 avril 2019



Avril 2020

► L'association SystExt

SystExt pour « Systèmes extractifs et Environnements » est une association de solidarité internationale, née en 2009 au sein de la fédération Ingénieurs sans frontières (ISF) France. L'association se donne pour objectif d'obtenir la transparence et la démocratisation des enjeux associés aux filières minérales. Elle se concentre sur l'industrie minière et ses impacts humains, sanitaires, sociaux et environnementaux. La spécificité de SystExt réside dans le fait que ses membres sont des professionnels du secteur, ou confrontés à ce secteur dans l'exercice de leur métier. Ses missions s'organisent autour de quatre champs d'action : veille citoyenne et accompagnement de la société civile, sensibilisation, formation et expertise.

► Remerciements

SystExt remercie chaleureusement toutes les personnes du collectif *Mouvement sur la voie de 96 Imider* pour leur accueil et leur générosité, ainsi que pour leurs témoignages et les informations transmises. L'association remercie également les journalistes Célia IZOARD et Laura PANDELLE, et la journaliste Hélène FERRARINI, pour leur collaboration tout au long de la mission d'avril 2019, ainsi qu'Omar Radi, journaliste marocain, qui a gracieusement mis à disposition de l'association des photographies et des données sur le site minier, qu'il a pu visiter en février 2017.

Par ailleurs, la réalisation de cette étude n'aurait pas été possible sans le soutien de la Fondation Charles Léopold Mayer pour le progrès de l'Homme et de la Fondation Un monde par tous.

► Illustrations page de couverture

- ① Mont Alebban, siège de la mobilisation
- ② Ferme et zone de culture à Imider
- ③ Puits d'eau à proximité de l'oued principal *Assif NTarguit*
- ④ Mine à ciel ouvert principale d'Imider (mise à disposition gracieuse par Omar RADI - février 2017)
- ⑤ Remplissage en cours du parc à résidus n°11, mine d'Imider
- ⑥ Puits d'accès aux travaux miniers souterrains, mine d'Imider
- ⑦ Canal d'irrigation à Anounizem, commune d'Imider

Crédit (sauf si précisé) : SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR

► Crédits des contenus de ce rapport (sauf si précisé)



SystExt, Avril 2020, CC BY-NC-SA 3.0 FR
**Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les
Mêmes Conditions 3.0 France**

SOMMAIRE

1. Introduction.....	5
1.1. Contexte.....	5
1.2. Cadre de l'étude.....	7
2. Géologie et gîtologie.....	9
2.1. Contexte géologique local.....	9
2.2. Contexte gîtologique.....	10
2.3. Minéralogie et géochimie.....	13
3. Hydrogéologie et hydrologie.....	14
3.1. Ressources en eaux souterraines.....	14
3.2. Hydrographie.....	16
3.3. Usages de l'eau pour les besoins domestiques et agricoles.....	18
3.4. Alimentation en eau de la mine et controverses.....	19
4. Exploitation minière.....	22
4.1. Historique.....	22
4.2. Extraction du minerai et schéma d'exploitation.....	24
4.3. Traitement du minerai.....	26
5. Sources de pollution.....	29
5.1. Effluents liquides et aériens.....	29
5.2. Dépôts de stériles miniers.....	30
5.3. Parc à résidus miniers.....	31
6. Risques potentiels.....	36
6.1. Risques associés aux eaux souterraines.....	36
6.2. Risques associés aux parc à résidus et digues.....	39
6.3. Risques associés aux eaux de surface.....	41
7. Conclusion et recommandations.....	48

RÉSUMÉ

A quelques 300 km au sud-est de Marrakech se situe la commune d'Imider, dont les populations vivent essentiellement de l'activité agricole vivrière. Dans cette région caractérisée par un climat semi-désertique, la ressource en eau est rare et se trouve au cœur de conflits socio-environnementaux depuis de nombreuses années. Les eaux souterraines sont en effet exploitées pour l'alimentation d'une mine d'argent-mercure installée dans la zone depuis 1969. D'après les populations locales, les pompages pour les besoins en eau de la mine seraient à l'origine de diminutions de débits et de tarissements des captages d'eau qu'elles utilisent.

En réponse à une sollicitation du collectif Mouvement sur la voie de 96 Imider, SystExt a mené une analyse des risques potentiels sur les eaux souterraines et de surface, comprenant deux volets : une étude bibliographique détaillée et une mission de terrain de deux jours en avril 2019. Le secteur d'étude est limité : au nord, par le village de Timadrouine, à l'ouest, par le village d'Imider, au sud, par le site minier et à l'est, par le site minier annexe dit « Puits V ».

Schématiquement, on distingue quatre ensembles géologiques sur le secteur : la série sédimentaire du *Méso-Cénozoïque* au nord, la série sédimentaire du *Paléozoïque* au centre, le socle *Précambrien* au sud, sur lequel repose le site minier, ainsi que les alluvions du *Quaternaire* qui recouvrent notamment le fond de la vallée de l'oued principal *Assif NTarguit*. Chacun de ces ensembles comporte des formations aquifères et des structures drainantes permettant la circulation des eaux. Il apparaît peu probable que les eaux circulant au niveau du site minier communiquent avec les terrains aquifères des autres compartiments. Cependant, les données hydrogéologiques recueillies ne permettent pas d'exclure l'existence de connexions hydrauliques entre les nappes souterraines captées au nord de la commune, dont les eaux sont canalisées vers la mine, et les nappes captées par les populations riveraines, dans la vallée.

Les zones minéralisées exploitées dans le gisement sont principalement composées de sulfures et de sulfosels, avec la prévalence de nombreux métaux et métalloïdes : argent, mercure, arsenic, antimoine, cuivre, zinc, plomb, cobalt, nickel, vanadium et chrome, notamment. Les résidus miniers sont stockés dans douze parcs à résidus totalisant une surface de 100 hectares. Des facteurs pénalisants ont été mis en évidence sur leur situation : non couverture des parcs à résidus, non étanchéification en base des ouvrages, comblement presque complet des fonds de vallon au nord du site minier, obturation de certains cours d'eau, « superposition accidentelle » de parcs à résidus.

Des mécanismes d'entraînement de matériaux résiduaux se produiraient depuis des années et se poursuivraient actuellement (fuites, écoulements de lixiviats, érosion des déchets miniers et des sols pollués présents au niveau du site minier, etc.). Il en résulte un risque de pollution des cours d'eau qui traversent le site minier et de l'oued principal *Assif NTarguit*, tout particulièrement le compartiment « sédiments et alluvions ». Ceci menace la qualité des eaux captées dans la vallée par la population riveraine.

SystExt recommande :

- la mise à disposition de la société civile des études hydrogéologiques sur les zones de captage de la mine qui ont permis de conclure à l'absence de risques pour les ressources en eau utilisées dans la vallée ;
- la réalisation de prélèvements et d'analyses au niveau des points d'eau utilisés comme eau potable, pour les usages domestiques et pour l'irrigation des zones agricoles ;
- la mise en œuvre d'une étude environnementale et sanitaire dans l'environnement du site minier, et ce, jusqu'à des zones qui sont susceptibles d'être polluées en aval.

1. Introduction

1.1. Contexte

Imider¹ se situe à quelques 300 km au sud-est de Marrakech, dans la province de Tinghir, entre la ville éponyme et la ville de Boumalne-Dadès (*Figure 1*). Le village est localisé en zone montagneuse, entre le Haut-Atlas et l'Anti-Atlas. Environ 5000 habitants vivent dans les sept villages de cette commune, essentiellement de l'activité agricole vivrière, à savoir du maraîchage et des petits élevages extensifs (*Congrès Mondial Amazigh, 2012*).

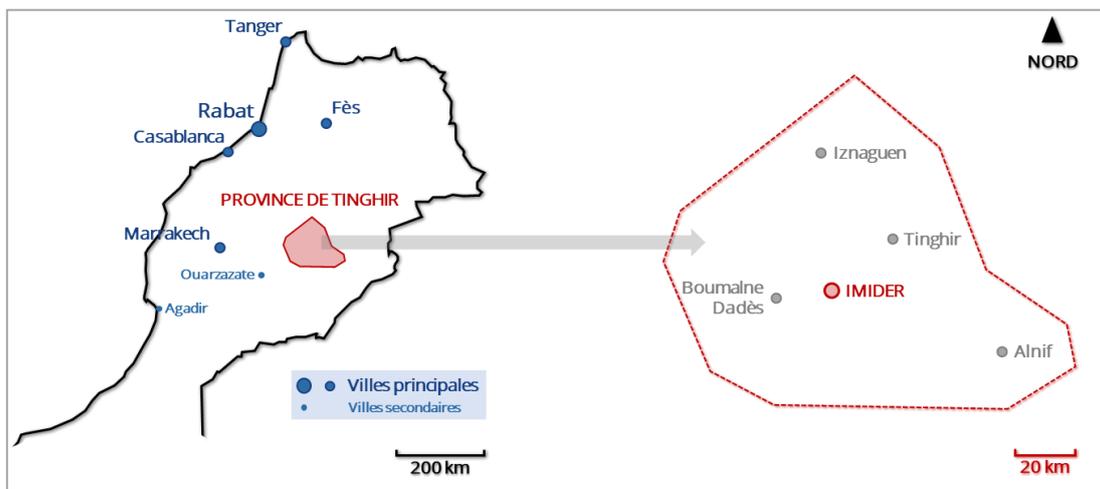


Figure 1 : Cartographie schématique localisant la province de Tinghir et le village d'Imider au sein du territoire marocain ((SystExt, Mars 2020, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

La région est caractérisée par un climat semi-désertique, avec des précipitations annuelles très faibles et deux saisons humides (*Mouvement sur la voie de 96 Imider, 2012*). Les cours d'eau se trouvent le plus souvent asséchés et les écoulements sont majoritairement souterrains. La ressource en eau est donc rare. L'approvisionnement en eau potable et en eau d'irrigation requiert une gestion proportionnée, qui est assurée par des puits isolés et des *khetaras* (galerie drainante construite pour capter les eaux de la nappe souterraine, voir *paragraphe 3.3 et en particulier Figure 9 p. 18*).

A quelques kilomètres à vol d'oiseau au sud-est du village, se trouve la mine d'argent-mercure d'Imider dont l'exploitation a été relancée en 1969. Pour le traitement du minerai², le site a besoin de grandes quantités d'eau : 12 fois plus que celles utilisées pour les usages domestiques et agricoles (*Congrès Mondial Amazigh, 2012*). Pour répondre à ce besoin, l'entreprise minière a installé au nord de la commune des forages profonds. L'un d'eux a notamment été creusé à proximité du Mont Alebban en 2004. D'après les populations locales, sa mise en fonctionnement a conduit à des diminutions de débits et des tarissements des captages d'eau utilisés par les populations locales (*détaillé dans le paragraphe 3.4 p. 19*).

¹ Les toponymes « Imider » ou « Imiter » sont tous les deux utilisés, seul le premier est retenu dans ce rapport.

² Un minerai est un ensemble de minéraux contenant des minéraux « utiles », en proportion suffisamment intéressante pour justifier une exploitation minière, et nécessitant une transformation (ou traitement) pour être utilisés par l'industrie.

Face à la diminution préoccupante des ressources en eau, des habitants et certains élus ont demandé l'arrêt des pompages, invoquant la mise en danger de la santé et de la vie des populations. Malgré les alertes nombreuses et les actions de protestations pacifiques régulières, aucune modification n'a été apportée au dispositif d'adduction en eau du site minier ([Mouvement sur la voie de 96 Imider, 2012](#)). Le 23 août 2011, des habitants d'Imider ont donc décidé de fermer la vanne d'un point d'eau situé sur le Mont Alebban (les autres étant gardés par l'armée) (*Figure 2*), et y ont installé un campement permanent ([Congrès Mondial Amazigh, 2012](#)).



Figure 2 : Canalisations fermées sur le Mont Alebban (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

La fermeture de ce point d'adduction a connu des effets immédiats : augmentation des niveaux d'eau et des débits dans les puits et khetaras de la commune, mais aussi diminution de la production du site minier, d'après le [Mouvement sur la voie de 96 Imider \(Figure 3\)](#). Huit années durant, le sit-in a été maintenu par les militants. Le 17 septembre 2019, le Mouvement décide d'y mettre un terme et de poursuivre sa lutte par d'autres formes de contestation ([Zine, 2019](#)).

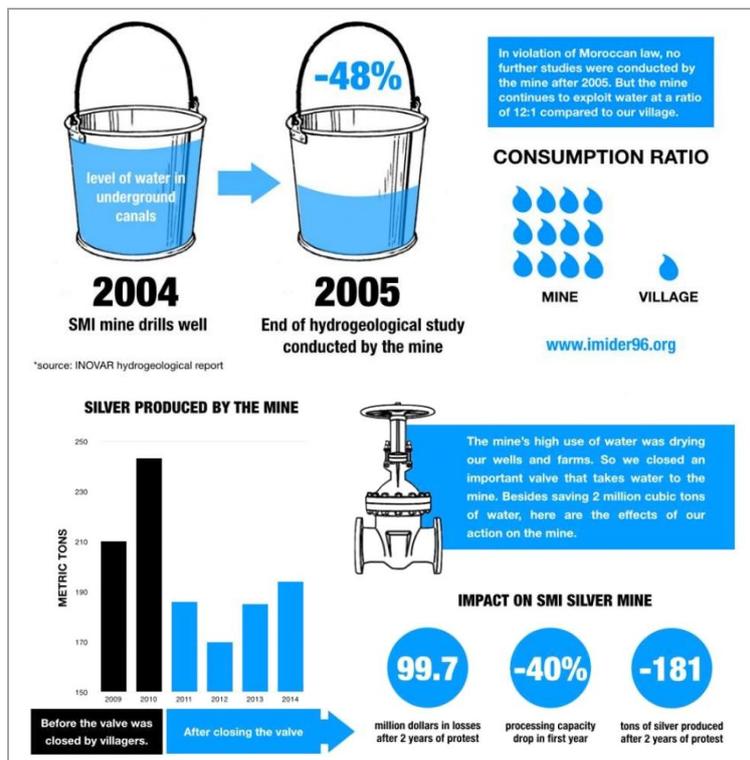


Figure 3 : Infographies sur les impacts de la mise en service du forage (à gauche) et sur les effets associés à la fermeture de la vanne sur le Mont Alebban (à droite) ([Mouvement sur la voie de 96 Imider, 2012](#))

1.2. Cadre de l'étude

► Origine de la demande

Dans le cadre de son séjour minier 2019 au Maroc, SystExt a tenu à rencontrer des représentants du collectif Mouvement sur la voie de 96 Imider, pour mieux comprendre la situation locale et l'état d'avancement de leur lutte. L'association a notamment invité deux journalistes françaises, qui devaient poursuivre le séjour par la réalisation d'une enquête sur site (Izoard, 2019). Un entretien s'est tenu le samedi 20 avril 2019, durant lequel les deux associations ont pu échanger sur le projet minier et ses impacts potentiels. Deux enjeux majeurs ont été soulevés : la mise en danger de la ressource en eau, qualitativement et quantitativement, ainsi que les risques potentiels sur la santé des populations.

A l'issue de cette rencontre, SystExt a décidé que deux de ses bénévoles accompagneraient les journalistes pendant leur enquête pour répondre à quatre objectifs :

- Disposer d'un état des lieux actualisé de la situation par des données de terrain ;
- Recueillir des témoignages des populations locales sur les impacts connus ou pressentis de l'activité minière ;
- Evaluer l'organisation spatiale des écoulements superficiels et souterrains ;
- Appréhender la sensibilité des ressources en eau, en fonction de la configuration du territoire.

► Déroulé de la mission de terrain

L'arrivée sur site s'est faite le dimanche 21 avril vers 19h et la soirée a été consacrée à la rencontre des occupants du Mont Alebban. Le lundi 22 avril, la route située au nord du site minier a été parcourue en véhicule, en compagnie d'un représentant du Mouvement sur la voie de 96 Imider, sans arrêt prolongé. A cette occasion, une attention particulière a été portée sur la topographie locale et les zones d'écoulements préférentiels (cours d'eau non pérennes et zones de ruissellement privilégiées). L'après-midi a été dédié à la visite de points d'eau d'intérêt : puits d'alimentation en eau potable, khattaras, ainsi que certains ouvrages du réseau d'adduction en eau de la mine (lorsqu'accessibles). Le mardi 23 avril, SystExt a notamment visité le khattara situé à l'ouest du village de Timadrouine puis réalisé des observations au niveau de l'oued principal et le long des cours d'eau qui traversent le site minier.

Les principaux points d'observation de la mission sont présentés en [Annexe 1](#) p. 53 (coordonnées GPS, description, photographie).

► Objectifs de l'étude et limites méthodologiques

La présente étude associe les résultats d'une étude bibliographique détaillée et les éléments recueillis lors de la mission de terrain. Elle souhaite **mettre en exergue les risques potentiels sur les eaux de surface et souterraines** et apporter ainsi des premiers éléments de réponse à la société civile et aux populations locales. Les interrogations de ces derniers sont légitimes, d'autant qu'à leur connaissance, aucune étude environnementale et/ou sanitaire n'a été réalisée sur le secteur. Par ailleurs, SystExt n'a trouvé aucun rapport ou publication scientifique (ni français, ni en anglais) faisant état de tels diagnostics, ce qui est très questionnant pour un site minier en fonctionnement depuis 50 ans.

Pour son étude bibliographique, SystExt n'a pu disposer que des publications accessibles en ligne, de la documentation mise à disposition par le Mouvement sur la voie de 96 Imider et des informations transmises par des journalistes marocains.

Tenant compte de la durée réduite de l'intervention de terrain et du contexte conflictuel local, les investigations ont consisté en des rencontres avec des habitants d'Imider (et non des habitants des villages alentours ou des employés de la mine) et des observations rapides de points d'intérêts : puits, khetaras, cours d'eau, site minier, etc.

A ce stade précoce de l'évaluation, il n'aurait pas été pertinent de réaliser des prélèvements d'eaux ou de sols. L'interprétation des résultats alors acquis aurait nécessité un diagnostic détaillé, nécessitant des jours, voire des semaines, de travail préalable. **Pour les mêmes raisons, aucune conclusion ne pourra être dressée quant aux risques sanitaires éventuels.**

2. Géologie et gîtologie

2.1. Contexte géologique local

On pourra se reporter à l'échelle des temps géologiques de l'*Annexe 2* p. 55 pour les ères et les périodes qui sont indiquées en italique dans le corps du texte.

Le gisement d'Imider est localisé dans la chaîne de l'Anti-Atlas marocain³, en bordure nord du massif du Saghro. Sur le secteur d'étude, les formations géologiques s'organisent comme suit, de la base vers le sommet :

- **(1) Série métasédimentaire** du *Cryogénien* (*Néoprotérozoïque* moyen) composée de schistes noirs, grès, et pélites⁴ noires riches en matière organique⁵ ;
- **(2a) Série volcanique et pyroclastique** de l'*Ediacarien* (*Néoprotérozoïque* supérieur), de composition andésitique à rhyolitique⁶, présentant un contact faillé complexe avec la série métasédimentaire (1) (Levresse, et al., 2018) ;
- **(2b) Intrusions magmatiques dioritiques à granodioritiques** de l'*Ediacarien*, antérieures à contemporaines des épisodes volcaniques, recoupant et métamorphisant par contact la série métasédimentaire ;
- **(2c) Intrusion rhyolitique** de l'*Ediacarien*, représentant un épisode volcanique majeur associé à la minéralisation d'Imider (Levresse, et al., 2018) ;
- **(3) Séries sédimentaires du Paléozoïque**, allant du *Cambrien* moyen au *Carbonifère*, et reposant en discordance⁷ sur les séries précédentes ;
- **(4) Séries sédimentaires du Méso-Cénozoïque**, constituées de formations marines et continentales, allant du *Crétacé* au *Quaternaire ancien*, reposant en discordance sur les séries sous-jacentes du *Paléozoïque*.

Par la suite, on pourra parler de « socle Précambrien » pour désigner l'ensemble constitué des formations (1), (2a), (2b) et (2c).

Dans la série sédimentaire du *Paléozoïque* (3), les faciès du *Cambrien* moyen correspondent à des niveaux carbonatés fossilifères sur lesquels reposent des formations grésopélitiques, tandis que les faciès de l'*Ordovicien* correspondent à des formations schisteuses, gréseuses et quartzitiques.

Dans la série du *Méso-Cénozoïque* (4), on trouve : les faciès du *Crétacé*, composés notamment de grès, de conglomérats avec dolomie et d'intercalations pélitiques ; les faciès de l'*Eocène*, composés de calcaires et de grès ; et les faciès du *Néogène* et du *Quaternaire*, comprenant, selon les zones, des grès, des sables, des conglomérats, des calcaires lacustres et des argiles à gypse.

³ Le Maroc est constitué de quatre domaines géologiques majeurs, dont l'Anti-Atlas et le Haut-Atlas.

⁴ Les pélites sont des roches sédimentaires finement détritiques et argileuses.

⁵ La série métasédimentaire du *Cryogénien* est associée à un évènement majeur du *Néoprotérozoïque* : l'orogénèse panafricaine, c'est-à-dire la formation de la chaîne montagneuse du même nom (Kamal, et al., 2007).

⁶ La rhyolite et l'andésite sont des roches volcaniques qui proviennent du refroidissement de magmas, respectivement riches en silice (comme le granite) et calco-alcalin (comme la diorite).

⁷ Une discordance est une ancienne surface d'érosion qui sépare deux ensembles géologiques. Il correspond à un changement dans la mise en place des dépôts de roches sédimentaires (du fait de la tectonique ou d'un épisode brusque avec un apport plus grand en sédiments, par exemple).

La Figure 4 correspond à la carte géologique de la zone. La légende a été adaptée pour ne prendre en compte que les formations affleurant sur le secteur d'étude (figuré par le cadre rouge).

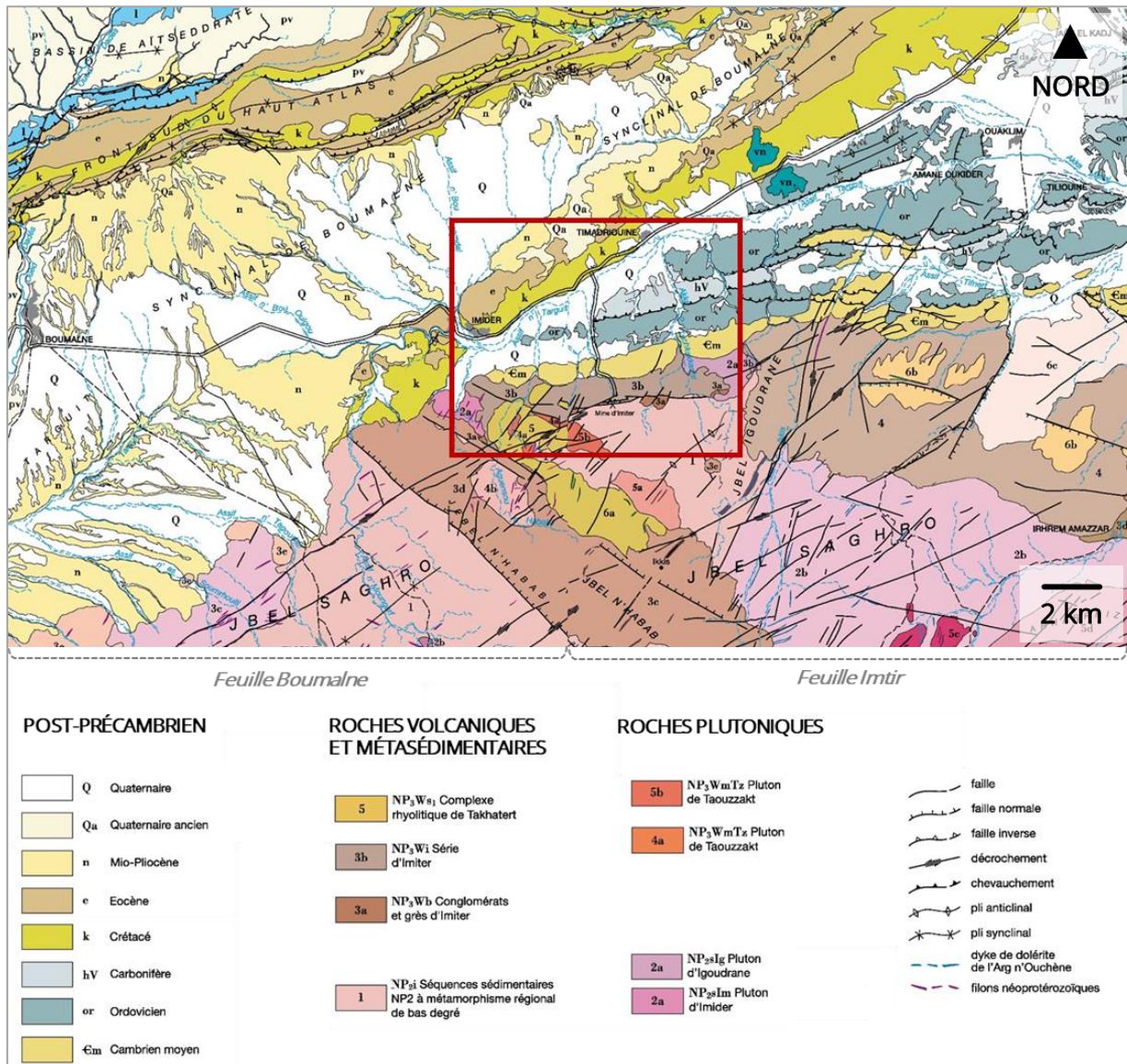


Figure 4 : Carte géologique au 1/200000 et mise en évidence du secteur d'étude ; adaptée de (Massironi, et al., 2007 ; Kamal, et al., 2007)

2.2. Contexte gîtologique

► Mise en place du gisement d'Imider

Quatre épisodes sont associés à l'origine des minéralisations, argentifères ici, tels que présentés sur la Figure 5 page suivante (les séries géologiques rappelées ci-dessous (1), (2b) et (2c) sont décrites au paragraphe 2.1) :

- ① Un stock métallique important, sous forme de sulfures, se met en place en même temps que la série métasédimentaire du *Cryogénien* (1) (épisode dit alors « syngénétique ») et cristallise durant l'orogénèse panafricaine⁵ (650-600 millions d'années) dans les grés-pélites.
- ② Le métamorphisme⁸ de contact, induit par la mise en place des intrusions magmatiques dioritiques à granodioritiques de l'*Ediacarien* (2b), permet une concentration en sulfures.
- ③ L'intrusion rhyolitique de l'*Ediacarien* (2c) est à l'origine de la circulation de fluides hydrothermaux⁹, proches de la surface. Ces fluides gagnent la série volcanique et pyroclastique de l'*Ediacarien* (2a) et provoquent une concentration majeure de l'argent et du mercure (vers 550 millions d'années). On parle alors de phénomène « épithermal ».
- ④ Un épisode de cimentation (précipitation des métaux qui étaient en solution dans les fluides souterrains) complète la formation du gisement.

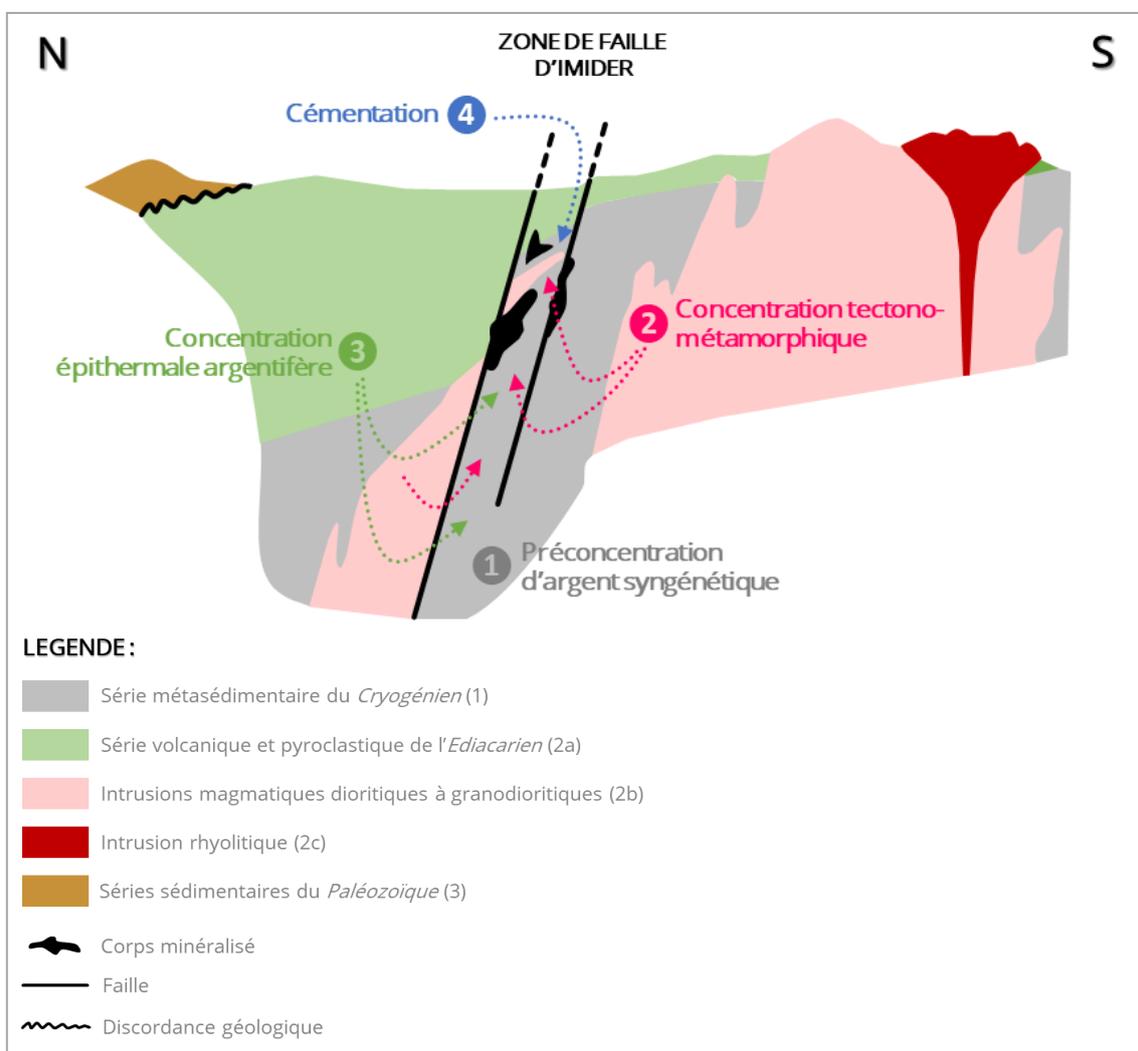


Figure 5 : Modèle génétique simplifié de mise en place des minéralisations d'Imider ; modifié d'après (Levresse, 2001)

⁸ Le métamorphisme désigne l'altération et la transformation d'une roche sous l'effet de changements de conditions de pression et de température du milieu.

⁹ L'hydrothermalisme désigne les processus de circulation d'eaux chaudes chargées en éléments chimiques. La précipitation des éléments transportés par les fluides hydrothermaux est à l'origine de la formation de nombreux minéraux.

Le scénario de mise en place du gisement d'Imider suppose quatre facteurs (Levresse, et al., 2018) :

- l'ascension de magmas profonds felsiques et mafiques¹⁰ et de fluides hydrothermaux (lors de l'épisode extensif tardi-*Ediacarien*) permettant le transport de l'argent métal ;
- la rencontre de schistes noirs réducteurs en surface favorisant la précipitation de l'argent ;
- la présence de la zone de failles permettant le piégeage de la minéralisation ;
- la présence des séries volcaniques empêchant toute dispersion.

► Caractéristiques des minéralisations

Le gisement s'étend sur environ 7 km le long d'un système de failles complexe. Des structures minéralisées existent à plus de 800 m de profondeur mais la limite verticale de la minéralisation n'a toujours pas été atteinte (Levresse, et al., 2018). Deux régimes de déformation majeurs ont permis le piégeage des minéralisations : un régime distensif (N-S) dominant, suivi par un régime décrochant (NNE-SSW). Les corps minéralisés sont parallèles aux faisceaux de failles et suivent donc une direction est-ouest avec un fort pendage vers le nord.

Les structures minéralisées se présentent sous la forme d'amas subverticaux (de quelques mètres à 45 m de puissance¹¹ comme à Imider I, au niveau de la « Grande carrière »), de colonnes (d'une puissance dépassant rarement 25 m) et de filons minces (Blazy & Jdid, 2006). En termes de faciès encaissants, les minéralisations sont essentiellement présentes dans la série métasédimentaire du *Cryogénien* (1), en renflement dans les conglomérats qui se trouvent au sommet de cette dernière série et à la base de la série volcanique et pyroclastique de l'*Ediacarien* (2a). Les intrusions magmatiques dioritiques à granodioritiques (2b) semblent constituer une barrière à la circulation des fluides hydrothermaux et n'hébergent pas de minéralisation argentifère.

► Principales successions paragénétiques

Dans le gisement d'Imider, on distingue notamment quatre paragenèses¹² principales (Kamal, et al., 2007) (voir Tableau 1 page suivante qui détaille les formules chimiques des minéraux cités) :

- **Rutile-quartz**, paragenèse comportant ces deux minéraux et répandue dans toutes les zones du gisement ;
- **Arsénopyrite-pyrite** à quartz, pyrite, arsénopyrite¹³, gersdorffite ; ces minéraux formant des grains et des veinules ;
- **Chalcopyrite-sphalérite-galène** à quartz, sphalérite, galène argentifère (moyenne de 0,1% Ag), chalcopyrite, tennantite et énargite ; ces minéraux pouvant être disséminés ou en veinules ;
- **Cinabre-argent** à quartz, amalgame mercure-argent, cinabre, imitérite et polybasite.

¹⁰ Un magma mafique est riche en magnésium et en fer et est à l'origine de roches dites « basiques » telles que les basaltes ou les gabbros. A l'opposé, un magma felsique est enrichi en silicium, oxygène, sodium, potassium... et donne des roches « acides » de type granite.

¹¹ La puissance s'apparente à l'épaisseur.

¹² La paragenèse décrit l'association de minéraux ayant une origine commune et résultant de processus géologiques et géochimiques donnés.

¹³ L'arsénopyrite et la pyrite sont cobaltifères à Imider, c'est-à-dire qu'elles contiennent du cobalt dans leur structure.

2.3. Minéralogie et géochimie

Imider fait partie des cinq seuls gisements mondiaux où l'argent est exploité sous forme d'argent natif ou d'amalgame (argent-mercure), et non de galène argentifère. Le mercure est le principal sous-produit de l'exploitation (Levresse, et al., 2018).

De la gîtologie décrite précédemment naît une minéralogie très diversifiée avec plus de 70 minéraux identifiés (mindat.org) dont : des sulfures, des sulfosels, des métaux natifs ainsi que des oxydes, carbonates et silicates métalliques (Tableau 1).

Minéral	Formule chimique	Minéral	Formule chimique
Sulfures et sulfosels de fer, de plomb, de zinc, de cuivre, d'arsenic, d'antimoine, de cobalt et de nickel			
Pyrite	FeS ₂	Covellite	CuS
Marcassite	FeS ₂	Chalcopyrite	CuFeS ₂
Arsénopyrite	FeAsS	Bornite	Cu ₅ FeS ₄
Sphalérite	ZnS	Énargite	Cu ₃ AsS ₄
Galène	PbS	Tétraédrite	(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
Cobaltite	CoAsS	Tennantite	(Cu,Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃
Gersdorffite	NiAsS	Freibergite	(Ag,Cu,Fe) ₁₂ (Sb,As) ₄ S ₁₃
Löllingite	FeAs ₂ (arséniure)	Boulangérite	Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁
Métaux natifs, sulfures et sulfosels d'argent et de mercure			
Argent natif	Ag	Stéphanite	Ag ₅ SbS ₄
Amalgame	Ag-Hg	Proustite	Ag ₃ AsS ₃
Argentite	Ag ₂ S	Sternbergite	AgFe ₂ S ₃
Cinabre	HgS	Polybasite	[(Ag,Cu) ₆ (Sb,As) ₂ S ₇][Ag ₉ CuS ₄]
Imitérite	Ag ₂ HgS ₂	Péarcéite	[Ag ₉ CuS ₄][(Ag,Cu) ₆ (As,Sb) ₂ S ₇]
Pyrrargyrite	Ag ₃ SbS ₃		
Oxydes et carbonates métalliques			
Erythrite	Co ₃ (AsO ₄) ₂ •8H ₂ O	Cérusite	PbCO ₃
Malachite	Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂	Smithsonite	ZnCO ₃
Azurite	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Rhodochrosite	MnCO ₃
Lavendulane	NaCaCu ₅ (AsO ₄) ₄ Cl•5H ₂ O		
Autres minéraux			
Andalousite	Al ₂ (SiO ₄)O	Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Calcite	CaCO ₃	Limonite	(Fe,O,OH,H ₂ O)
Chlorite	(Fe,Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Muscovite	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂
Cordiérite	(Mg,Fe) ₂ Al ₃ (AlSi ₅ O ₁₈)	Quartz	SiO ₂
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	Rutile	TiO ₂

Tableau 1 : Principaux minéraux identifiés dans le gisement d'Imider ; d'après (Levresse, 2001 ; Levresse, et al., 2018 ; Kamal, et al., 2007 ; mindat.org (consulté le 20/03/2020))

Dans le gisement, Kamal et al. (2007) signalent de fortes teneurs en argent (Ag), en mercure (Hg), en zinc (Zn), en plomb (Pb), en antimoine (Sb), en bore (B), en arsenic (As), en vanadium (V), en chrome (Cr), en cobalt (Co), en titane (Ti), en nickel (Ni) et en manganèse (Mn).

3. Hydrogéologie et hydrologie

3.1. Ressources en eaux souterraines

La *Figure 6* représente de façon schématique la carte géologique du secteur d'étude, permettant de distinguer les grands ensembles géologiques décrits dans le *paragraphe 2.1*.

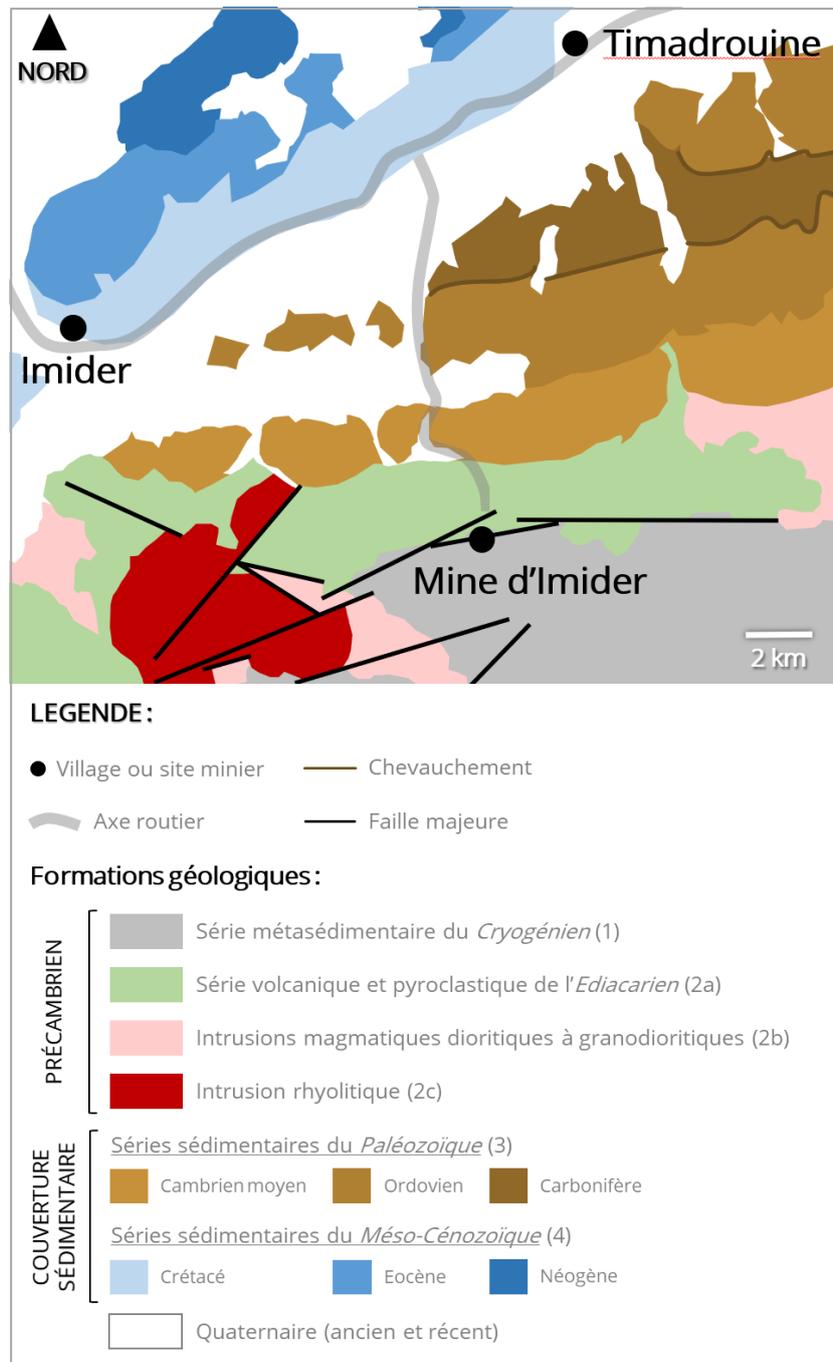


Figure 6 : Carte géologique simplifiée du secteur d'étude ; modifiée d'après (Kamal, et al., 2007)¹⁴

¹⁴ Cette carte est issue d'une transposition manuelle depuis la carte géologique au 1/200000 ; les contours des formations sont donc indicatifs. La zone concernée correspond au secteur d'étude représenté par le cadre rouge de la *Figure 4 p. 10*.

Ainsi, schématiquement, sur le secteur d'étude, on distingue les aquifères du socle *Précambrien* et ceux des séries sédimentaires du *Paléozoïque* et du *Méso-Cénozoïque*, auxquels il faut ajouter les aquifères du *Quaternaire* dans le lit des oueds et dans les vallées. Les potentialités aquifères de ces séries et des faciès qui les constituent (hors *Quaternaire*) sont détaillées dans le *Tableau 2*.

Dans le socle *Précambrien*, les faciès sont généralement imperméables dans leur masse. Cependant, les réserves aquifères se développent au niveau de structures conductrices d'eau, telles que la fissuration, la fracturation ou la schistosité. Elles sont souvent restreintes aux zones superficielles d'altération (nappes d'arènes¹⁵) ou dans les réseaux de failles ou de fissures. Dans les séries sédimentaires du *Paléozoïque* et du *Méso-Cénozoïque*, les réserves aquifères peuvent être localement importantes, en particulier dans les grès et calcaires, mais sont souvent discontinues. S'agissant plus particulièrement des aquifères du *Crétacé*, [Baki et al. \(2016\)](#) y décrivent des circulations d'eau importantes, notamment des circulations de type karstique dans les calcaires.

SÉRIES ET FACIÈS	DESCRIPTION
SOCLE PRÉCAMBRIEN	
Série métasédimentaire du <i>Cryogénien</i> (1) Métasédiments	Considérés comme imperméables dans leur masse. Présence exceptionnelle de sources de débit très faible, résultant de l'interaction avec un niveau de roches fracturées.
Intrusions magmatiques dioritiques à granodioritiques (2b) Granitoïdes	Formations très altérées en surface dans les zones déprimées, mais peu altérées dans les zones en relief. Arènes perméables dans les zones des creux avec véritables nappes.
Série volcanique et pyroclastique de l' <i>Ediacarien</i> (2a)	Imperméables dans leur masse. Présence possible d'eau à la faveur de failles et fractures. En principe, émergences situées sur des failles.
Intrusion rhyolitique (2c)	
COUVERTURE SEDIMENTAIRE	
Séries sédimentaires du <i>Paléozoïque</i> (3) Cambrien et Ordovicien	Potentialités en eau limitées à la zone d'altération superficielle ou aux zones fracturées. A noter un nombre de captages importants.
Séries sédimentaires du <i>Méso-Cénozoïque</i> (4) Crétacé inférieur	Bonne perméabilité des horizons gréseux, abritant des nappes locales. Les horizons de pélites rendent discontinu le système aquifère à l'échelle de la couche.
Séries sédimentaires du <i>Méso-Cénozoïque</i> (4) Eocène	Réserves aquifères parfois importantes dans les niveaux gréseux et calcaires.

Tableau 2 : Potentialités aquifères des séries et faciès du secteur d'étude (hors Quaternaire) ; d'après [\(Kamal, et al., 2007\)](#)

La couverture aquifère comprend des alluvions récentes des oueds, mais aussi des terrasses et cônes alluviaux épais, ainsi que des dépôts de versant parfois épais et très étendus. Les écoulements des oueds provoquent des infiltrations dans les dépôts alluviaux. Les sous-écoulements qui en résultent, limités dans les vallées encaissées, peuvent s'élargir dans les plaines et constituer de véritables nappes phréatiques. Dans les alluvions récentes, les systèmes phréatiques sont généralement liés au réseau hydrographique [\(Kamal, et al., 2007\)](#). [Grappe \(1976\)](#) mentionne par ailleurs une nappe alluviale dans l'oued principal *Assif NTarguit* qu'il décrit comme « *une nappe libre régulièrement alimentée* ».

¹⁵ Les arènes sont des amas de sables résultant d'une décomposition d'une roche, constitués des grains libérés par l'attaque sélective des constituants les plus vulnérables.

3.2. Hydrographie

► Principaux cours d’eau du secteur d’étude

La *Figure 7* représente les principaux cours d’eau secteur d’étude. L’oued principal dispose de quatre affluents qui traversent ou bordent le site minier principal, en particulier les *ruisseaux n°1 et n°2*.

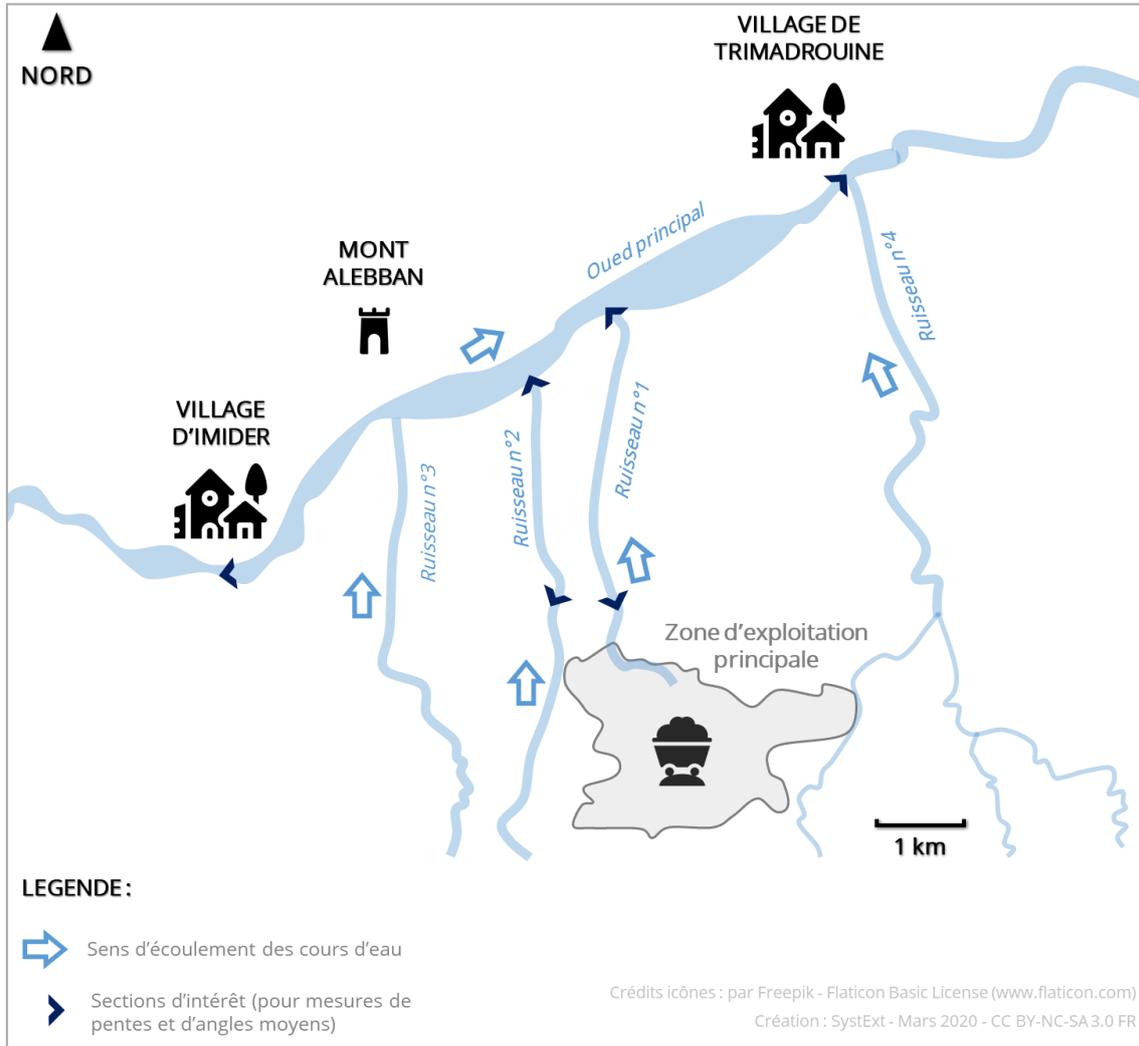


Figure 7 : Schéma conceptuel du sous-bassin versant du secteur d'étude

Sur le schéma de la *Figure 7* précédente ont été représentées par des pointes de flèche bleu foncé des sections d'intérêt, sur lesquelles ont été réalisés des calculs de pentes moyennes et d'angles moyens (*Tableau 3*). On constate que ces paramètres sont 3 à 4 fois supérieurs pour les *ruisseaux n°1 et n°2* que pour l'oued principal.

Cours d'eau	Dénivelé (m)	Distance (m)	Pente (%)	Angle (°)
Ruisseau n°1	60	3300	1.82	1.04
Ruisseau n°2	60	2740	2.19	1.25
Oued Principal	56	8680	0.65	0.37

Tableau 3 : Mesures et calculs des pentes et angles moyens sur trois cours d'eau du secteur d'étude (SystExt, Avril 2020)

► Hydrodynamique du sous-bassin versant

Le climat de la zone est semi-désertique, avec des précipitations faibles (moins d'un jour par mois en moyenne) et un taux d'évaporation moyen estimé à 90% de la pluviométrie (Mouvement sur la voie de 96 Imider, 2012).

L'écoulement dans l'oued principal *Assif NTarguit* et ses nombreux petits affluents ne se fait que lors de deux saisons principales de crue (hautes-eaux), en automne et au printemps. Le régime est alors le plus souvent torrentiel. Lors des deux saisons d'étiage (basses-eaux), le débit est faible à nul. L'hydrodynamique locale est donc principalement caractérisée par des écoulements souterrains et les cours d'eau sont le plus souvent asséchés (*Figure 8*).



Figure 8 : Oued principal *Assif NTarguit* et affluents à sec ; vues depuis le Mont Alebban (à gauche : vers le SE, à droite : vers le SW) (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

► Processus de dépôt particulaire et de sédimentation

De façon générale, les processus de dépôt particulaire et de sédimentation se déroulent préférentiellement dans les zones du cours d'eau où les débits sont plus faibles : bordures du lit majeur et méandres, en particulier. Les zones de confluence sont également concernées compte-tenu de la rupture de pente qui caractérise la rencontre entre un cours d'eau et son affluent.

Dans le sous-bassin versant étudié, les écoulements dans les cours d'eau se font uniquement aux moments des périodes de crue et de façon torrentielle. Ceci est peu favorable aux dynamiques de dépôt particulaire et de sédimentation dans les cours d'eau à débit élevé, tel que les *ruisseaux n°1 à n°4*. Cependant, le paragraphe précédent et le *Tableau 3*, attestent que les écoulements dans l'oued principal *Assif NTarguit* sont plus lents que dans les *ruisseaux n°1 et n°2*. **L'hypothèse est ainsi faite que les processus de dépôt particulaire et de sédimentation sont favorisés au niveau des confluences avec l'oued principal et dans son lit majeur.**

3.3. Usages de l'eau pour les besoins domestiques et agricoles

L'eau pour les usages domestiques (dont eau potable) et agricoles est prélevée dans des nappes d'eau souterraine par des puits isolés (de quelques mètres à dizaines de mètres de profondeur) ou des khattaras. Une khattara consiste en une galerie drainante construite pour capturer les eaux de la nappe et les amener à la surface du sol. Les eaux sont acheminées dans un bassin de réception, alimentant des canaux d'irrigation qui traversent les zones agricoles (*Figure 9*).

On pourra se reporter à la planche photographique de l'*Annexe 3* p. 56 qui illustre les installations des khattaras d'Anounizem et de Timadrouine.

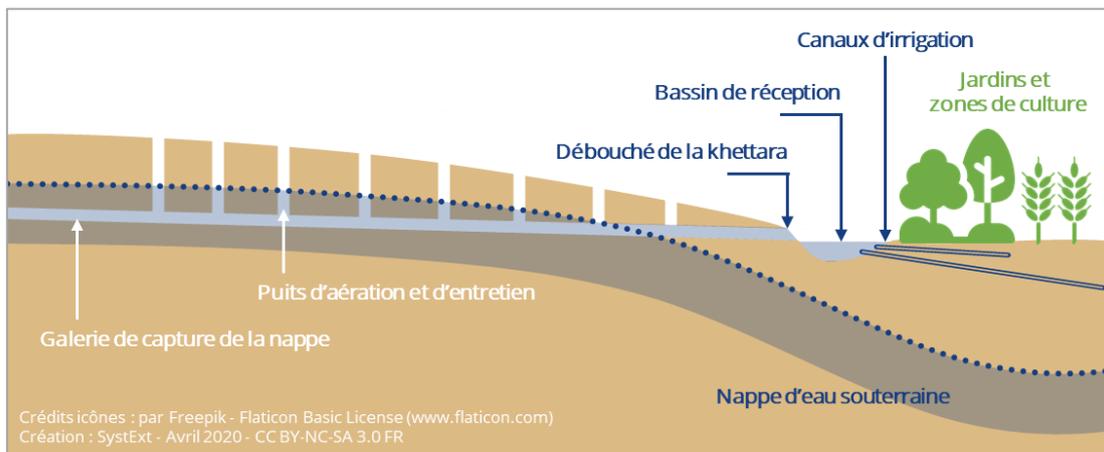


Figure 9 : Schéma de principe d'une khattara

Les nappes d'eau souterraine ainsi captées par la population se trouvent dans les séries sédimentaires du *Paléozoïque* ou dans les alluvions du *Quaternaire* (qui recouvrent le fond de la vallée de l'oued principal *Assif NTarguit*). Les usages de l'eau pour les besoins domestiques et agricoles sont conceptualisés en *Figure 10*.

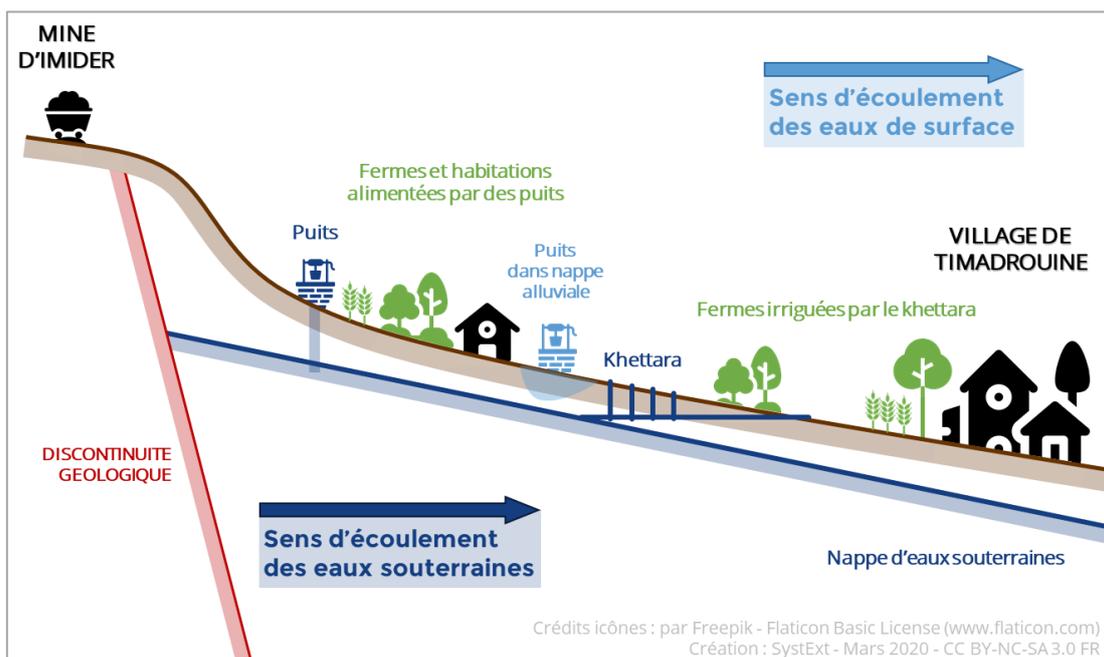


Figure 10 : Schéma conceptuel des usages de l'eau dans la vallée de l'oued principal

3.4. Alimentation en eau de la mine et controverses

► Réseau d'adduction

L'alimentation de la mine en eau est assurée par : trois zones de captage (comprenant sept puits en activité et un puits abandonné ainsi que deux réservoirs) et des conduites métalliques, qui totalisent une longueur estimée à 31 km (Figure 11). La profondeur des puits n'est pas connue. D'après les témoignages recueillis sur le terrain, ceux-ci pourraient atteindre plusieurs dizaines de mètres. Ainsi, le dispositif d'adduction du site minier d'Imider, se compose de :

- **Un puits situé au sud du réservoir R1**, (toujours en activité), creusé en 1986 et disposant de sa propre conduite vers le site minier ;
- **Un réservoir R1 situé sur le Mont Alebban** et dont les conduites ont été fermées en 2011 par la population locale (inactif en avril 2019)¹⁶ ;
- **Un réservoir R2 alimenté par cinq puits**¹⁷, et construit en 2013 afin de pallier la perte due à l'immobilisation du réservoir R1.



Figure 11 : Dispositifs d'adduction en eau du site minier, en vue satellitaire (© Google)

¹⁶ L'un des deux forages « puits abandonné » alimentant le réservoir R1 aurait été abandonné par la société minière et substitué par un forage situé à quelques centaines de mètres à l'est (Mouvement sur la voie de 96 Imider, 2012).

¹⁷ Le réservoir R2 et les puits associés n'ont pas été visités par SystExt. Ils ont été reportés à partir de coordonnées GPS transmises par le Mouvement sur la voie de 96 Imider.

► Terrains aquifères captés

Les études hydrogéologiques ont mis en évidence que les grès du *Crétacé* et des calcaires de l'*Eocène* étaient « susceptibles d'alimenter la mine » (Benkhadra & El Abbaoui, 2006).

La *Figure 12* reprend la *Figure 11* en y ajoutant en transparence les principales couches géologiques du secteur d'étude (voir *Figure 6 p. 14*). Ces deux formations (*Crétacé* et *Eocène*) affleurent à proximité des forages d'eau de la mine. Le pendage (inclinaison) et l'épaisseur de ces couches géologiques corroborent le fait qu'elles puissent effectivement se trouver en profondeur, au droit des forages.

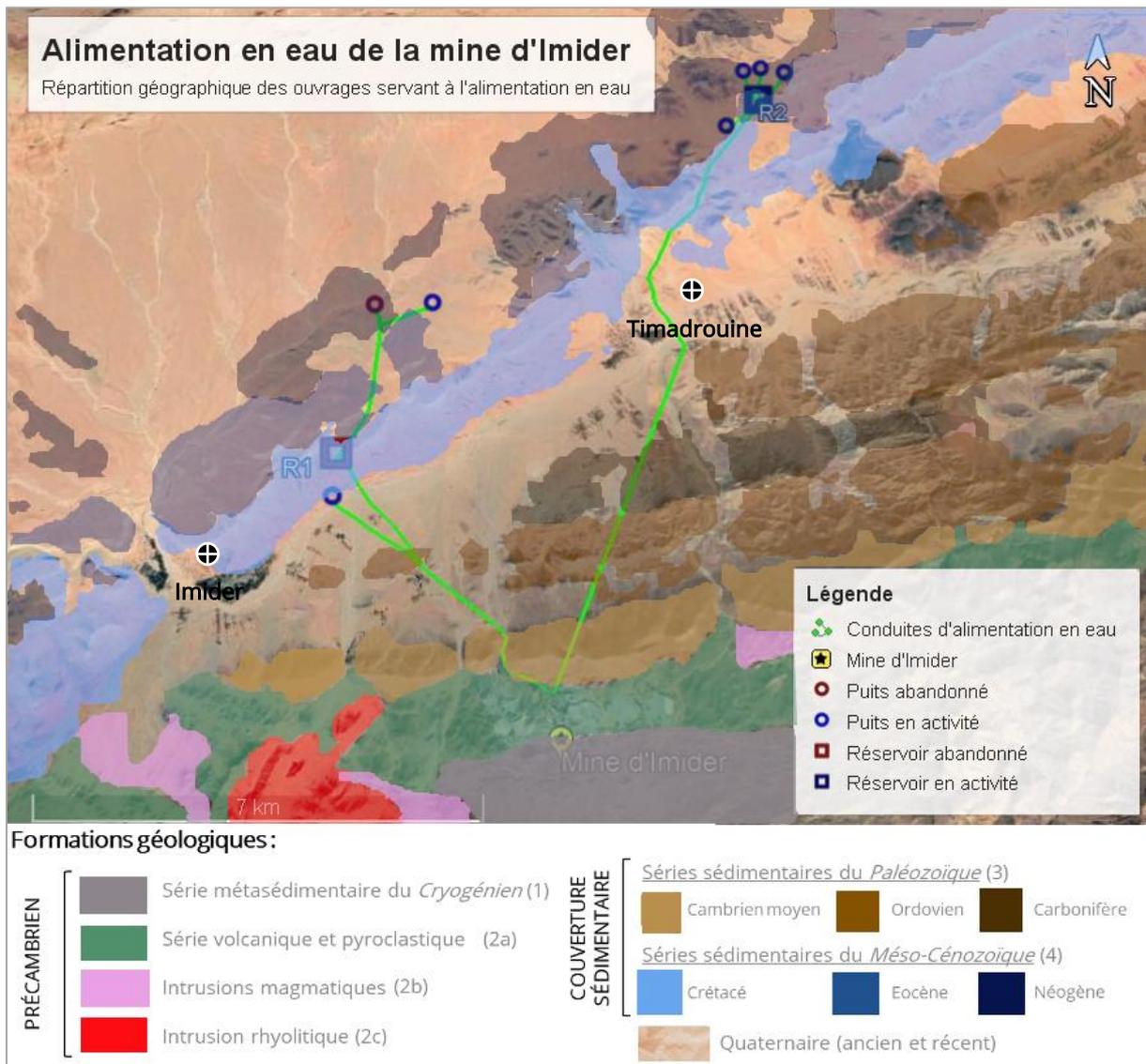


Figure 12 : Principales couches géologiques sur vue satellitaire avec report des installations d'adduction en eau de la mine (© Google)

Ces indications amènent à faire l'hypothèse que les formations aquifères captées par la mine se trouvent dans le *Crétacé* et l'*Eocène*.

► Estimation des quantités d'eau nécessaires pour le fonctionnement de la mine

D'importantes quantités d'eau sont utilisées par la mine d'Imider pour le traitement du minerai. Selon Chaudier (2016), citant un représentant de l'entreprise minière, on estime le volume d'eau utilisé à un million de m³ par an. 300 000 m³ d'eau fraîche seraient pompés dans les nappes phréatiques et 700 000 m³ proviendraient de l'exhaure¹⁸.

Dans une analyse proposée par l'Institut Royal des Etudes Stratégiques du Maroc (Benkhadra & El Abbaoui, 2006), les besoins en eau du site minier sont estimés à 1,5 m³ par tonne traitée. D'après Kerbach et Zaini (2015), après les travaux d'extension de l'usine de traitement de 2013, la capacité de traitement aurait été portée à 2 600 tonnes par jour¹⁹. En corrélant ces deux dernières informations, on peut donc estimer les besoins en eau pour le traitement du minerai à environ 4 000 m³ par jour, soit environ 1,5 million de m³ par an. **On retiendra donc que les quantités d'eau nécessaires pour le fonctionnement de la mine représentent environ 1 à 1,5 millions de m³ par an.**

► Interactions potentielles avec les captages d'eau de la vallée

Depuis son installation en 1969, la société exploitante s'est donnée pour objectif principal l'augmentation de ses capacités de production, assujettie à un besoin croissant en eau. A cet effet, des protocoles ont été signés localement en 2003 et en 2004, qui confirment l'implantation d'un forage au nord de la commune (Mouvement sur la voie de 96 Imider, 2012). Rapidement après la mise en fonctionnement de ce nouveau forage (alimentant le réservoir R1), les habitants et paysans d'Imider constatent des diminutions inquiétantes des débits et niveaux d'eau dans les puits et khetaras. A la difficulté de disposer de suffisamment d'eau potable, s'ajoute celle de maintenir l'activité agricole. De nombreux témoignages font état de parcelles devenues inexploitable, alors qu'elles étaient productives jusqu'alors.

Ces témoignages ont d'ailleurs été corroborées par des mesures de débits réalisées en 2005. Les élus de la commune ont demandé un contrôle des débits des khetaras afin de les comparer à l'état initial réalisé avant la mise en service du forage, en application de la clause 10 du protocole de 2004 précédemment mentionné (Mouvement sur la voie de 96 Imider, 2012). Des diminutions conséquentes ont effectivement été mises en exergue par le bureau d'étude Inovar (Tableau 4), qui a conclu : « [...] les débits des khetaras ont connu une baisse importante entre le mois de juin 2004 et d'août 2005. [...] Par ailleurs, la mesure du niveau statique du puits Anou n'Imksaouen fait ressortir un niveau de 5,4 m par rapport au sol, soit une baisse de 1,25 m par rapport à celui enregistré le 05/06/2004 [...] » (Inovar, 2006).

Khettara	Taghia	Takdimt	Toujdit
Mesures du 29/08/2005	2.62	13.32	1.36
Mesures du 05/06/2004	6.21	18	3.5
Diminution en %	58%	26%	61%

Tableau 4 : Mesures de débits (en l/s²⁰) sur trois khetaras d'Imider ; tirées de Inovar (2006)

¹⁸ L'exhaure désigne le détournement, par puisage ou pompage, des eaux circulant dans les travaux miniers souterrains et/ou celles qui s'accumulent au niveau des zones creusées à ciel ouvert.

¹⁹ Les valeurs actuelles ne sont pas connues, en particulier depuis les nouveaux aménagements de 2017 et 2018. Voir détails dans le *paragraphe 4.1* ci-après.

²⁰ L'unité des débits n'est pas indiquée sur le document consulté mais il est en général de quelques litres par seconde : « Les débits sont certes différents selon les zones. Ils oscillent entre 2 à 20 l/s. [...] dans le sud marocain, [...] le débit moyen des khetaras est de 6,5 litres par seconde [...] » (Alji, 2010).

4. Exploitation minière

4.1. Historique

Le début de l'exploitation du gisement d'Imider remonterait au 9^{ème} siècle (Grappe, 1976). Les mineurs suivaient le minerai depuis la surface où affleuraient des plaquettes d'argent natif, avant de poursuivre en profondeur par des travaux miniers souterrains (par cheminées et dépilages le plus souvent). L'instabilité des terrains creusés dans de nombreux endroits (due principalement à la présence des schistes) et surtout l'atteinte du niveau hydrostatique (actuellement à 50 m de profondeur) ont conduit à l'arrêt de l'activité minière. Celle-ci a cependant été intensive et a dû s'étendre sur des siècles, tenant compte de la quantité considérable de déchets miniers laissés sur place (estimée à un million de tonnes) et de la présence d'une mine à ciel ouvert de grande taille (la « Carrière des Anciens », volume estimé à 150 000 m³) (Grappe, 1976).

Le gisement est redécouvert en 1951 lors d'une campagne de prospection aérienne. Des campagnes d'exploration sont menées les cinq années suivantes par la Société Minière de l'Atlas Marocain (SMAM), filiale de la Peñarroya (grande société minière et métallurgique française à l'époque), mais sans résultat concluant. En 1969, le Bureau de Recherches et de Participation Minières (BRPM) du Maroc s'associe à la société de l'Omnium Nord-Africain (ONA) pour créer la Société Métallurgique d'Imiter (SMI). L'entreprise commence à retraiter les anciens déchets miniers (650 000 tonnes de roche contenant une moyenne de 300 g/t d'argent) en utilisant un procédé de cyanuration. Cette activité permet de relancer les travaux d'exploration qui mettent en évidence trois corps minéralisés, dont celui exploité par la mine à ciel ouvert principale dite « Grande carrière » (Levresse, et al., 2018).

En 1978, l'entreprise minière débute l'exploitation souterraine et poursuit son développement pour atteindre un objectif de production de 200 tonnes d'argent-métal par an. Plusieurs années seront nécessaires avant d'atteindre cet objectif de production. De 1985 à 1988, des travaux d'extension sont réalisés, comprenant notamment une nouvelle usine de traitement. La capacité de traitement est portée de 200 à 650 tonnes de minerai par jour (t/j). En 1996, Managem (groupe à vocation minière de l'ONA) rachète les parts encore détenues par le BRPM et installe une nouvelle usine de traitement du minerai qui permet de valoriser un minerai avec une plus faible concentration en argent et donc d'augmenter la quantité des réserves exploitables (Levresse, et al., 2018). Puis, deux autres projets d'extension de l'usine de traitement sont menés en 1998-1999 puis en 2013, portant la capacité de traitement du minerai à 1 400 t/j, puis à 2 600 t/j (Kerbach & Zaini, 2015). L'objectif de production annuelle de 200 tonnes d'argent-métal est atteint en 2016.

De nouveaux travaux d'extension de l'usine sont réalisés en 2017, avec un objectif d'augmentation de la production annuelle d'argent-métal de 30%. Début 2019, l'entreprise minière a mis en fonctionnement une unité supplémentaire dans l'usine, destinée à retraiter des résidus miniers stockés dans les parcs à résidus, avec une augmentation de la production annuelle attendue de 18% (Managem, 2020)²¹.

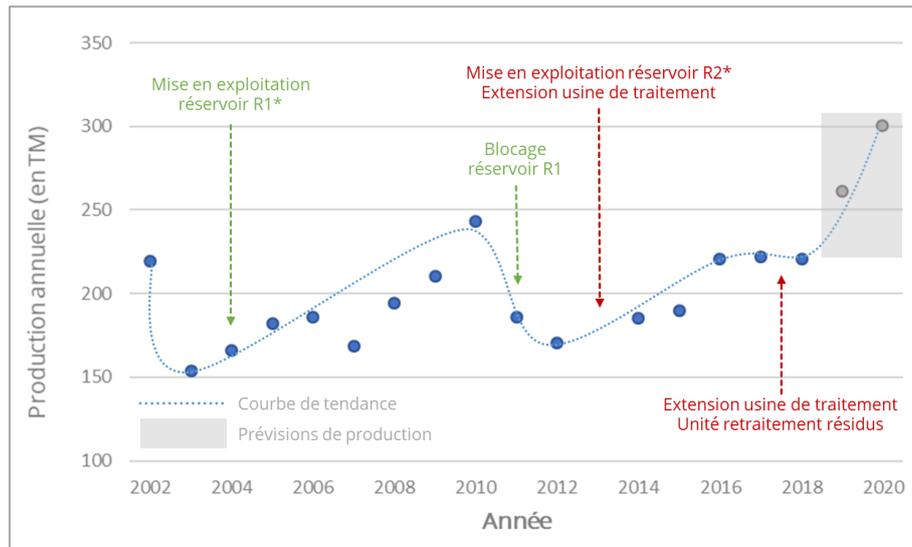
La production en 2018 du site d'Imider s'élevait à 221 tonnes d'argent-métal et l'entreprise minière annonce qu'elle pourrait être portée à 300 tonnes à l'horizon 2020²² (soit 36% de hausse).

²¹ « Fin 2017, Managem a finalisé les travaux d'extension de l'usine de production d'Argent d'Imiter afin d'augmenter de 30% la capacité de traitement annuel. [...] En 2018, Managem a investi dans le projet de valorisation des rejets de traitement de la mine d'Imiter [...] avec l'augmentation de 18% de la capacité de production d'Argent à partir de 2019. » (Managem, 2020)

²² « Le projet d'extension de SMI se fixe comme objectif d'augmenter la capacité de production d'Argent à 300 tonnes métal à partir de 2020 ». Voir p51 du rapport annuel 2016 de Managem.

Aujourd'hui, Imider est la plus grande mine d'argent du continent africain et occupe la 9^{ème} place des plus grandes mines d'argent au monde. Sa durée de vie est actuellement estimée à 12 ans (Managem, 2018 ; The Silver Institute & Refinitiv, 2019) et pourrait s'allonger selon les résultats des travaux d'exploration.

La consolidation des données de production annuelle entre 2002 et 2020 de la Figure 13 met en évidence les corrélations entre le tonnage d'argent-métal produit, les capacités de traitement du minerai et l'alimentation en eau du site.



* La mise en exploitation des réservoirs R1 et R2 concerne également le(s) forage(s) qui les alimente(nt).

Figure 13 : Production annuelle (en tonnes métriques d'argent-métal) de 2002 à 2018, report des prévisions pour 2019 et 2020, et mise en évidence de certains évènements d'importance ; données consolidées à partir de Fouguig (2013) et des derniers rapports d'activité de Managem²³

²³ Pas de valeur de production identifiée pour 2013, estimation à partir de (Levresse, et al., 2018) pour 2015.

4.2. Extraction du minerai et schéma d'exploitation

On pourra se reporter à la planche photographique de l'*Annexe 4* p. 57 qui présente quelques vues du site minier (Omar Radi, Février 2017 et SystExt, 2019)

Le gisement s'organise notamment autour de trois zones d'exploitation : Imider I, Imider II et Imider Sud.

Imider I comprend la mine à ciel ouvert dite « Grande carrière », qui n'est plus en activité désormais (Jamai Nassiri, 2017). Son exploitation s'est faite par gradins de 16 m avec un talus à 55-65° et jusqu'à 130 m de profondeur (Blazy & Jdid, 2006).

A **Imider II**, le gisement est exploité en souterrain par la méthode des tranches montantes remblayées, entre 50 et 430 m de profondeur (Jamai Nassiri, 2017). Le remblayage est assuré par un matériau pompé et cimenté par adjonction de 4 à 5% de ciment en masse. Cette méthode sélective permet une récupération de 97% du minerai présent²⁴ (Blazy & Jdid, 2006).

Concernant **Imider Sud**, aucune information sur l'exploitation de cette zone du gisement n'a été identifiée dans les documents consultés.

De façon générale, l'exploitation sur le site minier Imider se fait désormais uniquement par travaux miniers souterrains.

La *Figure 14* page suivante propose une cartographie schématique du site minier²⁵, en mettant en évidence :

- les zones d'exploitation à ciel ouvert,
- les puits d'accès aux travaux miniers souterrains,
- les installations de traitement du minerai,
- les dépôts de stériles miniers,
- les parcs à résidus miniers (n°1 à n°12).

Ces deux derniers types de stockage de déchets miniers sont respectivement décrits en *paragraphe 5.2* p. 30 et en *paragraphe 5.3* p. 31.

²⁴ Le taux de récupération est le rapport de la quantité de minerai extraite sur la quantité de minerai contenue dans le gisement, au niveau de la zone exploitée.

²⁵ Cette carte a été construite par transposition manuelle depuis la photo satellitaire de la zone (© Google) et tient compte du plan du site (cf. *photographie n°1* de l'*Annexe 4* p. 57). S'agissant d'une représentation simplifiée, certains contours (en particulier pour le tracé des cours d'eau non pérennes) et certaines localisations (en particulier pour les puits de mine) sont soumis à incertitude.

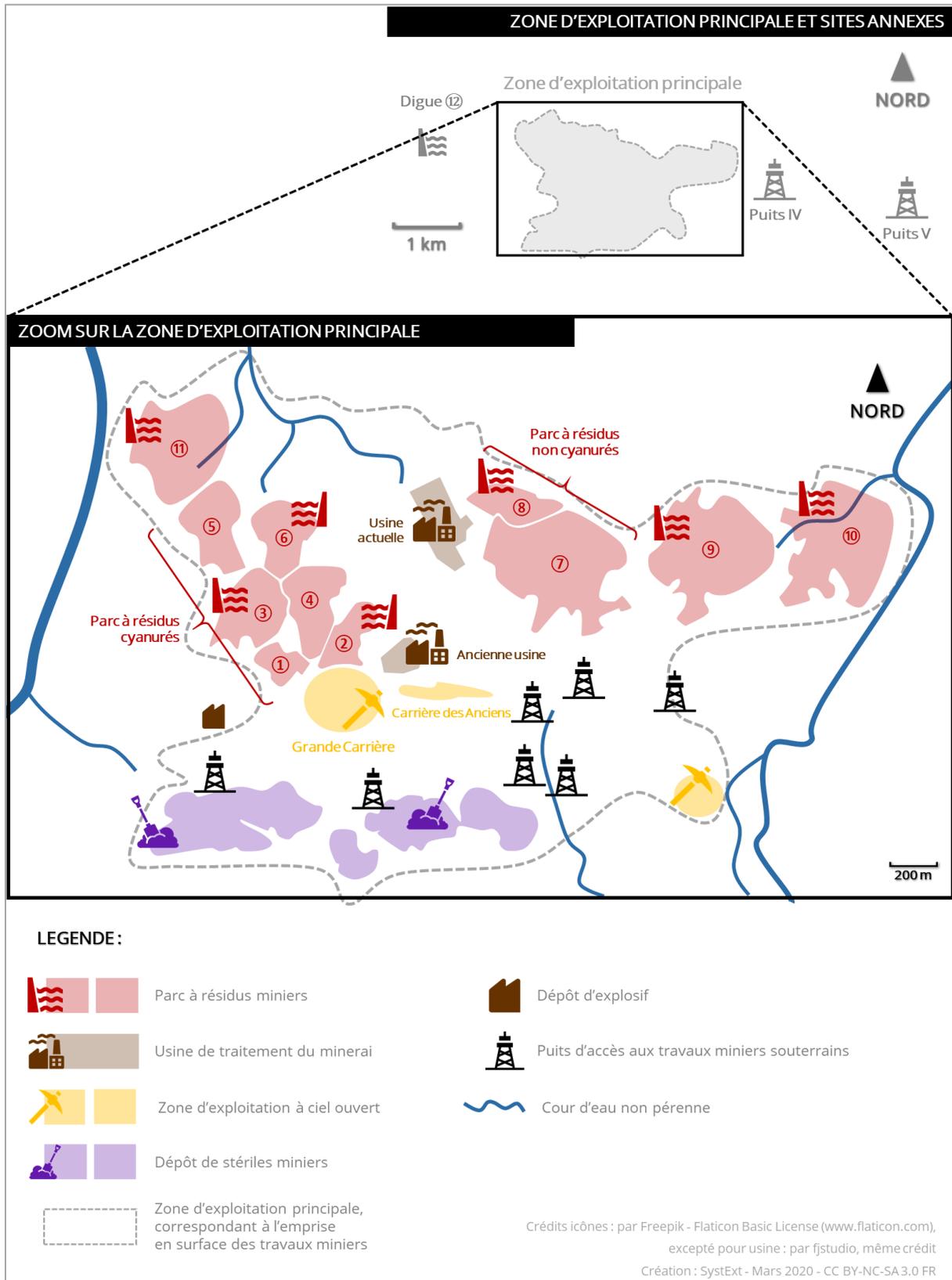


Figure 14 : Cartographie schématique du site minier d'Imider

4.3. Traitement du minerai

Ce paragraphe est principalement basé sur les travaux de *Kerbach et Zaini (2015)*. Le schéma du traitement du minerai est synthétisé en Figure 16.

L'usine de traitement d'Imider comprend toutes les étapes nécessaires à l'obtention de produits finis commercialisables, à partir d'un minerai. Elle produit des lingots de 10.3 kg d'argent avec une pureté de 99,6 à 99,8% et du mercure liquide, principal sous-produit de l'exploitation, également commercialisé²⁶ (*Kerbach & Zaini, 2015 ; Levresse, et al., 2018*).

Après une préparation mécanique par concassage, broyage et hydrocyclonage²⁷, les matériaux sont acheminés vers deux unités :

- une unité de gravimétrie/lixiviation acide ;
- une unité de flottation/cyanuration/cémentation.

Les concentrés argentifères obtenus à l'issue de ces deux unités de traitement alimentent la fonderie. Ils y subissent préalablement une démercurisation à 650°C puis sont fondus en lingots.

► Unité de gravimétrie/lixiviation acide

La **gravimétrie** permet de récupérer les particules d'argent natif et une partie des sulfures métalliques lourds, riches en argent. Il en résulte deux concentrés appelés « Concentré gravimétrique fin » (ou CGF) et « Concentré gravimétrique gros » (ou CGG) ainsi que des particules « mixtes », moins concentrées en argent. Tandis que les 'CGF' et 'CGG' sont respectivement dirigées vers la lixiviation acide et la fonderie, les mixtes²⁸ sont dirigées vers l'unité de flottation.

La **lixiviation acide**, permet de concentrer les CGF qui ne contiennent que 10 à 25% d'argent. Pour ce faire, les CGF sont soumis à deux réactions successives : d'abord en présence d'acide nitrique (HNO_3) pour produire du nitrate d'argent (AgNO_3) puis en présence de chlorure de sodium (NaCl), pour produire du chlorure d'argent (AgCl) à 70-72% d'argent.

► Unité de flottation/cyanuration/cémentation

La **flottation** permet de concentrer les minéraux argentifères en les faisant « flotter ». Les minéraux d'intérêt (argentifères ici) sont rendus hydrophobes par l'ajout de « collecteurs »²⁹ (*Figure 15 page suivante*). En présence de bulles d'air, les particules hydrophobes (minéraux d'argent) s'y fixent et remontent ainsi à la surface. Ce transport sélectif sépare donc les minéraux argentifères des autres, qui restent en suspension dans la pulpe. Pour stabiliser la mousse en surface, on ajoute un « moussant »³⁰.

²⁶ Aucune information précise n'a été identifiée concernant les tonnages de mercure produit et ses modalités de commercialisation.

²⁷ L'hydrocyclonage est une technique consistant à séparer des particules de densité différente par l'action d'une force centrifuge. Dans le cas présent, les particules « légères » se dirigent vers le centre (*overflow* ou surverse) et les particules « lourdes », contenant l'argent, se dirigent vers la paroi (*underflow* ou sousverse).

²⁸ A l'issue d'une opération de traitement du minerai, trois produits sont générés : les « concentrés » qui sont très majoritairement composés des minéraux d'intérêt (argentifères ici), les « résidus » qui en sont appauvris et qui deviennent donc des déchets, et les « mixtes » qui n'en contiennent pas assez et qui doivent donc subir de nouvelles étapes de traitement.

²⁹ Les collecteurs utilisés dans le cas présent sont l'aérophine et l'amyloxanthate de potassium (AXK).

³⁰ Le moussant utilisé dans le cas présent est le méthylisobutylcétone (MIBC).

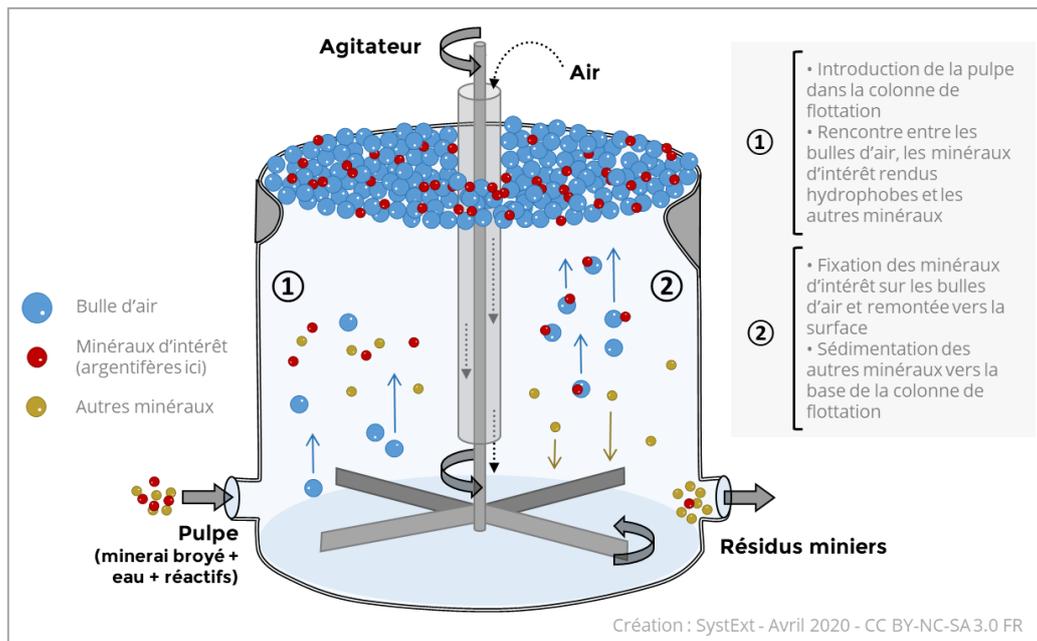


Figure 15 : Schéma de principe de la technique de flottation en colonne

L'objectif de l'étape suivante, la **cyanuration**, est de libérer l'argent des minéraux qui le contiennent, en le mettant en solution. Du cyanure de sodium est ajouté pour dissoudre l'argent des concentrés flottés à l'étape précédente. D'après [Blazy et Jdid \(2006\)](#), ce procédé est appliqué après un broyage secondaire à 160 µm et la concentration en cyanure dans le milieu réactionnel dépend de la teneur en argent (de 1 500 à 5 000 mg/l de cyanure). Il est alors très important de contrôler le taux d'oxygène, la température et le pH (à maintenir entre 11 et 12) pour éviter notamment la génération de cyanure d'hydrogène, un gaz extrêmement toxique. A la sortie, on obtient en particulier une pulpe contenant de l'argent en solution.

Le procédé requiert désormais la mise en œuvre d'une **cémentation**. Après élimination des matières en suspension et désoxygénation, la technique consiste à ajouter de la poudre de zinc pure pour faire précipiter l'argent sous forme solide, on parle alors de « ciment ».

► Fonderie

La dernière étape de traitement de l'argent est réalisée à la **fonderie**, qui reçoit les produits des unités précédemment décrites, à savoir les CGG, les ciments et le chlorure d'argent.

L'étape préalable est une démercurisation dans un four à 650°C. Le mercure, ayant une température d'évaporation de 500°C, est ainsi transformé en vapeur puis condensé sous forme liquide.

S'ensuivent une fusion pour les CGG et ciments, et un affinage pour le chlorure d'argent, étapes toutes deux destinées à éliminer les impuretés. La fusion est opérée dans un four à 962°C (température de fusion de l'argent) en présence de borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)³¹. Les impuretés étant moins denses que l'argent, elles flottent à la surface du mélange fondu et forment des « scories ». L'affinage consiste en le même procédé que la fusion mais en introduisant d'autres réactifs³². La dernière étape est la coulée, lors de laquelle l'argent liquide est coulé en lingots dans des moules.

³¹ L'ajout de borax permet de diminuer la température de fusion de l'argent.

³² Pour l'affinage, les réactifs sont notamment du carbonate de sodium et de la chaux. Ceci permet de soustraire le plomb et le zinc encore présents dans le chlorure d'argent et de les transformer en oxydes.

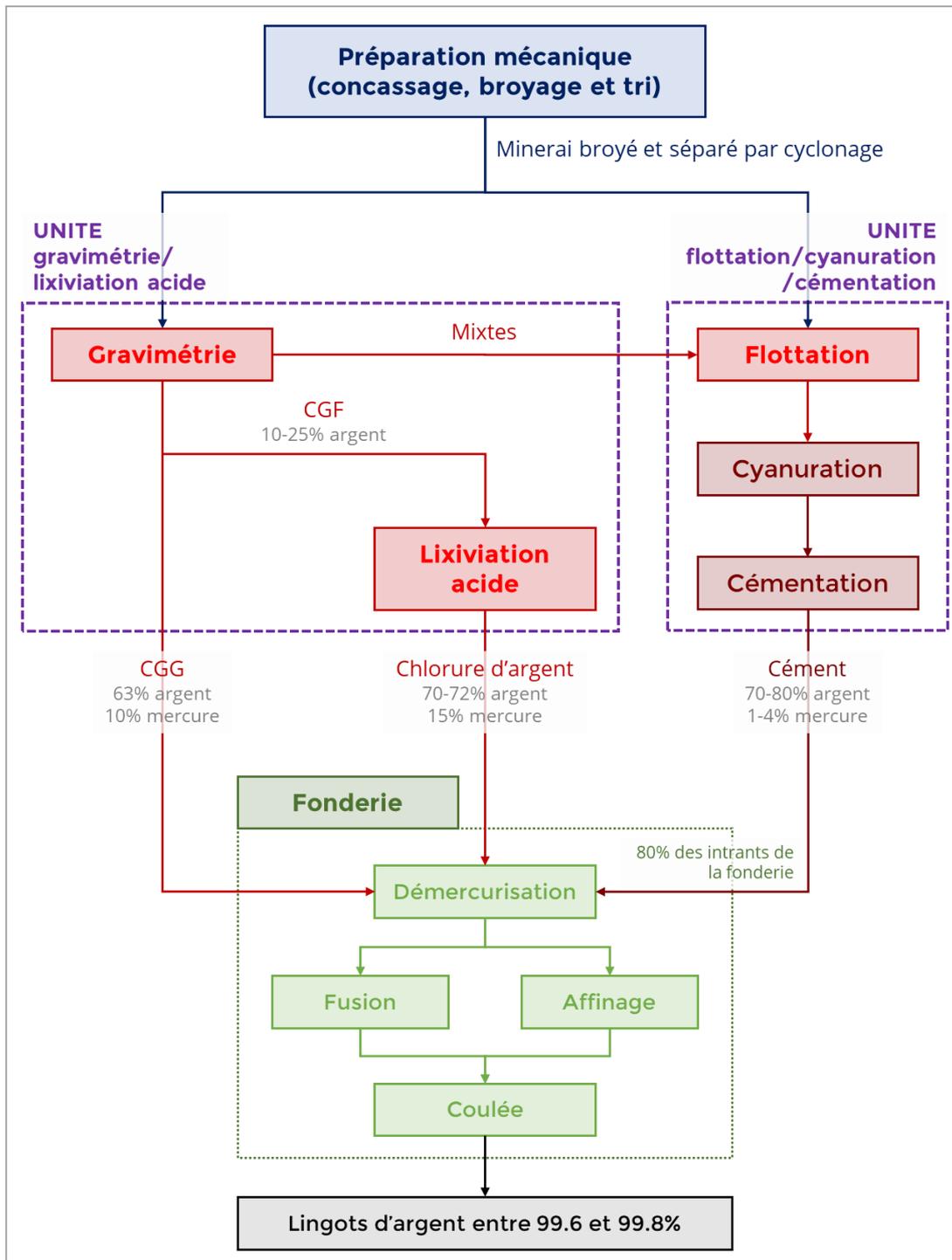


Figure 16 : Schéma simplifié du traitement du minerai à l'usine d'Imider (SystExt, Mars 2020, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

5. Sources de pollution

5.1. Effluents liquides et aériens

Parmi les effluents liquides, on distingue notamment :

- les eaux minières, à savoir l'aquifère minier³³ et les eaux d'exhaure³⁴ ;
- les lixiviats³⁵ se formant au sein des dépôts de déchets miniers ;
- les éventuelles autres eaux « résiduaires », issues en particulier de l'usine de traitement du minéral.

On note que certains documents mentionnent le recyclage des eaux dans l'usine³⁶ et au niveau des parcs à résidus³⁷, sans donnée chiffrée.

Parmi les effluents aériens, on distingue notamment :

- les poussières générées par l'activité minière en surface (circulation des engins et transport éventuel de déchets miniers non boueux) ;
- les poussières provenant des parcs à résidus non couverts, et dont les résidus sèchent en surface (d'autant que la région est soumise à des vents forts) ;
- les fumées et gaz issus de la cheminée de la fonderie.

Concernant l'émission de fumées et gaz, [Kerbach et Zaini \(2015\)](#) expliquent que l'un des objectifs de leur projet est de « *réduire le volume des fumées et donc protéger l'environnement d'une part, et d'autre part, augmenter/améliorer le rendement de combustion des fours* » et précisent que « *l'absence de contrôle de volume des fumées [augmente] la probabilité d'engendrer des émissions pouvant nuire à l'environnement* »³⁸.

Les références bibliographiques consultées et la mission de terrain n'ont pas permis de préciser les caractéristiques des effluents liquides et aériens, ni leur gestion. **Sans négliger les risques associés aux conséquences que leur dispersion dans l'environnement peut occasionner, aucune conclusion précise ne pourra être proposée dans cette étude.**

La question des lixiviats en pied de parcs à résidus sera cependant discutée dans le *paragraphe 5.2* suivant.

³³ L'aquifère minier regroupe les eaux circulant dans les travaux miniers souterrains et/ou celles qui s'accumulent au niveau des zones creusées à ciel ouvert.

³⁴ L'exhaure désigne le détournement par puisage ou pompage des eaux de l'aquifère minier.

³⁵ Un lixiviat est un liquide qui se minéralise par percolation de l'eau à travers un matériau et qui comprend une fraction soluble (métaux en solution par exemple) et une fraction solide (particules en suspension). De façon imagée, cela correspond au phénomène qui se produit lorsqu'une eau chaude et/ou sous pression percole au travers de grains de café moulus pour donner du café liquide.

³⁶ Voir [Chaudier \(2016\)](#) : « *Avec l'épaississeur, la matière solide dans nos rejets représente environ 60% contre 35% auparavant. Les boues sont plus épaisses. On recycle également une partie de l'eau de ces boues par décantation, en captant les eaux claires qui remontent en surface* », détaille [Farid El Hamdaoui](#). »

³⁷ Voir [Benkhadra et El Abbaoui \(2006\)](#), page 515 : « *Sur le site d'Imiter, MANAGEM a introduit la technique de flottation, ce qui a permis de soustraire à la cyanuration 75 % du poids du tout-venant. La totalité de l'eau de la digue est recyclée.* »

³⁸ En pages 21 et 26 de ([Kerbach & Zaini, 2015](#)), respectivement.

5.2. Dépôts de stériles miniers

Parmi les déchets miniers, on distingue classiquement :

- les stériles, qui correspondent à des roches extraites pour accéder au minerai, qui ne sont pas du tout ou pas suffisamment minéralisées pour être traitées dans l'usine ;
- les résidus, qui sont les rejets générés aux différentes étapes de traitement du minerai.

Selon [Levresse et al. \(2018\)](#), la teneur moyenne du gisement est de 300 g/t d'argent, avec une teneur de coupure³⁹ de 130 g/t d'argent. Ainsi, schématiquement, pour chaque tonne de minerai traitée à l'usine, une tonne de résidus miniers sera générée (considérant que 300 g sont négligeables par rapport à une tonne).

On ne connaît pas le ratio « stérile sur minerai » du gisement, c'est-à-dire la quantité de stériles extraite par rapport à la quantité de minerai (qui contient les quantités économiques en argent et qui est valorisée dans l'usine de traitement). Cependant [Blazy et Jdid \(2006\)](#) donnent une indication : au niveau de la mine à ciel ouvert « Grande carrière » à Imider I, l'extraction journalière était de l'ordre de 220 tonnes de minerai pour 250 tonnes de stériles. Ainsi, schématiquement, pour chaque tonne de roche extraite, un peu plus de 500 kg sont des stériles, et un peu moins de 500 kg sont du minerai et seront acheminés vers l'usine de traitement.

Sur le site minier d'Imider, hormis les déchets miniers laissés par les activités anciennes (aux environs du 9^{ème} siècle), la majorité des dépôts de stériles se situe au sud (*voir paragraphe 4.2 et en particulier Figure 14 p. 25*) et provient vraisemblablement de l'exploitation de la « Grande Carrière ». L'exploitation actuelle se fait uniquement en travaux miniers souterrains, par la méthode de tranches montantes remblayées. On suppose que les stériles ne sont pas remontés à la surface et utilisés au fond pour le remblaiement des chantiers dont l'exploitation est terminée.

Les stériles se présentent sous forme d'amas de blocs et de cailloux. Pour autant, ces matériaux peuvent contenir des éléments plus fins (particules sableuses et argileuses). Le terme « stériles » prête à confusion, suggérant qu'ils ne contiennent aucune substance polluante ; ce qui n'est pas le cas. Ils contiennent souvent les mêmes minéraux que ceux des minéralisations, mais en quantités moindres. **Les phénomènes décrits dans les paragraphes suivants (drainage minier acide, écoulement de lixiviats, entraînement de particules fines, etc.⁴⁰) concernent également les dépôts de stériles miniers mais sont moins développés (en intensité et en fréquence) que dans les stockages de résidus miniers.**

³⁹ La teneur de coupure est la teneur minimale au-dessus de laquelle le gisement est économiquement exploitable, en fonction des coûts d'extraction spécifiques au gisement et des prix actuels ou estimés du minerai extrait.

⁴⁰ Voir paragraphe 5.3 p. 31 et paragraphe 6.2 p. 39.

5.3. Parc à résidus miniers

► Augmentation accélérée de l'emprise en surface des parcs à résidus

On pourra se reporter à la planche photographique de l'Annexe 5 p. 58 qui présente des vues des parcs à résidus n°3 à n°11.

La corrélation des vues satellitaires et du plan du site minier a permis d'identifier 12 parcs à résidus, pour le stockage de résidus miniers, totalisant une surface de presque 100 hectares.

La *Figure 17* p. 33 et le *Tableau 5* présentent l'évolution de la surface des parcs à résidus, pour les années 2003, 2012 et 2018. L'augmentation importante de la production ces 20 dernières années (voir *paragraphe 4.1* et en particulier *Figure 13* p. 23), a nécessairement conduit à l'augmentation du volume de résidus miniers. Pour appréhender cette évolution, et en l'absence de données sur les volumes de déchets générés, on se basera ici sur les surfaces des parcs à résidus. Celle-ci a augmenté de 60% entre 2003 et 2012 (sur une période de 9 ans) puis de 86% entre 2012 et 2018 (sur une période de 6 ans).

Certains parcs à résidus ont été retravaillés⁴¹ (n°1 et n°2 notamment) et ne semblent plus être utilisés pour le stockage de résidus miniers. D'autres, cependant, ont été alimentés progressivement, telles qu'en témoignent les mesures de surface réalisées avec le logiciel © Google Earth⁴². Les parcs à résidus n°5, n°6 et n°7 sont particulièrement concernées, avec des augmentations de leur superficie entre 2003 et 2018 de 185%, 328% et 146% respectivement.

N° Parc	2003	2012	2018	Augmentation
1	3.2	3.2	3.2	
2	2.1	2.1	2.1	
3	7.3	7.3	7.3	
4	5.9	5.9	5.9	
5	2.2	5.0	6.2	185 % (de 2003 à 2018)
6	1.2	4.4	5.3	328 % (de 2003 à 2018)
7	7.1	13.2	17.5	146 % (de 2003 à 2018)
8	3.5	3.5	3.5	
9		7.4	17.4	135 % (de 2012 à 2018)
10			16.6	
11			7.8	
12			5.0	
TOTAL	32.6	52.3	97.3	

Tableau 5 : Evolution de la surface (en hectares) des parcs à résidus sur le site minier d'Imider en 2003, 2012 et 2018 (SystExt, Avril 2020)

⁴¹ Les parcs à résidus retravaillés ont vu leur surface réaménagée par des travaux de terrassement ou par l'aménagement de voies d'accès, par exemple.

⁴² Les emprises des parcs à résidus de la *Figure 17* ont été reportés manuellement à partir des vues satellitaires et sont donc soumises à certaines imprécisions. Tenant compte de ces incertitudes, lorsque l'emprise d'un parc à résidus ne changeait pas plus de 0,5 ha entre 2003, 2012 et 2018, on a pris en compte uniquement la moyenne des mesures réalisées sur ces trois années. Cela concerne les parcs à résidus n°1, n°2, n°3, n°4 et n°8.

Concomitamment au remplissage de ces trois parcs à résidus et du n°9, trois nouveaux parcs à résidus ont été installés : n°10, n°11 et n°12 (ce dernier étant situé à 1,2 km à l'ouest du n°11). L'alimentation continue de ces stockages a d'ailleurs été confirmée par les observations de terrain (*voir photographies en Annexe 5 p. 58 des parcs à résidus n°7, n°10 et n°11*).

Le traitement par cyanuration implique la génération de résidus cyanurés, qui ne sont pas stockés dans les mêmes parcs à résidus que les autres résidus miniers. Le plan du site (*cf. photographie n°1 de l'Annexe 4 p. 57*) indique d'ailleurs que les parcs à résidus cyanurés se situeraient notamment au nord de la « Grande carrière » (parcs à résidus n°1 à n°6). On s'attend donc au possible stockage simultané dans deux parcs : pour les résidus cyanurés et pour les résidus non-cyanurés. **Cependant, le remplissage simultané de sept parcs à résidus questionne la planification du stockage des résidus sur le site minier.**

L'emprise en surface de ces dépôts ne cesse d'augmenter et ce phénomène s'est accéléré ces dernières années. Le comblement des fonds de vallon au nord du site minier est presque complet et questionne la possibilité de trouver de nouveaux espaces pour les besoins futurs. Il est probable que ceci explique l'éloignement du parc à résidus n°12.

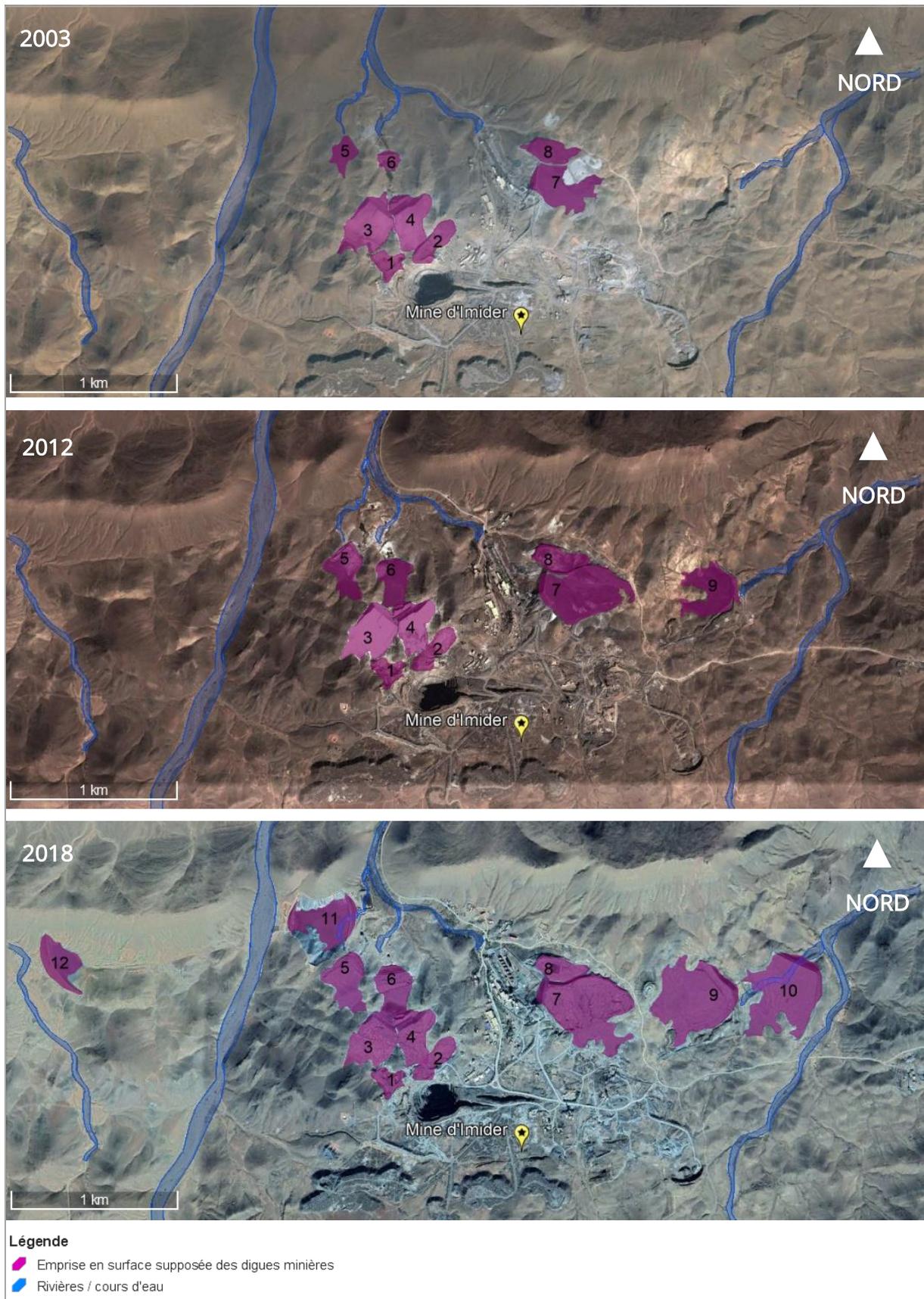


Figure 17 : Parcs à résidus sur le site minier d'Imider, en vue satellitaire (© Google)

► Composition minéralogique et chimique des résidus miniers

Tel que détaillé dans le *paragraphe 2.3* afférent à la minéralogie et à la géochimie et le *Tableau 1 p. 13*, la paragenèse est principalement constituée de minéraux sulfurés et de sulfosels. Tenant compte que seuls l'argent et le mercure sont valorisés lors du traitement du minerai (décrit dans le *paragraphe 4.3 p. 26*), les résidus miniers contiennent majoritairement les phases minérales non porteuses d'argent et de mercure (pyrite, arsénopyrite, chalcopryrite, sphalérite, galène, cobaltite, etc.).

Avec l'action combinée de l'eau et de l'oxygène, ces minéraux s'oxydent et peuvent être générateurs de drainage minier acide. Les jus acides ainsi produits ont la propriété de mettre en solution les métaux et substances contenues dans les minéraux, comme le cuivre, le zinc, le plomb, l'arsenic, l'antimoine, etc., dont les concentrations sont élevées dans le gisement (Kamal, et al., 2007). Par ailleurs, la sphalérite est abondamment présente dans le gisement (Levresse, 2001) et il est fréquent que celle-ci contienne du cadmium dans son réseau cristallin. **Dans une approche majorante, on retiendra que le cadmium est également présent dans les résidus miniers.**

Par ailleurs, tel que décrit dans le *paragraphe 2.1 p. 9* sur le contexte géologique local, les roches encaissantes de la minéralisation sont très majoritairement siliceuses (schistes, grès, pélites, andésites, rhyolites, diorites, etc.). Contrairement aux faciès carbonatés, celles-ci ne sont pas en mesure d'atténuer les effets du drainage minier acide, voire même le favorisent de par l'acidité des minéraux qu'elles contiennent. **En l'absence de couverture en surface⁴³ des stockages de résidus miniers et en cas de précipitations, la génération de drainage minier acide est inévitable.**

Par ailleurs, dans les résidus miniers, on s'attend également à la présence d'argent et de mercure. Concernant cette dernière substance, l'hypothèse est faite que les teneurs résiduelles sont faibles, tenant compte du procédé de démercurisation mis en œuvre dans la fonderie. D'après Benkhadra et El Abbaoui (2006) : « Le mercure (vapeur) a d'abord été récupéré sous forme liquide et stocké. Depuis 2000, il est précipité sous forme de sulfures et stocké dans une digue aménagée spécialement à cet effet. »

Tenant compte de la couleur rouge tout à fait caractéristique du sulfure de mercure (cinabre), les vues satellitaires historiques ont été étudiées entre 2000 et 2006 (seulement deux vues disponibles sur cette période) afin de rechercher un éventuel parc à résidus dédié. Seule une vue du 19/06/2004 interpelle à cet égard (voir 'Stockage de matériaux différents' sur la Figure 23 p. 43). On remarque en effet au droit du parc à résidus n°6, alors en cours de remplissage, des fluides surnageant de couleur rouge à violette. **Dans tous les cas, l'éventuel stockage de sulfures de mercure dans l'un des parcs à résidus requiert un point de vigilance.**

Si les métaux et métalloïdes présents dans les parcs à résidus peuvent être mis en solution par l'action du drainage minier acide, ils peuvent également l'être par l'action des fluides cyanurés stockés dans certains parcs à résidus. On précise cependant que, dans les résidus provenant de l'étape de cyanuration, tous les métaux et métalloïdes sont en solution. En effet, si le cyanure ajouté permet de dissoudre l'argent, la grande majorité du réactif a pour effet de mettre en solution les autres substances métalliques.

⁴³ Les parcs à résidus qui sont en cours de remplissage, ainsi que ceux qui pourraient faire l'objet d'un retraitement, ne peuvent pas être couverts. De nombreux opérateurs miniers dans le monde maintiennent une couche d'eau à la surface du parc à résidus pour éviter la pénétration de l'oxygène vers les déchets miniers et limiter ainsi les risques de drainage minier acide. Tenant compte du climat et du taux d'évaporation précisés dans le *paragraphe 3.2*, ce procédé semble également compromis.

Ce qui est craint dans la mise en solution des métaux et métalloïdes est la capacité des effluents qui les contiennent à les entraîner hors des parcs à résidus et sur de longues distances en aval. **Ceci est d'autant plus préoccupant que parmi les substances identifiées, l'arsenic, l'antimoine, le cadmium, le plomb et le mercure font partie de celles qui sont les plus dangereuses pour la santé humaine⁴⁴.**

► Insuffisance des dispositifs d'étanchéification et de protection des parcs à résidus

L'étude des vues satellitaires historiques corrélée aux observations de terrain a permis de mettre en évidence **l'absence de dispositif d'étanchéification en base des parcs à résidus**, exception faite du parc à résidus n°11 qui repose sur un géotextile. Ceci s'observe en particulier pour le parc à résidus n°9, tel que présenté sur la *planche photographique de l'Annexe 6 p. 60*, mais aussi pour le parc à résidus n°12 dont la mise en place en était à ses débuts en novembre 2018.

Sous les parcs à résidus, bien que les faciès géologiques soient considérés imperméables dans leur masse, des circulations d'eau se produisent au sein de structures telles que la fissuration, la fracturation ou la schistosité. C'est pourquoi on y trouve de nombreuses résurgences à faible débit, le plus souvent au niveau des failles (Kamal, et al., 2007). Ceci indique que les eaux qui sont présentes dans le parc à résidus (les résidus miniers étant stockés sous forme de pulpes) et les eaux de pluie qui s'y infiltrent (en l'absence de couverture, voir note de bas 43 page précédente) peuvent potentiellement rejoindre la base du stockage et communiquer avec les aquifères sous-jacents.

Par ailleurs, les clôtures de protection tout autour des parcs à résidus sont inexistantes ou en mauvais état. Sans envisager la fréquentation de ces zones par des habitants des villages alentours, des mesures de protection renforcée pourraient être prises pour éviter l'accès aux animaux, en particulier aux troupeaux pâturant dans les environs.

⁴⁴ Voir la page 'Dix produits chimiques qui posent un problème majeur de santé publique' sur le site de l'OMS [au lien suivant](#).

6. Risques potentiels

6.1. Risques associés aux eaux souterraines

La *Figure 18* consiste en un schéma de principe de l'organisation générale des séries géologiques et reprend les informations collectées sur les captages installés au nord du site minier.

- **Les captages dits « de la vallée »** servent aux besoins domestiques (dont eau potable) et agricoles pour la population locale. Les terrains aquifères se situent dans des roches sédimentaires du *Cambrien* et de l'*Ordovicien* ou dans les alluvions du *Quaternaire* (dans l'oued principal). Le puisage des eaux souterraines se fait par des puits peu profonds et des khetaras.
- **Les captages dits « de la mine »** servent à l'alimentation en eau du site minier. Les terrains aquifères se situent dans des roches sédimentaires du *Crétacé* et de l'*Eocène*. D'après les témoignages recueillis sur le terrain, le puisage des eaux souterraines se ferait par des forages présentant une profondeur de plusieurs dizaines de mètres.

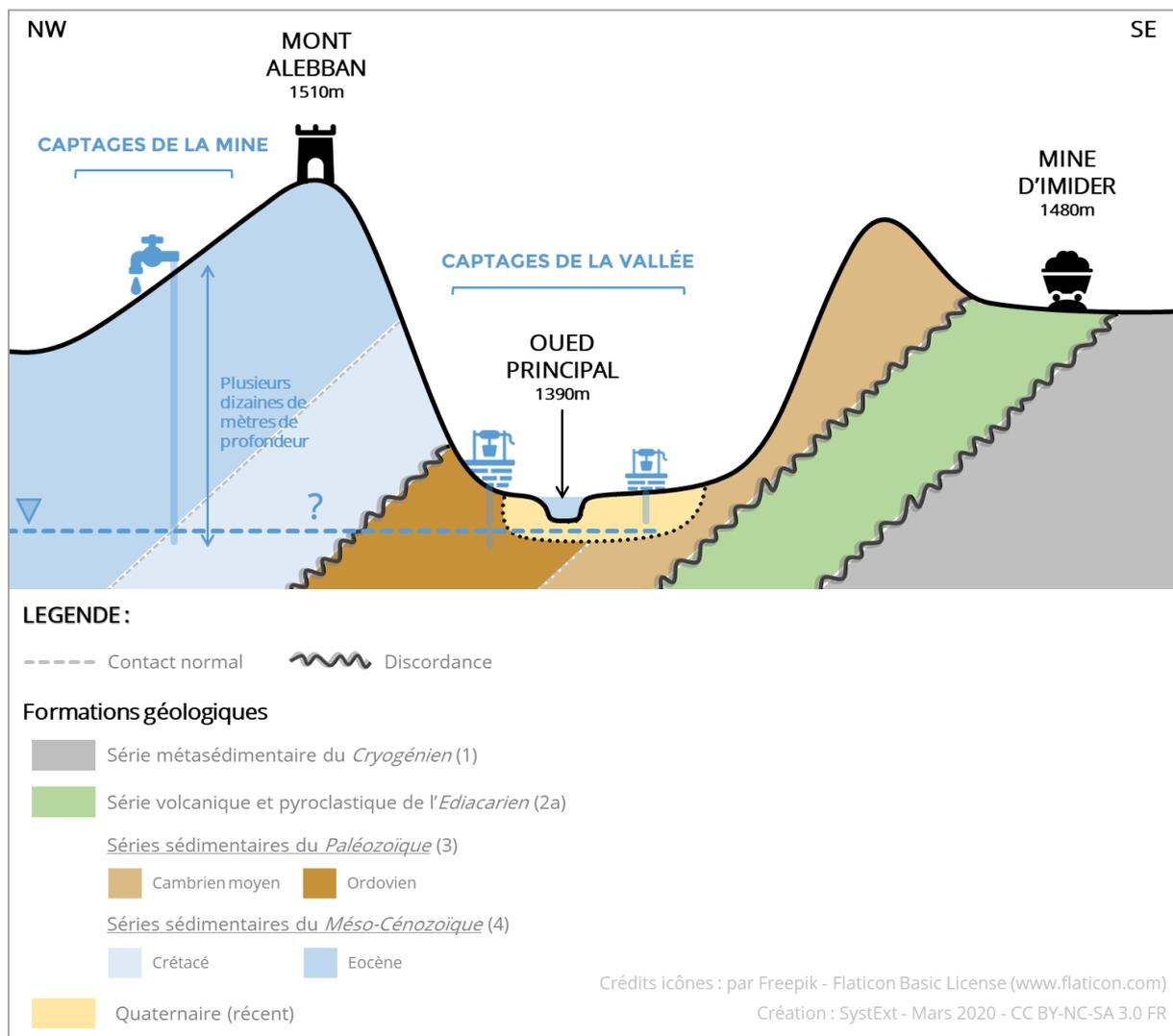


Figure 18 : Schéma de principe présentant l'organisation générale des formations géologiques ainsi que les captages des eaux souterraines⁴⁵

⁴⁵ Ce schéma n'a qu'une vocation illustrative, il ne respecte ni le pendage des couches, ni leur épaisseur.

► Interactions entre les eaux minières et les nappes souterraines situées dans la vallée

Pour rappel, les formations géologiques qui se trouvent au niveau du site minier appartiennent au socle *Précambrien*, en particulier à la série métasédimentaire du *Cryogénien* (1) et à la série volcanique et pyroclastique de l'*Ediacarien* (2a). Bien que ces faciès soient considérés comme imperméables dans leur masse, des circulations d'eau se produisent au sein de structures telles que la fissuration, la fracturation ou la schistosité. Tous les auteurs consultés s'accordent d'ailleurs sur la présence de terrains aquifères au niveau du site minier, avec : un niveau hydrostatique à 50 m de profondeur et des venues d'eau importantes (700 000 m³ étant utilisés chaque année par l'exploitant).

Les roches du socle *Précambrien* présentent une perméabilité très différente des séries sédimentaires du *Paléozoïque* (3) qui reposent en discordance par-dessus. La communication des eaux souterraines entre ces deux compartiments est donc très peu probable. Il en est corrélativement de même pour d'éventuelles interactions hydrogéologiques entre les alluvions du *Quaternaire* (recouvrant le fond de la vallée où se trouve l'oued principal) et les nappes souterraines présentes au niveau du site minier.

Tenant compte des informations recueillies, on ne retiendra pas ici le risque associé à des interactions entre les nappes souterraines présentes au niveau du site minier et les terrains aquifères captés dans la vallée.

► Interactions entre les nappes souterraines captées par la mine et celles situées dans la vallée

Pour rappel, les terrains aquifères captés par la mine se situent dans les séries sédimentaires du *Méso-Cénozoïque* (4), en particulier dans les formations de l'*Eocène* et du *Crétacé*. Cet ensemble repose en discordance sur les séries sédimentaires du *Paléozoïque* (3). Bien que ces deux compartiments soient hétérogènes et comportent en leur sein des horizons plus ou moins perméables, ils sont constitués de roches comparables : grès et calcaires en particulier, mais aussi schistes, conglomérats et intercalations pélitiques.

Contrairement au cas précédent, leur perméabilité est comparable dans leur masse. **Malgré la présence d'une discordance entre ces deux séries sédimentaires, une connexion hydraulique ne peut être exclue.** On ne parle pas nécessairement d'une continuité hydraulique, avec une seule nappe continue des séries sédimentaires du *Méso-Cénozoïque* à celles du *Paléozoïque*, mais bien de la possibilité qu'il y ait des communications entre les nappes souterraines qu'elles contiennent. **Pour les mêmes raisons, une connexion hydraulique ne peut être exclue entre les nappes souterraines captées par la mine et celles des alluvions du *Quaternaire*.**

Une telle communication entre les terrains aquifères captés par la mine et ceux captés dans la vallée expliquerait par ailleurs les résultats des mesures de débit réalisées en 2005 par Inovar (*voir paragraphe 3.4 et en particulier Tableau 4 p. 21*). Les résultats alors obtenus indiquaient une diminution des débits et des niveaux d'eau de trois khattaras situés dans la vallée, après la mise en service du forage installé près du Mont Alebban en 2004. D'après les témoignages recueillis sur le terrain, ces diminutions sont d'autant plus surprenantes que les khattaras sont connus pour leur stabilité exceptionnelle, y compris lors des périodes de sécheresse, comme celle qui a touché le secteur dans les années 80.

Le profil topographique de la *Figure 19 page suivante* précise la situation des différents ouvrages. La tête du forage de la mine réalisé en 2004 se situe à environ 1 500 m d'altitude, tandis que le lit majeur de l'oued principal se situe à environ 1 385 m d'altitude, ce qui représente un différentiel de 115 m.

Un forage d'une profondeur de plusieurs dizaines de mètres pourrait se situer sous le niveau altimétrique des *alluvions du Quaternaire*. Cette configuration topographique renforce l'hypothèse d'une influence potentielle du forage de 2004 de la mine sur les captages de la vallée.

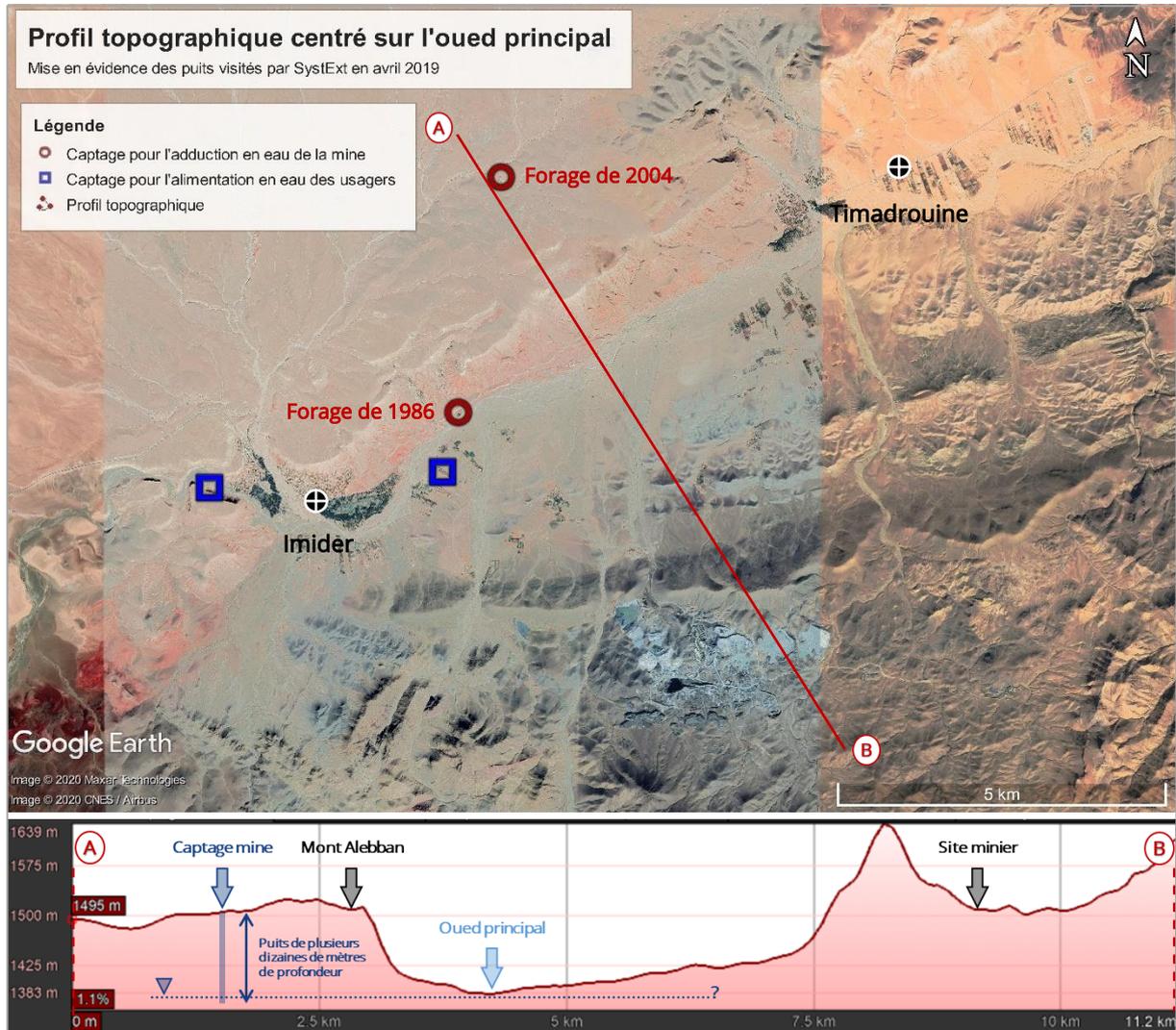


Figure 19 : Profil topographique centré sur l'oued principal et passant par le forage de 2004 (au NW) et le site minier (au SE) (© Google)⁴⁶

En cas de connexion hydraulique entre les nappes souterraines captées par la mine et les terrains aquifères de la vallée, le pompage réalisé au niveau du forage de 2004, et le phénomène de rabattement de nappe⁴⁷ associé, pourraient effectivement influencer sur les formations aquifères dans lesquelles les populations locales puisent les eaux par puits et khetaras.

Tenant compte des informations recueillies, on retiendra ici le risque associé à des interactions entre les nappes souterraines captées par la mine et celles situées dans la vallée.

⁴⁶ Les « captages pour l'alimentation en eau des usagers » de cette figure correspondent à deux captages utilisés par la population locale et visités par SystExt lors de la mission de terrain d'avril 2019.

⁴⁷ Un rabattement de nappe est une baisse du niveau piézométrique zéro (plafond) d'une nappe phréatique induit ici par le pompage de l'eau dans la nappe.

6.2. Risques associés aux parc à résidus et digues

Au préalable, on définit pour ce document le terme « digue » par le (ou les) « barrage(s) » qui permettent de retenir les résidus miniers dans le parc à résidus. Sur le site d'Imider, la grande majorité des parcs à résidus dispose d'une digue unique située en aval de l'ouvrage ; le reste du parc à résidus s'appuyant sur les terrains naturels des talwegs⁴⁸ dans lesquels il est installé.

Tel que décrit dans le *paragraphe 5.3 p. 31* relatif aux parcs à résidus, la construction de ces derniers a conduit au comblement presque complet des fonds de vallon dans la partie nord du site minier. L'étude des vues satellitaires historiques a par ailleurs mis en évidence que plusieurs de ces parcs à résidus ont été installés dans le lit de cours d'eau, en particulier les parcs à résidus n°10 et n°11. Ceci est la conséquence logique de la nécessité de stocker dans des points bas topographiques pour optimiser le volume de déchets entreposés.

L'obturation de cours d'eau, même s'ils ne sont pas pérennes, a des effets importants sur l'hydrodynamique locale, en particulier sur le comportement des eaux de ruissellement. Lors des épisodes de pluie, les eaux s'écouleront naturellement vers ce qui était autrefois des talwegs, devenus des décharges de résidus miniers. Il y a dès lors un risque d'accumulation des eaux au niveau de du parc à résidus, dont peuvent résulter plusieurs phénomènes :

- (a) L'érosion, le ravinement voire des glissements superficiels sur la digue ;
- (b) Le débordement d'une partie des résidus miniers depuis la partie sommitale du parc à résidus et le déversement de ces matériaux par-dessus la digue ;
- (c) L'augmentation de la pression derrière la digue qui peut conduire à une surcharge sur cet ouvrage puis à sa déstabilisation, partielle ou totale. On parle alors de « rupture de digue », qui provoque l'entraînement de volume important de résidus, sous forme de coulée de boue.

A titre d'illustration, la *Figure 20* présente des dommages superficiels sur les digues des parcs à résidus n°5 et n°4. Dans ce dernier cas, on distingue une loupe d'arrachement de 65 m de long, associé à un glissement superficiel en partie basse de la digue.



Figure 20 : Dommages sur les digues : à gauche : parc à résidus n°5, ravines profondes (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR) ; à droite : parc à résidus n°6, glissement superficiel (© Google)⁴⁹

⁴⁸ Un talweg correspond à la ligne formée par les points ayant la plus basse altitude, soit dans une vallée, soit dans le lit d'un cours d'eau.

⁴⁹ Cette vue satellitaire date du 17/02/2016 mais le glissement est déjà visible sur celle du 27/12/2003. Les numéros (de 3 à 6) sont ceux des parcs à résidus, tels que définis dans la présente étude.

Les phénomènes décrits précédemment, (a) à (c), peuvent être amplifiés en cas de « **superposition accidentelle** » des parcs à résidus. Sur le site minier d'Imider, aucun parc à résidus ne semble avoir été construit sur un autre. La « superposition » dont il est question ici est une conséquence du comblement progressif des fonds de vallon et de l'augmentation accélérée de l'emprise en surface des parcs à résidus. En effet, certains de ces stockages, construits topographiquement sous d'autres parcs à résidus, ont fini par s'étendre jusqu'au pied de ces derniers (Figure 21). On peut donc parler de « superposition accidentelle », puisque la construction initiale ne la prévoyait pas.

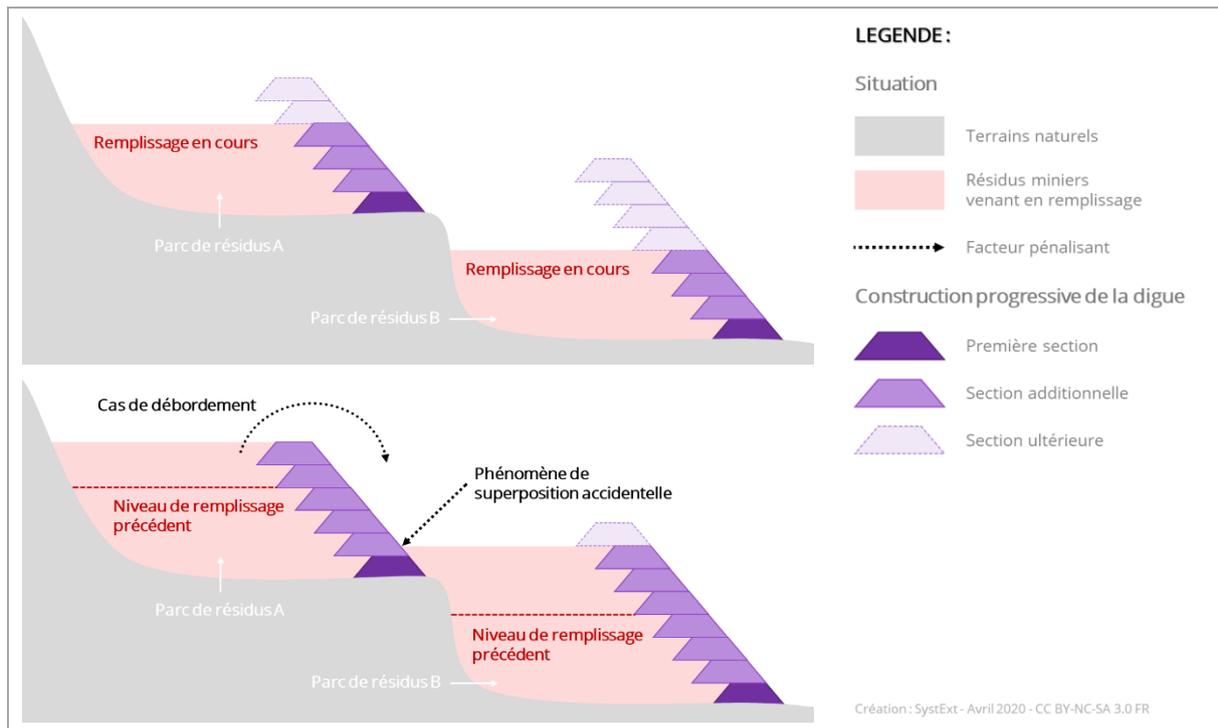


Figure 21 : Schéma de principe du phénomène de « superposition accidentelle » observé sur le site minier d'Imider⁵⁰

C'est le cas notamment du parc à résidus n°8 qui se situe sous le parc à résidus n°7, et du parc à résidus n°6 qui se situe sous les parcs à résidus n°3 et n°4. Par ailleurs, la partie « amont » du parc à résidus n°10, construite sous le parc à résidus n°9, n'est désormais plus qu'à une distance de 50 à 80 m de ce dernier. On pourra se reporter à la vue de 2018 en Figure 17 p. 33.

En cas de « superposition accidentelle », tout dommage qui intervient sur un parc à résidus peut avoir des conséquences sur la stabilité de celui situé en dessous. Par exemple, un débordement qui se produirait au niveau du parc à résidus n°3 et/ou n°4 conduirait à un déversement de résidus miniers dans le parc à résidus n°6, augmentant pour ce dernier le risque de débordement ou de surcharge. Il s'agit de phénomènes en série aggravants, à éviter autant que possible.

⁵⁰ La méthode de construction des digues ici représentée est la méthode « amont ». Dans ce cas, au fur et à mesure du remplissage du parc à résidus, des sections sont ajoutées sur la digue et ce, de l'aval vers l'amont (vers la zone de remplissage des boues). Sur le site minier d'Imider, d'après l'observation des vues satellitaires historiques, plusieurs parcs à résidus semblent avoir été mis en place avec la méthode « amont », notamment les parcs n°3, n°4, n°5, n°6 et n°10.

6.3. Risques associés aux eaux de surface

► Pollution des cours d'eau qui traversent le site minier

Au préalable, on définit pour ce document le terme « matériaux résiduaires » comme étant les produits provenant :

- (a) de l'**entraînement de particules** issues de sols pollués lors des précipitations ;
- (b) de l'**érosion** (par l'action de la pluie mais aussi par celle du vent) et du **sapage**⁵¹, des dépôts de stériles miniers et des parcs à résidus ;
- (c) du **débordement** d'une partie des résidus miniers depuis la partie sommitale du parc à résidus et le déversement de ces matériaux par-dessus la digue ;
- (d) d'**écoulements de lixiviats**³⁵ et de **fuites** au niveau de la digue.

La *Figure 22* représente schématiquement la situation d'un parc à résidus et de sa digue, ainsi que les phénomènes pénalisants qui peuvent s'y produire (cas (b), (c) et (d) précédents). Ces derniers sont décrits de façon détaillée dans les paragraphes suivants.

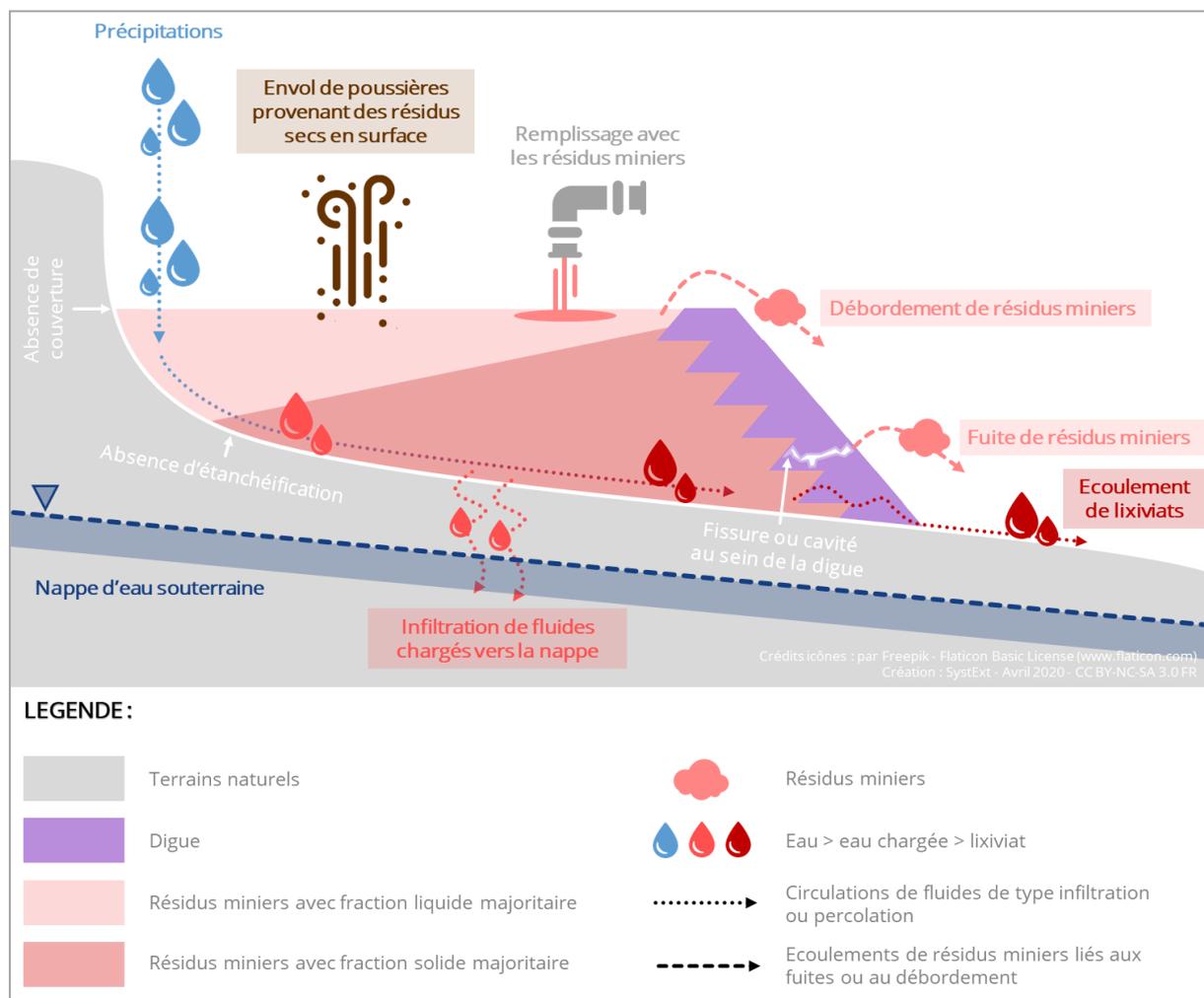


Figure 22 : Schéma de principe d'un parc à résidus en cours de remplissage et mise en évidence des phénomènes pénalisants possibles en surface, à la base, et au niveau de la digue

⁵¹ Le sapage consiste en l'érosion ; par un cours d'eau, de la base d'un dépôt de matériaux.

► Ecoulements de lixiviats et fuites au niveau des digues

Ces derniers phénomènes (d) sont favorisés par l'absence de dispositif d'étanchéification des parcs à résidus sur le site minier (hors parc à résidus n°11). Une digue n'est en effet pas construite en béton, mais le plus souvent à partir de stériles miniers ou de résidus miniers grossiers. Ces matériaux ne sont pas parfaitement imperméables.

Aussi, il est fréquent que des eaux qui percolent dans un parc à résidus rejoignent par gravité la base de cet ouvrage et que les lixiviats alors générés traversent la digue' : c'est le phénomène d'**écoulement de lixiviats**.

Il n'est également pas rare, que des fissures ou cavités se forment au sein de la digue, soit par défaut de construction, soit par tassement différentiel des matériaux qui la composent. Ceci se produit notamment à sa base, lorsque les matériaux de la digue ne reposent pas « parfaitement » sur les terrains naturels sous-jacents. Ce contact irrégulier et les éventuels interstices qui se sont formés dans la digue peuvent permettre le passage des boues de résidus miniers venant en remplissage du parc à résidus : c'est le phénomène de **fuites**.

Une étude détaillée des vues satellitaires historiques a **mis en évidence des phénomènes que l'on suppose être des écoulements de lixiviats et des fuites, au niveau de plusieurs parcs à résidus du site minier d'Imider**. A l'échelle d'une vue satellitaire, on notera cependant qu'il est difficile de discriminer les écoulements de lixiviats et les fuites.

Sur la *Figure 23 page suivante (vue V6 en 2004)*, on distingue nettement des matériaux de la même couleur que les résidus miniers, qui s'écoulent en aval des parcs à résidus n°5 et n°6, sur des distances respectives de 150 m et 200 m. Des écoulements de lixiviats et fuites supposés s'observent aux mêmes endroits en 2012 (*vue V4 en Annexe 7 p. 61*) et en 2013 (*vue V5 en en Annexe 7*), suggérant que ces phénomènes se sont produits de façon récurrente.

Les parcs à résidus n°7 et n°8 semblent également avoir été concernés par des écoulements de lixiviats et des fuites, d'après la vue V2 (2004) en *Annexe 7 p. 61*.



Figure 23 : Vue satellitaire historique (en date du 19/06/2004) mettant en évidence des phénomènes supposés d'entraînement de matériaux résiduels et d'écoulement de lixiviats (© Google)⁵²

⁵² Le cadre rouge est localisé par rapport au site minier en *Annexe 7* p. 61.

► Entraînement de matériaux résiduaires dans les cours d'eau

S'ils ne sont pas récupérés, les matériaux résiduaires provenant des débordements, des écoulements de lixiviats, des fuites, etc., rejoignent naturellement les points topographiques bas et les cours d'eau. Sur la *Figure 24 (vue V1 en 2004)*, on distingue nettement ce que l'on suppose être des matériaux résiduaires dans le *ruisseau n°1*, confirmé par la comparaison avec l'état du *ruisseau n°2*⁵³.

Ces matériaux résiduaires pourraient provenir du centre du site minier, en particulier des parcs à résidus n°7 et n°8, d'après la vue V2 (2004) en *Annexe 7 p. 61*, qui inclut notamment l'amont du *ruisseau n°1*. Des entraînements de matériaux résiduaires s'observent également en aval du parc à résidus n°5 en 2012 (*vue V4 en Annexe 7*) et au niveau du site annexe Puits V en 2018 (*vue V3 en Annexe 7*), suggérant que ces phénomènes se sont produits de façon récurrente.

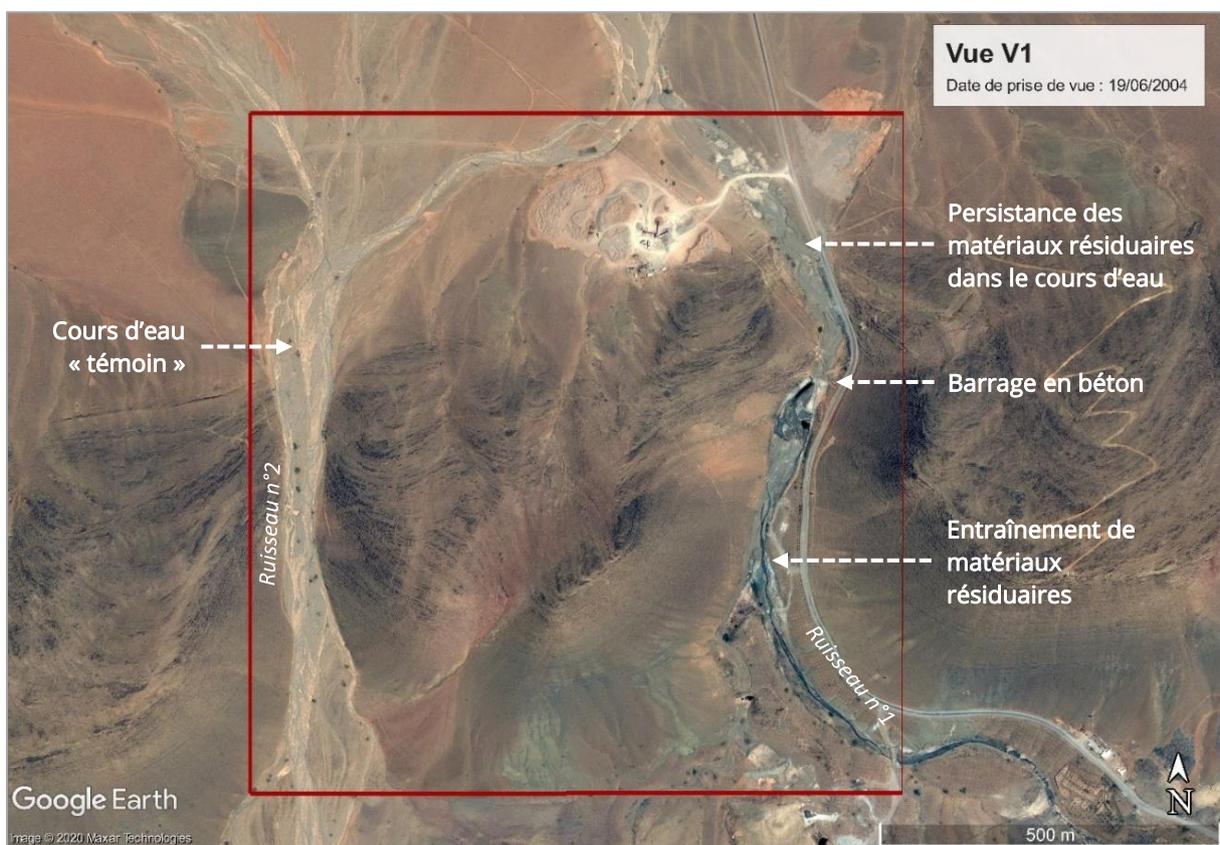


Figure 24 : Vue satellitaire historique (en date du 19/06/2004) mettant en évidence l'entraînement supposé de matériaux résiduaires dans le *ruisseau n°1* (© Google)⁵⁴

Ces épisodes supposés seraient à l'origine d'une pollution historique des cours d'eau. La mission de terrain d'avril 2019 n'a pas permis de conclure quant à la persistance de ces phénomènes (débordements, fuites et entraînement des lixiviats) aujourd'hui. Cependant, tenant compte de l'abondance de déchets miniers en surface (stériles y compris) et de sols pollués au droit du site minier, **il est inévitable qu'en cas de précipitations importantes, les eaux de ruissellement transportent des matériaux résiduaires vers les ruisseaux** (sans que l'on soit en mesure d'évaluer les quantités associées).

⁵³ Les *ruisseaux n°1 et n°2* sont représentés sur le schéma conceptuel de la *Figure 7 p. 16*. Il s'agit de deux des quatre principaux affluents de l'oued principal Assif NTarguit, dans le sous-bassin versant étudié.

⁵⁴ Le cadre rouge est localisé par rapport au site minier en *Annexe 7 p. 61*.

► Dispositifs permettant de limiter les entraînements de matériaux résiduaux

Les phénomènes précédents sont également évoqués par [Benkhadra et El Abbaoui \(2006\)](#) : « Les fuites, les eaux du lessivage des digues par les pluies, chargées en éléments toxiques non neutralisés (cyanure en particulier), sont canalisées vers des bassins étanches construits en béton derrière un barrage également construit en béton. »

L'étude de la vue satellitaire actuelle corrélée aux observations de terrain n'a permis d'identifier que trois bassins, en aval des parcs à résidus n°5, n°6 et n°11.

Concernant le barrage mentionné, il pourrait s'agir d'un édifice bétonné construit à l'entrée du site minier au droit du ruisseau n°1 (Figure 25). Cet ouvrage est visible sur la vue V1 de 2004 (Figure 24 page précédente). Il semble que celui-ci était alors déjà comblé et débordait, compte tenu de la persistance supposée, à l'aval, de matériaux résiduaux. En avril 2019, l'amont immédiat de ce barrage était encombré de végétation et de conduites métalliques, diminuant sa capacité de rétention des produits fins en cas d'épisode de crue. Par ailleurs, des matériaux résiduaux ont été identifiés dans le lit du cours d'eau, à quelques dizaines de mètres en aval du barrage, confirmant les constats précédents faits sur la vue satellitaire de 2004.

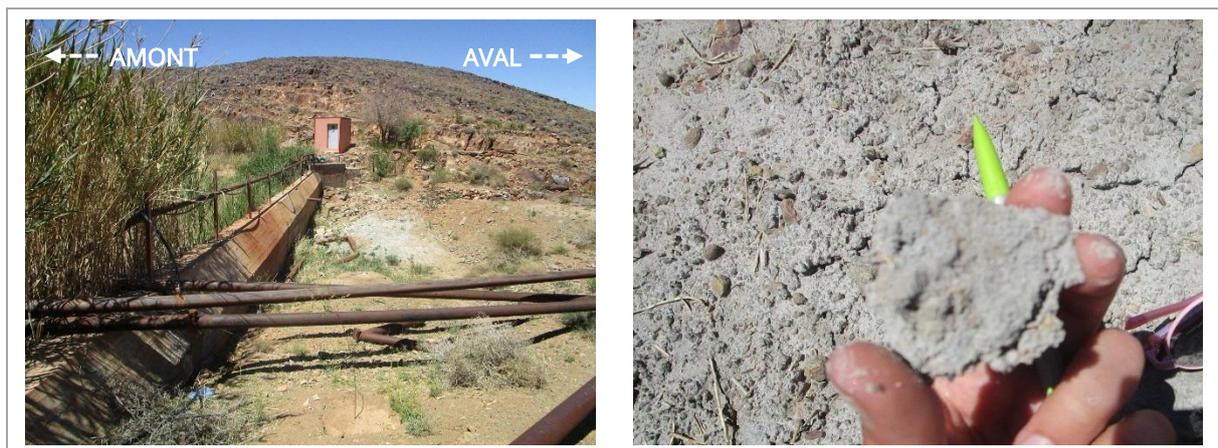


Figure 25 : à gauche : barrage en béton sur le ruisseau n°1 ; à droite : matériaux résiduaux identifiés dans le lit du cours d'eau, à quelques dizaines de mètres en aval du barrage (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

D'après les témoignages recueillis, les précipitations peuvent être fortes lors des saisons de hautes-eaux. Le cas échéant, les dispositifs précédemment décrits pourraient ne pas suffire à limiter la diffusion de matériaux résiduaux dans l'environnement.

► Mobilisation et dépôt de matériaux résiduaux jusque dans l'oued principal

La Figure 26 page suivante consiste en un schéma conceptuel du sous-bassin versant de l'étude. Il rend compte de la localisation relative des principales sources de pollution potentielles (en rouge) et des principales zones à usages identifiées par SystExt (villages, hameaux, zones de culture, puits, khetaras).

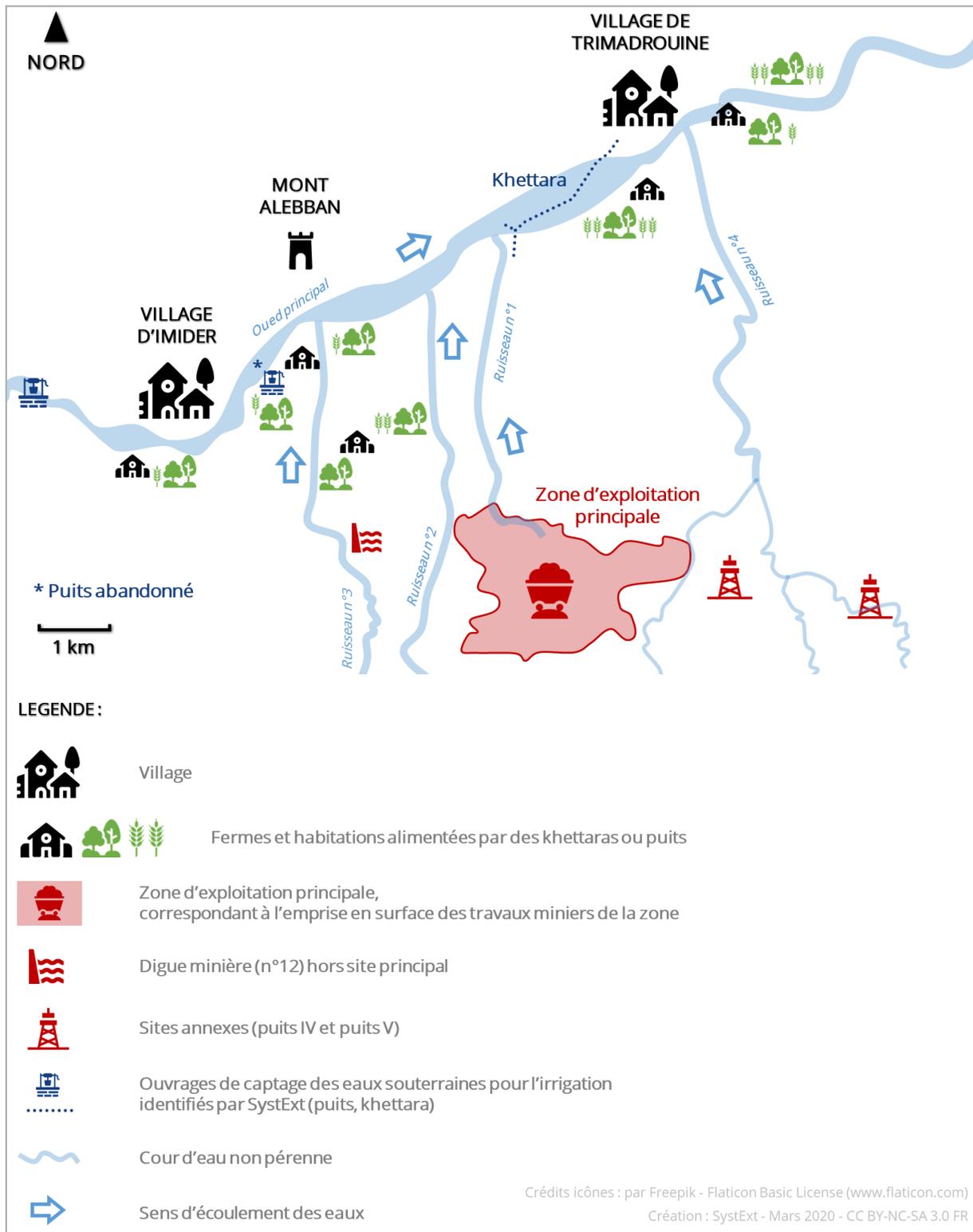


Figure 26 : Schéma conceptuel localisant les principales sources de pollution et les principales zones à enjeux dans le sous-bassin versant du secteur d'étude⁵⁵

⁵⁵ Cette carte a été construite par transposition manuelle depuis la photo satellitaire de la zone (© Google) et tient compte des observations de terrain d'avril 2019. S'agissant d'une représentation simplifiée, certains contours et certaines positions sont soumis à incertitude.

Le réseau hydrographique, constitué en particulier de l'oued principal et de ses 4 principaux affluents, apparaît comme une voie de transfert privilégiée entre les sources de pollutions et les zones à usages.

Tel qu'établi dans les sections précédentes, on suppose que ces dernières années des matériaux résiduaux ont été entraînés dans les cours d'eau qui traversent le site minier, en particulier dans les *ruisseaux n°1 et n°4*. A cette pollution « historique » s'ajouterait une pollution « actuelle ». Dans ce dernier cas, compte-tenu de l'abondance de déchets miniers (y compris les stériles) et de sols pollués au droit du site minier, l'entraînement de matériaux résiduaux dans les cours d'eau est inévitable lors des épisodes de pluie importants. Il se pourrait également que des phénomènes de débordement, d'écoulement de lixiviats et de fuites se produisent aujourd'hui, mais les observations de terrain d'avril 2019 n'ont pas permis de confirmer cette dernière hypothèse. On peut cependant noter que les dispositifs destinés à limiter ces phénomènes ne semblent pas suffisants.

Les matériaux résiduaux proviendraient majoritairement des parcs à résidus. Or, l'étude de la composition minéralogique et chimique des résidus (*voir paragraphe 5.3 p. 31*) a mis en exergue dans ces déchets miniers la prévalence de sulfures métalliques et de substances dangereuses telles que l'arsenic, l'antimoine, le plomb, le mercure et le cadmium. Le réseau hydrographique constitue dans ce contexte un vecteur de diffusion privilégié de ces matériaux et des polluants contenus.

Dans les cours d'eau, on s'attend moins à une pollution du compartiment « eau » qu'à celui du compartiment « sédiment ». En période de crue, les écoulements sont le plus souvent torrentiels, aussi peut-on supposer une dilution dans l'eau des éventuels polluants en solution. Cependant, les matériaux résiduaux précédemment décrits peuvent se déposer dans des zones du cours d'eau où les débits sont plus faibles. A ce titre, les observations de terrain corrélées à l'étude de profils topographiques (*voir paragraphe 3.2 p. 16*) attestent d'un hydrodynamisme différent entre l'oued principal *Assif NTarguit* et ses affluents (*ruisseaux n°1 à n°4*). Les processus de dépôt particulaire et de sédimentation sont favorisés au niveau des confluences avec l'oued principal et dans son lit majeur.

En résumé, il y a un risque de pollution des cours d'eau qui traversent le site minier par des matériaux résiduaux, et ce, jusqu'à l'oued principal *Assif NTarguit*. Ce processus n'est pas continu, il intervient au moment des périodes de crue et est amplifié lors des épisodes de précipitation les plus importants.

Par ailleurs, si des matériaux résiduaux ont effectivement été entraînés jusqu'au lit majeur de l'oued principal *Assif NTarguit*, il y a lieu de craindre une dégradation de la qualité des nappes souterraines de la vallée qui sont en connexion avec le réseau hydrographique. Or, ces nappes sont captées par puits et khetaras pour les besoins domestiques (dont l'eau potable) et agricoles par la population locale. **Le risque de pollution dans les cours d'eau entraîne donc un risque de dégradation de la qualité des eaux captées par les populations riveraines.**

7. Conclusion et recommandations

► Eaux souterraines

Compte tenu des caractéristiques minéralogiques et chimiques du gisement, il est probable que les **eaux de l'aquifère minier** soient acides et contiennent des métaux et métalloïdes en solution. Il est donc nécessaire de s'assurer que ces eaux n'interagissent pas avec d'autres masses d'eaux naturelles. L'exhaure est utilisée dans l'usine de traitement du minerai. L'étude n'a pas permis de savoir si toute l'eau pompée est utilisée à cette fin, et, dans le cas contraire, si une partie est rejetée dans l'environnement. De plus, elle n'a pas permis non plus d'identifier d'éventuelles stations de traitement des eaux.

L'étude a cependant permis d'établir qu'il est peu probable que les eaux de l'aquifère minier puissent communiquer avec les nappes souterraines des séries sédimentaires situées au nord (séries du *Paléozoïque*, du *Céno-Mésozoïque*) et celles du *Quaternaire*, sources principales des habitants du secteur.

Les témoignages des populations et les mesures de débits réalisées par le bureau d'étude Inovar en 2005 attestent que la mise en service du forage de 2004 a mené à une réduction des débits et des niveaux d'eau dans les puits et khetaras utilisés par les populations riveraines. Cette affirmation est contestée par l'exploitant minier et certaines autorités. D'après [Benkhadra et El Abbaoui \(2006\)](#) : « *L'étude d'impact réalisée en 2004 [a] montré l'absence d'influence des forages réalisés au Nord du village d'Imider [...]* ». Bien que cela ne soit pas précisé dans le texte dont cette citation est extraite, on suppose qu'il est fait référence ici à l'absence d'influence sur les terrains aquifères dans la vallée de l'oued principal.

Les données hydrogéologiques recueillies par SystExt ne permettent pas d'exclure des communications entre les nappes souterraines captées par la mine dans les séries du *Céno-Mésozoïque* (*Crétacé* et *Eocène*) et les terrains aquifères captés pour les populations dans les séries du *Paléozoïque* et dans le *Quaternaire*. **Les pompages réalisés pour l'alimentation en eau de la mine pourraient effectivement influencer quantitativement sur les ressources en eau souterraine dans la vallée.**

► **SystExt recommande la mise à disposition de la société civile, en les rendant publiques, des études hydrogéologiques sur les zones de captage de la mine (notamment l'étude d'impact de 2004) qui ont permis de conclure à l'absence de risques pour les ressources en eau utilisées dans la vallée.**

► Parcs à résidus

La présente étude a mis en exergue des facteurs pénalisants pour la situation des parcs à résidus sur le site minier d'Imider : non couverture des parcs à résidus, non étanchéification en base des ouvrages, comblement presque complet des fonds de vallon au nord du site minier, obturation de certains cours d'eau, et « superposition accidentelle » de parcs à résidus. Ces ouvrages doivent faire l'objet d'une attention toute particulière dans un contexte de zone montagneuse où les précipitations peuvent être importantes.

► **Suivant les recommandations de l'UNEP de 2017⁵⁶ et les bonnes pratiques mises en œuvre dans le secteur minier à l'international, il serait utile de disposer d'informations détaillées sur les parcs à résidus et de rendre publiques les études géotechniques, probablement réalisées dans le cadre de la surveillance de ces ouvrages.**

► **Risques environnementaux et sanitaires**

L'étude minéralogique et géochimique démontre le risque de drainage minier acide ainsi que l'abondance de substances polluantes dans le gisement qui requièrent une attention toute particulière, compte-tenu de la toxicité de certaines d'entre elles (arsenic, antimoine, cadmium, plomb, mercure).

Les métaux et métalloïdes ne se dégradent pas, ils changent de forme en s'associant à d'autres éléments pour donner des oxydes, des sulfates, etc. et peuvent également rester en solution. Ils sont donc nécessairement présents dans l'environnement des suites de différents mécanismes :

- pollution des sols, des eaux de surface et des eaux souterraines se trouvant au niveau du site minier ;
- envol de poussières et émissions de fumées provenant de la fonderie ;
- installation en surface de dépôts de stériles miniers et décharges dans les parcs à résidus ;
- entraînement de matériaux résiduels dans le réseau hydrographique.

► **Suivant les bonnes pratiques mises en œuvre dans le secteur minier à l'international, il serait utile de rendre publics les suivis analytiques probablement menés par l'exploitant minier sur les effluents liquides et aériens, ainsi que sur les eaux de surface et les eaux souterraines qui se trouvent au niveau et dans l'environnement proche du site minier.**

Des risques de pollutions passées et actuelles par entraînement de matériaux résiduels ont été mis en évidence, tant pour les ruisseaux qui traversent le site minier que pour l'oued principal *Assif NTarguit*. Les sédiments et alluvions dans les lits de ces cours d'eau sont tout particulièrement concernés. Tenant compte des interactions connues entre le réseau hydrographique et les nappes souterraines captées par les populations dans la vallée, un risque de dégradation de la qualité des eaux utilisées est également à considérer.

► **SystExt recommande la réalisation de prélèvements et d'analyses au niveau des points d'eau utilisés pour l'eau potable, pour les usages domestiques et pour l'irrigation des zones agricoles. Concernant le protocole analytique à mener, une attention particulière devra être portée sur les métaux et métalloïdes, en particulier l'arsenic, l'antimoine, le cadmium, le plomb et le mercure.**

De nombreux témoignages font état de pathologies ou de difficultés de santé, interrogeant légitimement une éventuelle origine minière. Evaluer les risques sanitaires associés à l'activité minière requerrait l'accès à des données plus précises et un diagnostic environnemental préalable, incluant des campagnes de prélèvements élargies sur différents milieux (air, sols, eaux). C'est la raison pour laquelle la présente étude ne conclut pas quant à d'éventuels risques sanitaires.

⁵⁶ Roche, C., Thygesen, K., Baker, E. (Eds.) 2017. Mine Tailings Storage: Safety Is No Accident. A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, Nairobi and Arendal, www.grida.no

► SystExt recommande la mise en œuvre d'une étude environnementale et sanitaire dans l'environnement du site minier, et ce, jusqu'à des zones qui sont susceptibles d'être polluées en aval. Celle-ci devra notamment comprendre une étude informative approfondie, un diagnostic environnemental détaillé et un volet afférant aux risques potentiels sur la santé humaine.

La mise en œuvre de ces mesures est d'autant plus cruciale que des pressions grandissantes sont attendues sur les ressources en eau pour les années à venir. En effet, si d'une part les effets du changement climatique pourrait entraîner la raréfaction de cette ressource, d'autre part, l'augmentation de la production annoncée par l'exploitant minier pourrait mener à des besoins croissants en eau.

Cette augmentation et la poursuite de l'activité s'accompagneront également d'un volume croissant de résidus miniers. D'ailleurs, ce phénomène se manifeste déjà par une croissance accélérée de l'emprise en surface des parcs à résidus ces dernières années et du comblement presque total des fonds de vallon au nord du site minier. Les risques qui pèsent sur les parcs à résidus et le réseau hydrographique, pourraient alors s'accroître.

BIBLIOGRAPHIE

- Agoussine, M., Saidi, M., & Igmoullan, B. (2004). Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est marocain). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 81-92.
- Alami, A. (2014, Janvier 23). On Moroccan Hill, villagers make stand against a mine. *The New York Times*. Récupéré sur <https://www.nytimes.com/2014/01/24/world/africa/on-moroccan-hill-villagers-make-stand-against-a-mine.html>
- Alji, M. (2010, Janvier 27). Khetara. Récupéré sur L'eau du désert - Protection de l'eau et développement durable dans les oasis: <http://l-eau-du-desert.com/ledd/khetaras>
- Baki, S., Hilali, M., Kacimi, I., & Mahboub, A. (2016). Caractérisation hydrogéologique et cartographie des ressources en eau dans le bassin versant de l'oued Rhéris (Sud-Est du Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 29-43.
- Baki, S., Hilali, M., Kacimi, I., Mahboub, A., Kassou, N., & Nouiyti, N. (2016). Etude de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution et qualité des eaux de surface dans les zones arides : cas du bassin versant de l'oued Rhéris (Sud-Est du Maroc). *Journal of Materials and Environmental Science*, 3961-3972.
- Benkhadra, A., & El Abbaoui, A. (2006). Ressources minérales. Rapport de l'Institut Royal des Etudes Stratégiques du Maroc. Récupéré sur <http://www.ires.ma/wp-content/uploads/2017/02/GT8-8.pdf>
- Blazy, P., & Jdid, E.-A. (2006). Métallurgie de l'argent. *Techniques de l'ingénieur*.
- Chaudier, J. (2016, Avril 22). L'eau au centre du conflit social entre les habitants d'Imiter et la société minière SMI. *Yabiladi.com*. Récupéré sur <https://www.yabiladi.com/articles/details/44088/l-eau-centre-conflit-social-entre.html>
- Collectif ALDEAH. (2015, Février 25). Imider, cinq ans de résistance contre une mine d'argent : entretien.
- Congrès Mondial Amazigh. (2012). Maroc : Imider (Province de Tinghir) spoliation des ressources naturelles et résistance populaire.
- El Kahlaoui, S. (2019, Août 19). Le villageois marocain qui défie la mine d'Imider. *Le Monde Afrique*. Consulté le 03 18, 2020, sur https://www.lemonde.fr/afrique/article/2015/02/17/le-villageois-marocain-qui-defie-la-mine-d-imider_4578354_3212.html
- Environmental Justice Atlas. (2017, Mars). Imider Silver Mine, Morocco. Consulté le 03 18, 2020, sur EJAtlas: <https://ejatlas.org/conflict/imider-silver-mine-morocco>
- Ferrarini, H. (2019, Juillet 03). Maroc : « Amussu », le mouvement des habitants qui mènent la guerre de l'eau à Imider. *jeune afrique*. Récupéré sur <https://www.jeuneafrique.com/mag/795697/culture/maroc-amassu-le-mouvement-des-habitants-qui-menent-la-guerre-de-leau-a-imider/>
- Fouguig, B. (2013). La Société métallurgique d'Imider (SMI) au Maroc : Accumulation de richesses & défis du développement durable du territoire.
- Grappe, J. (1976). L'ancien gisement d'argent d'Imiter (Djebel Sarhro, Maroc). Université Claude Bernard Lyon I.
- Imiter Mine, Imiter District, Tinghir Province, Drâa-Tafilalet Region, Morocco. (s.d.). Consulté le Mars 20, 2020, sur [mindat.org: https://www.mindat.org/loc-2394.html](http://www.mindat.org/loc-2394.html)

- Inovar. (2006). Compte-rendu de la mission du 29/08/2005.
- Izoard, C. (2019, Août 16). A Imider, au Maroc, la plus grande mine d'argent d'Afrique assoiffe les habitants. Mediapart. Récupéré sur <https://www.mediapart.fr/journal/international/160819/imider-au-maroc-la-plus-grande-mine-d-argent-d-afrique-assoiffe-les-habitants>
- Jamai Nassiri, M. (2017). Etude structurale et minéralogique des failles NE-SW et NNE-SSW à Imiter II (Anti-Atlas, Maroc). Université Sidi Mohamed Ben Abdellah - Faculté des Sciences et Techniques de Fès.
- Kamal, T.-E., Ahmed, A., Benvenuti, M., & Dal Piaz, G. (2007). Carte géologique du Maroc au 1/50000, Feuille Imtir. Carte et notice explicative. Éditions du service géologique du Maroc.
- Kerbach, Y., & Zaini, B. (2015). Contribution à l'optimisation de la consommation du propane par le biais d'une régulation de température des fours de fusion. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah - Faculté des Sciences et Techniques de Fès.
- Levresse, G. (2001). Contribution à l'établissement d'un modèle génétique des gisements d'Imiter (Ag-Hg), Bou Madine (Pb-Zn-Cu-Ag-Au) et Bou Azzer (Co-Ni-As-Au-Ag) dans l'Anti-Atlas marocain. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Levresse, G., Gasquet, D., & Cheillett, A. (2018). Le gisement argentifère d'Imiter, Anti-Atlas, Maroc. le Règne Minéral(139).
- Maacha, L., & Bouabdellah, M. (2015). Precious and base metals in Anti-Atlas and hercynian belt. Morocco. Post-conference field trip guide book. The 13th Biennial Meeting-SGA., 22-25.
- Managem. (2018). Rapport annuel 2018.
- Managem. (2020, 03 28). Mine d'Imiter. Récupéré sur Managem: <http://www.managemgroup.com/nos-operations-projets>
- Massironi, M., Ahmed, A., Benvenuti, M., & Dal Piaz, G. V. (2007). Carte Géologique du Maroc au 1/50000, feuille Boumalne. Carte et notice explicative. Éditions du service géologique du Maroc.
- Moujane, O., & Toscane, L. (2019, Janvier 24). Maroc, l'histoire d'une lutte : « Le mouvement contre la mine d'Imider dure depuis plus de 40 ans ». Comité pour l'abolition des dettes illégitimes (CADTM). Récupéré sur <http://www.cadtm.org/Maroc-l-histoire-d-une-lutte-Le-mouvement-contre-la-mine-d-Imider-dure-depuis>
- Mouttaqi, A., Rjimati, E., Maacha, L., Michard, A., Soulaïmani, A., & Ibouh, H. (2011). Les principales mines du Maroc. Rabat: Editions du Service Géologique du Maroc.
- Mouvement sur la voie de 96 Imider. (2012). IMIDER : C'est ainsi que notre richesse hydraulique est volée par la société minière.
- The Observers. (2015, Juin 01). Moroccans protest mine with world's longest 'ecological sit-in'. France 24. Consulté le 03 18, 2020, sur <https://observers.france24.com/en/20150106-moroccans-protest-mine-high-atlas>
- The Silver Institute, & Refinitiv. (2019). World Silver Survey 2019.
- Zine, G. (2019, Septembre 19). Imider : Après huit ans de bras-de-fer, le Mouvement 96 lève le camp sur Jbel Albbane. Yabiladi.com. Récupéré sur <https://www.yabiladi.com/articles/details/83456/imider-apres-huit-bras-de-fer-mouvement.html>

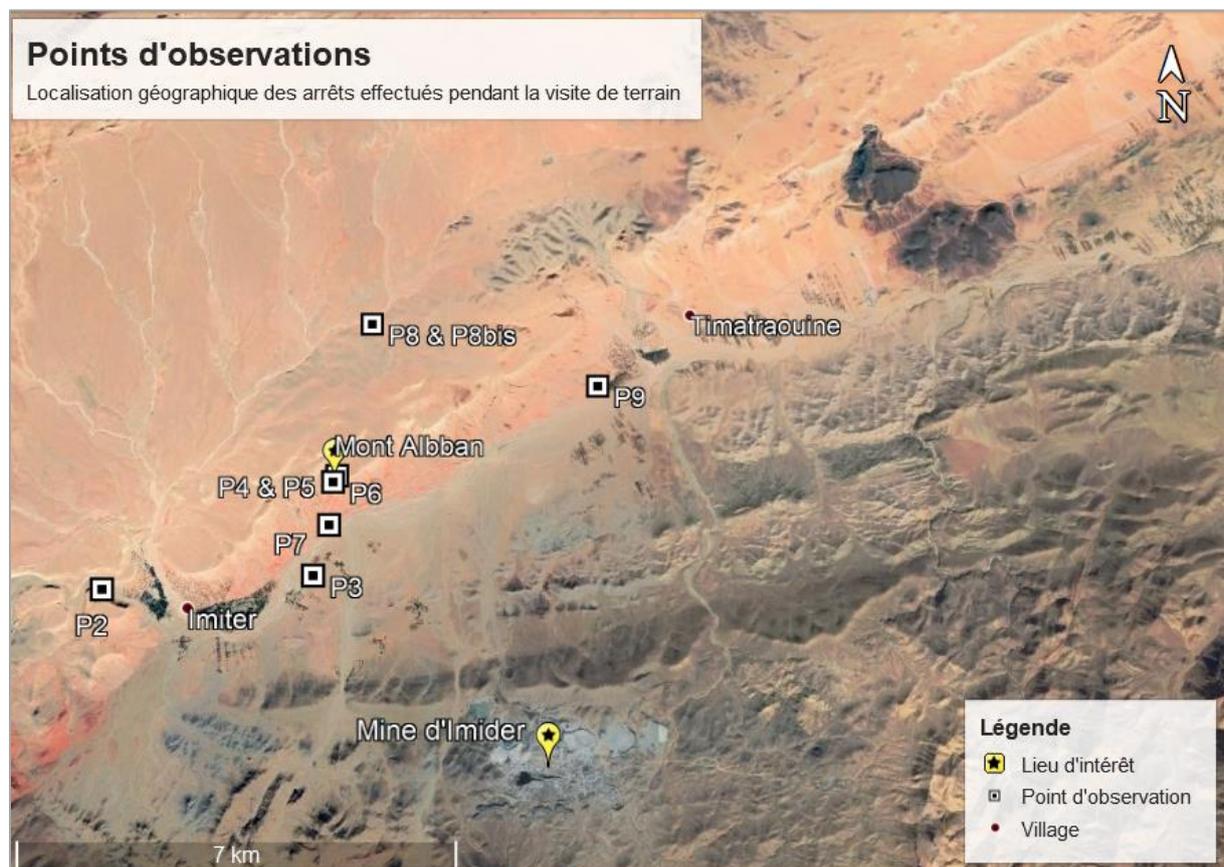
ANNEXES

ANNEXE 1

Points d'observations de la mission de terrain de SystExt, description et report cartographique sur vue satellitaire (© Google)

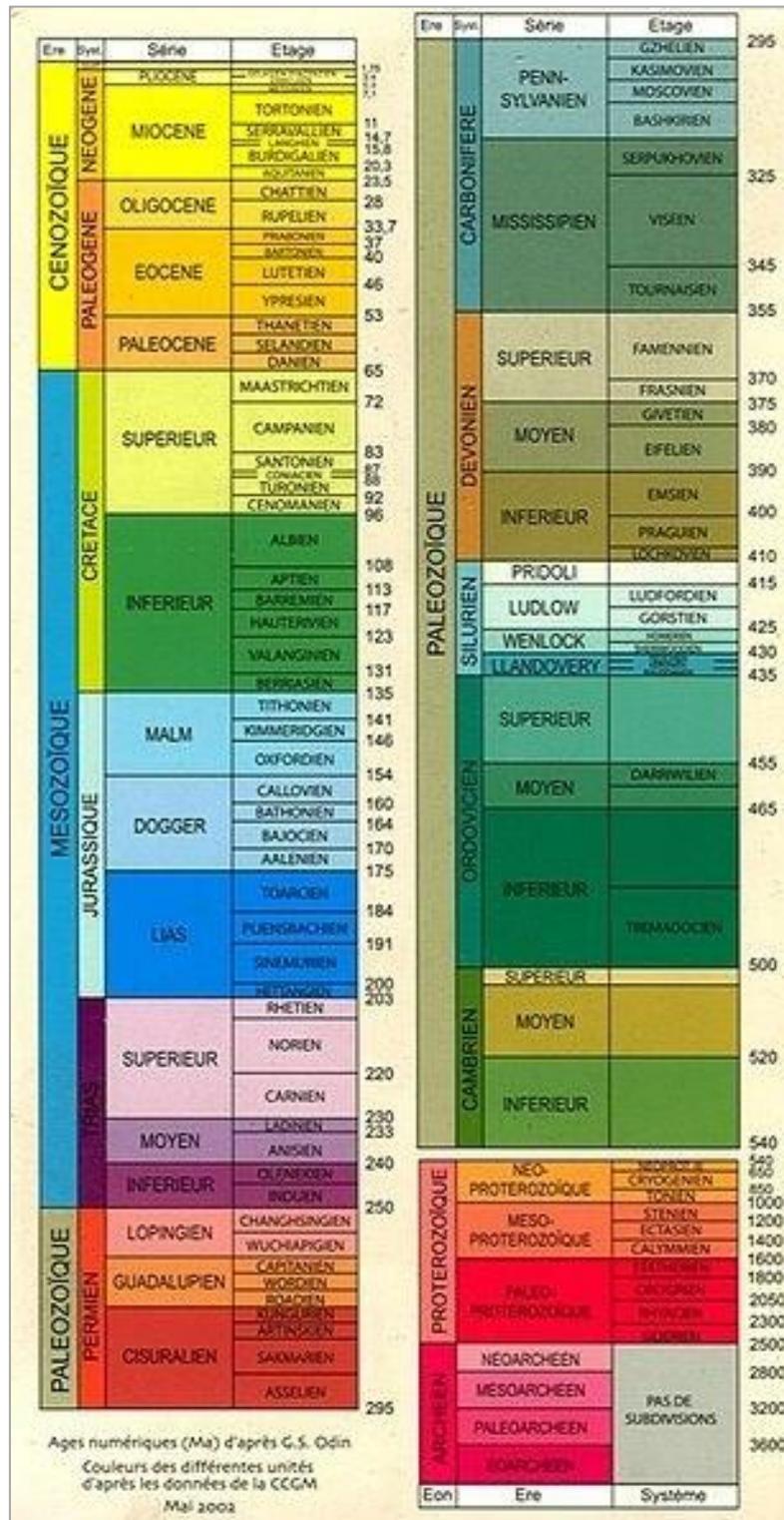
Réf.	Coord. GPS (WGS 84)	Description	Photographie
P1	31°19'50.00"N 5°50'44.13"O (hors carte ci-dessous)	Khattara du village d'Anounizem (Puits, bassin de récupération et canal d'irrigation) Voir planche photographique de l' Annexe 3 p. 56 .	
P2	31°22'19.62"N 5°48'19.90"O	Nouveau puits d'alimentation en eau pour trois villages de la commune d'Imider (Ait Brahim, Ait Ali, Ait Mhand) depuis 2013. Il alimente un réservoir de 1500 m ³ , géré par l'agence du bassin hydraulique de Guir-Ziz-Rhéis.	
P3	31°22'27.40"N 5°46'6.42"O	Puits abandonné d'une ferme agricole (pour cause de baisse de qualité d'eau), localisé à proximité de l'oued principal d'Assif Ntarguit.	
P4	31°23'22.53"N 5°45'55.52"O	Occupation du Mont Alebban par les militants du Mouvement sur la voie de 96 Imider	
P5	31°23'23.00"N 5°45'52.77"O	Vanne fermée d'une conduite localisée sur le Mont Alebban	
P6	31°23'19.45"N 5°45'55.47"O	Réservoir R1 (d'une capacité de 1 600 m ³) localisé sur le Mont Alebban	

Réf.	Coord. GPS (WGS 84)	Description	Photographie
P7	31°22'55.61"N 5°45'57.33"O	Puits d'alimentation en eau de la mine d'Imider (le plus au sud, en bordure et rive gauche de l'oued principal), mis en service en 1986.	
P8 P8bis	31°24'52.56"N 5°45'32.81"O	Puits d'adduction en eau de la mine (SH1), mis en service en 2004, connecté au réservoir R1. Bouché depuis 2018.	
		Exemple de conduite métallique utilisée par l'entreprise minière pour acheminer l'eau jusqu'à son usine de traitement du minerai.	



ANNEXE 2

Echelle des temps géologiques (Société géologique de France, CC BY-SA 4.0 International)



ANNEXE 3

PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE | Khettaras (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR)



Khettara du village d'Anounizem, commune d'Imider :

- ① Puits ; ② Vue générale sur les puits successifs ; ③ Bassin de récupération des eaux ;
④ Canal d'irrigation vers zones agricoles



Khettara du village de Timadrouine :

- ⑤ Bassin de récupération des eaux ; ⑥ Puits en amont de la zone de captage

ANNEXE 4

PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE | Zone d'exploitation principale et sites annexes



① Plan du site minier ; ② Mine à ciel ouvert principale dite « Grande carrière » ; ③ Vue intérieure de l'usine de traitement ; ④ Cellule de flottation (Omar Radi, 2017)



Site annexe Puits IV, à l'est du site minier principal. A gauche, en arrière-plan : vue sur le parc à résidus n°10 (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR)



Site annexe Puits V, à l'est du site minier principal (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR)

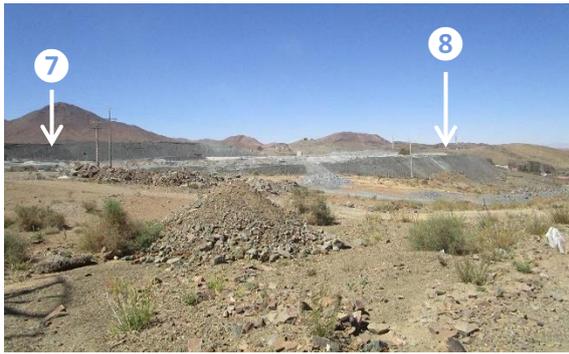
ANNEXE 5

PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE | Parcs à résidus miniers (SystExt, Avril 2019, CC BY-NC-SA 3.0 FR)⁵⁷



Parcs à résidus n°3 à n°6 et n°11. Les parcs n°3 et n°4 venant en « superposition accidentelle » du parc n°6. En bas, à gauche : détail du parc à résidus n°5 avec digue fortement ravinée. En bas, à droite : détail sur la digue du parc à résidus n°6, avec parc à résidus n°3 au-dessus.

⁵⁷ Les numéros de parcs à résidus (n°3 à n°11) font référence à ceux indiqués sur les *Figure 14 p. 25* et *Figure 17 p. 33*.



Parc à résidus n°7, n°8, n°10 et n°11.

Ligne 1 (en haut) : (à gauche) vue sur le parc n°7 situé au-dessus du parc n°8 ; (à droite) sommet du parc n°8

Ligne 2 : Zone en cours de remplissage au SE du parc à résidus n°7.

Ligne 3 : Parc à résidus n°10 en cours de remplissage (vue du SW vers le NE).

Ligne 4 (en bas) : Parc à résidus n°11 en cours de remplissage.

ANNEXE 6

PLANCHE CARTOGRAPHIQUE | Vues satellitaires historiques du parc à résidus n°9 (© Google)

Mise en place du parc à résidus entre 2003 et 2018, remplissage progressif.

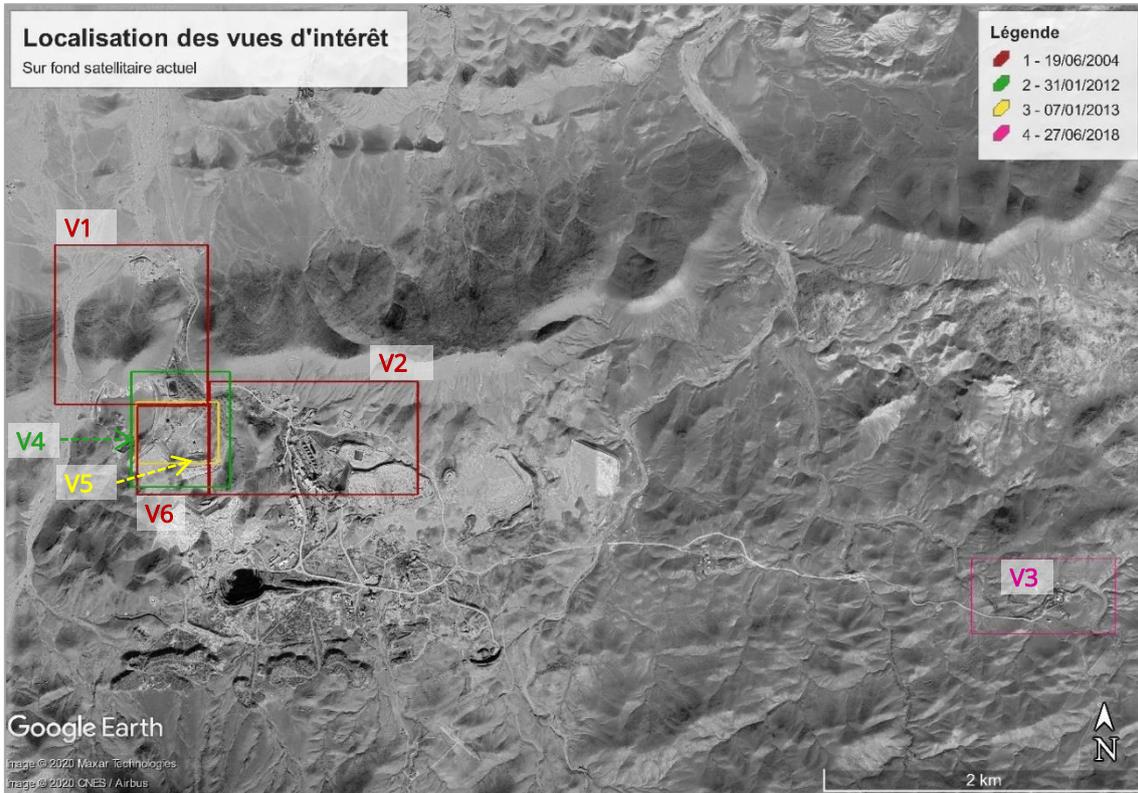
Mise en évidence de l'absence de structure d'étanchéification en base du stockage.

Le repère jaune mesure 200 m.



ANNEXE 7

PLANCHE CARTOGRAPHIQUE | Vues satellitaires historiques (© Google)



Localisation des vues 1 à 6 sur carte actuelle (datant de novembre 2018)



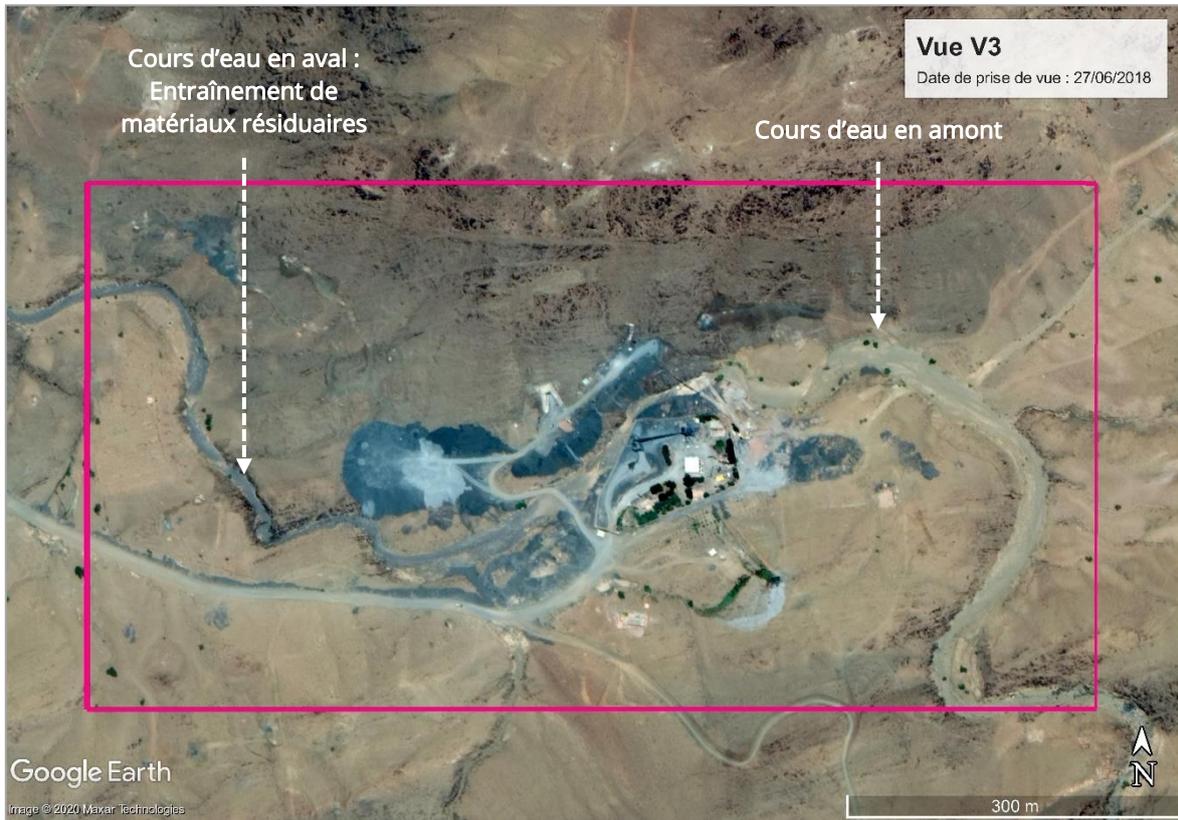
Entraînement de matériaux résiduaux, lixiviats et fuites, supposés, en pied des parcs n°7 et n°8 (19/06/2004)



Entraînement supposé de matériaux résiduaux en aval des parcs à résidus n°5 et n°6 (31/01/2012)



Ecoulement supposé de lixiviats en aval des parcs à résidus n°5 et n°6 (07/01/2013)



Puits V, à l'Est du site minier principal - Entraînement supposé de matériaux résiduaux dans le ruisseau n°4 qui longe le site d'exploitation (27/06/2018)

