

STÉRILES ET RÉSIDUS

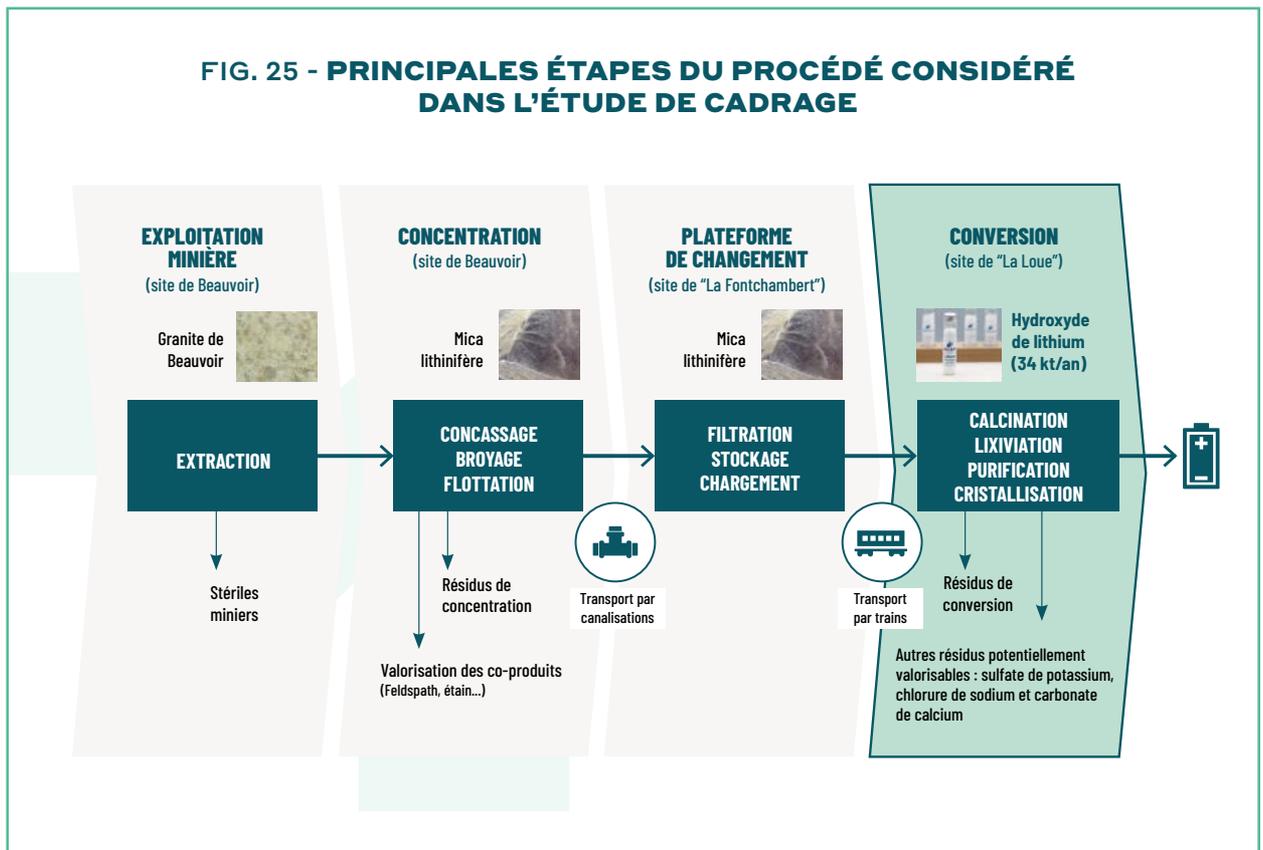
PRÉAMBULE : STÉRILES ET RÉSIDUS : DE QUOI PARLE-T-ON ?

Stériles : Les stériles sont les produits constitués par les sols et roches excavés lors de l'exploitation d'une mine avant ou pendant la récupération de la partie commercialement valorisable du minerai. Dans ce document, les stériles sont les roches issues de l'extraction minière sans valeur commerciale, qui ne passent pas par l'usine de concentration, il s'agit principalement des micaschistes, greisens, gneiss, granite altéré ou encore du granite des Colettes pour des accès par exemple.

Résidus : Les résidus sont les produits solides qui restent après le traitement du minerai pour en extraire les substances utiles. Les résidus peuvent inclure des substances non valorisées et/ou des produits chimiques utilisés dans le processus de traitement du minerai. Dans ce document, le terme « résidus » désigne ainsi les produits issus des usines de concentration (« résidus de concentration ») et de l'usine de conversion (« résidus de conversion »).

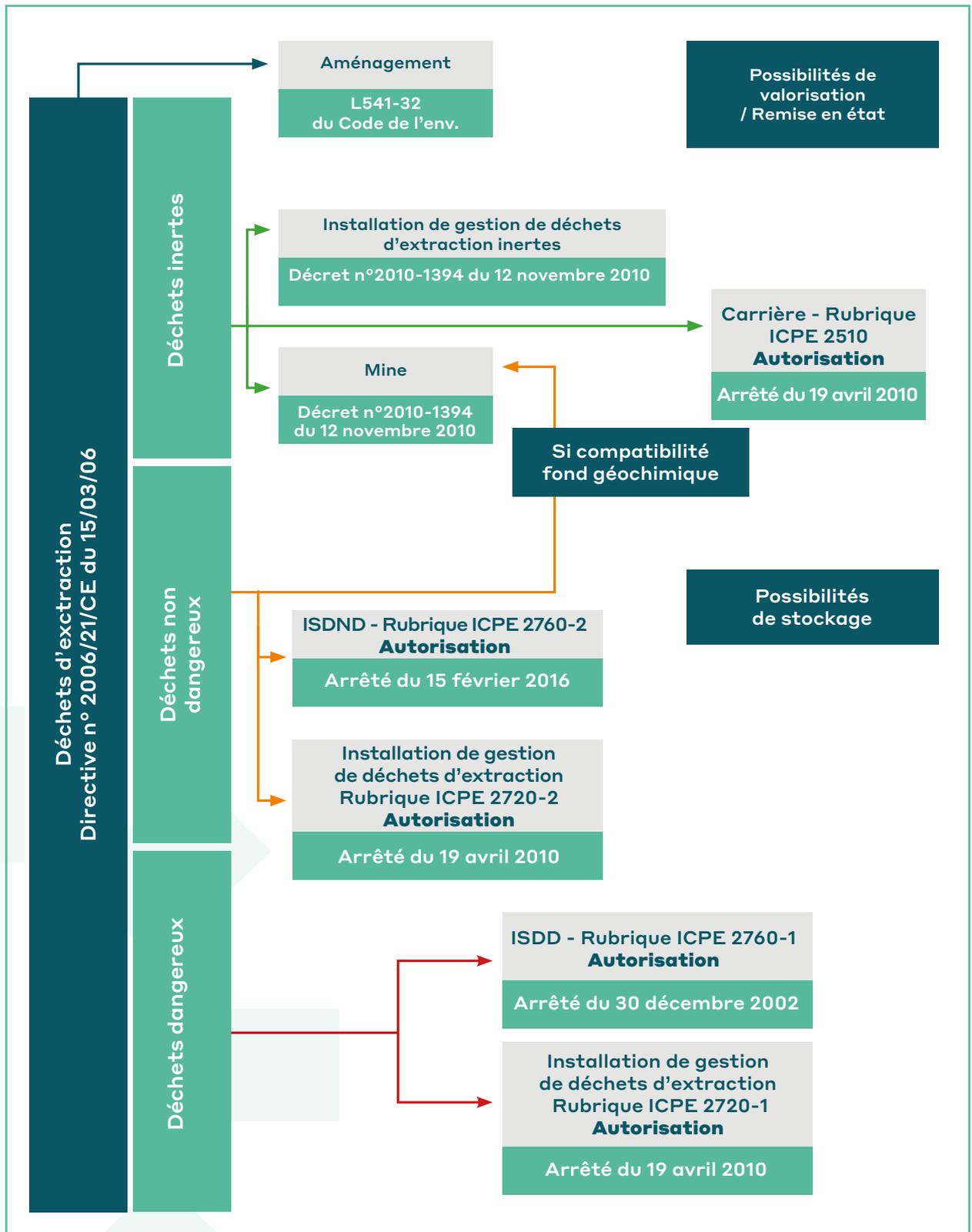
L'ensemble des stériles ainsi que des résidus forment les « déchets d'extraction ». Ils diffèrent des déchets « traditionnels » de l'industrie par leur nature minérale et par les quantités qu'ils peuvent représenter.

FIG. 25 - PRINCIPALES ÉTAPES DU PROCÉDÉ CONSIDÉRÉ DANS L'ÉTUDE DE CADRAGE



QUEL CLASSEMENT DES DÉCHETS D'EXTRACTION ?

Les stériles et résidus sont composés de plusieurs éléments. De cette composition découle la qualification des stériles et résidus, entre ceux qui sont inertes et ceux qui ne le sont pas. Cette distinction est fondamentale car elle conditionne la destination des résidus et les opportunités de valorisation.



Déchets inerte : Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine (article R. 541-8 du code de l'environnement).

Valorisation : Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets (article L. 541-1-1 du code de l'environnement).

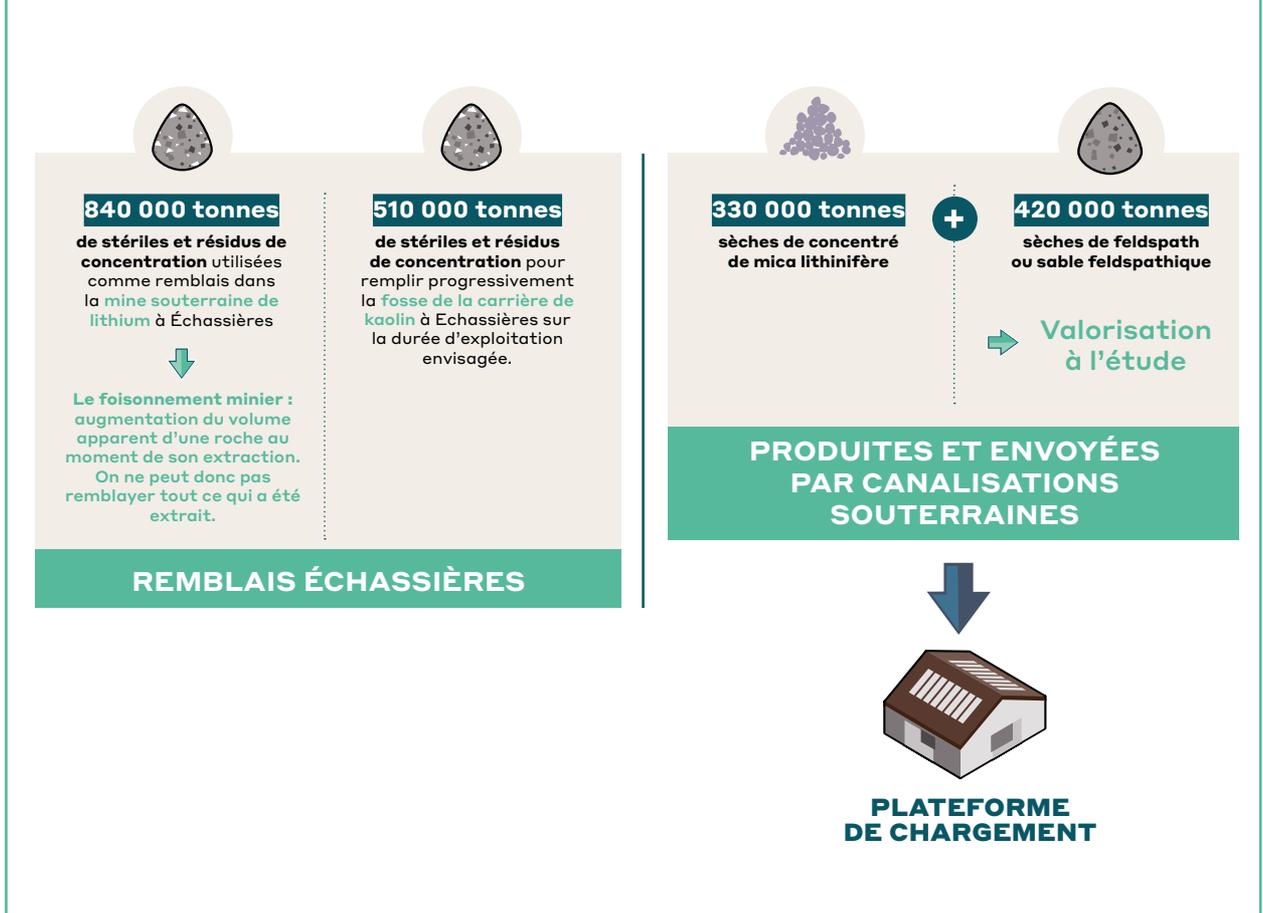
LA MINE ET L'USINE DE CONCENTRATION

Le projet EMILI a pour objectif d'extraire 2,1 millions de tonnes de granite de Beauvoir chaque année, qui seraient ensuite traitées au sein de l'usine de concentration pour en isoler le mica lithinifère.

La gestion des stériles d'extraction et des résidus de concentration est un enjeu majeur pour optimiser l'exploitation du gisement et pour minimiser les impacts en surface : en effet, plus il y a de stériles et de résidus, plus il faut d'espace pour les stocker et plus l'impact de ce stockage augmente.

BILAN ANNUEL MATIÈRE DU PROJET EMILI USINE DE CONCENTRATION

L'objectif est de remblayer au maximum dans les chambres et galeries.
Enjeux : optimiser l'exploitation du gisement et minimiser les impacts en surface.



UNE VALORISATION MAXIMALE DES MINÉRAUX ET MÉTAUX DU GRANITE POUR LIMITER LE VOLUME DE STÉRILES ET DE RÉSIDUS

Pour minimiser le volume de stériles et de résidus, la première solution est de maximiser la valorisation des minéraux et métaux contenus dans le minerai (c'est-à-dire le granite de Beauvoir). Le mica, porteur du lithium, est évidemment la principale cible du projet EMILI, mais d'autres minéraux et métaux peuvent être récupérés lors de son extraction.

En l'occurrence, à l'instar de ce qui est fait aujourd'hui pour l'exploitation des kaolins de Beauvoir, Imerys prévoit de récupérer les minéraux porteurs d'étain et de tantale (total environ 2000t/an). Ces métaux, utilisés dans des industries stratégiques comme l'aérospatiale ou l'électronique, sont contenus en faibles quantités dans le granite de Beauvoir (à hauteur de 0,1% pour l'étain et 0,02% pour le tantale). La séparation de ces minéraux nécessiterait l'intégration d'équipements de séparation gravimétrique au sein de l'usine de

concentration, similaires à ceux utilisés sur le site des kaolins de Beauvoir.

Surtout, Imerys prévoit de récupérer le feldspath qui représente 35 % du granite de Beauvoir. Ce minéral est utilisé en Espagne et en Italie (qui s'approvisionnent actuellement essentiellement en Turquie) pour la verrerie et la céramique. Les études de marché sont en cours, notamment sur le marché italien, très demandeur de ce type de minéraux. Toutefois, en cas d'impossibilité de positionner le feldspath sur le marché de la céramique, celui-ci pourra être évacué par sous forme de sable feldspathique, dont les caractéristiques seront adaptées au réaménagement d'anciennes carrières, par les mêmes canalisations avant acheminement par train vers ces sites d'accueil. La récupération du feldspath dans le minerai requiert, en tout cas, des étapes supplémentaires dans l'usine de concentration.

Cassitérite, colombo-tantalite et microlite

LES STÉRILES ET RÉSIDUS : QUALITÉ ET QUANTITÉS

Tous les minéraux et métaux du minerai ne pourront pas être valorisés. Par exemple le quartz qui représente entre 20 et 30 % du granite de Beauvoir (pour lequel le procédé d'extraction est trop complexe et coûteux pour atteindre les qualités requises par le marché) et les autres métaux, présents en trop faibles quantités pour que leur récupération présente un intérêt technico-économique.

CARACTÉRISATION DES STÉRILES MINIERES ET RÉSIDUS DE CONCENTRATION

Origine	Composition	Quantités annuelles prévisionnelles
Stériles miniers	Granite (feldspath, quartz, mica)	Environ 5-10 000 tonnes
Résidus de concentration	Quartz, feldspath non-récupéré (majeurs), mica non-récupéré (mineur), gypse (traces)	1 340 000 tonnes

UNE GESTION DES STÉRILES ET RÉSIDUS RÉALISÉE SUR LE SITE D'ÉCHASSIÈRES

Grâce aux solutions techniques retenues, le stockage de ces derniers pourra être en grande partie réalisé sur site.

En effet, si le projet EMILI aboutit, Imerys exploitera la mine selon la méthode des « sous-niveaux abattus ». L'extraction du granite de Beauvoir se ferait ainsi via le creusement de galeries en commençant par le point le plus bas. Des chambres d'extraction d'environ 25 mètres de haut et de côtés seraient créées pour être ensuite remplies par une pâte constituée de stériles et résidus (et d'environ 5 à 8 % de ciment) une fois leur exploitation terminée.

Ainsi, pour 2,1 millions de tonnes extraites chaque année de la mine, 840 000 tonnes de résidus seraient remblayés sous la surface, avec 35 à 55 000 tonnes de ciment. Cette méthode permettrait d'utiliser environ 60% des résidus produits, de garantir des caractéristiques géotechniques du massif granitique exploité et de réduire significativement l'impact environnemental que pourrait avoir un stockage de ces résidus en surface.

DES ALTERNATIVES AU CIMENT ?

Au regard de l'empreinte carbone actuelle du ciment, Imerys considère la possibilité d'utiliser des matériaux alternatifs comme le métakaolin ou le biochar dont le taux de CO₂ par tonne produite est plus faible. Cependant la faisabilité technico-économique de ces alternatives n'est pas démontrée et de nombreuses études et tests restent à mener.

Cependant, il n'est pas possible de remblayer la totalité de ce qui est extrait dans la mine souterraine en raison de ce que l'on appelle le « foisonnement minier ». Appelé également « taux de foisonnement » ou « facteur de foisonnement », il se réfère à l'augmentation

du volume apparent d'une roche au moment de son extraction par suite de son morcellement.

C'est pourquoi environ 510 000 tonnes par an de résidus et stériles miniers seraient utilisées pour remplir progressivement la fosse de la carrière de kaolins à Échassières.

LES ENJEUX DU STOCKAGE DES RÉSIDUS ET STÉRILES

Le stockage des résidus et stériles peut présenter un risque de pollution des sols en fonction de leur nature géochimique. Cette problématique concerne aussi bien les stockages en surface dans la carrière kaolin qu'en remblais souterrains dans la mine :

- pour le stockage en surface, le risque serait celui d'un relargage par lixiviation, les éléments extraits du sous-sol pouvant entraîner une pollution des eaux de surface puis des eaux souterraines ;
- pour le stockage en souterrain, le risque serait que l'eau circule plus facilement au travers des résidus remblayés en pâte cimentée que dans le granite de Beauvoir (qui présente une très faible perméabilité), et qu'elle mette alors en circulation des métaux et polluants entraînant ainsi une contamination des eaux souterraines..

C'est pourquoi le stockage des résidus et stériles est un enjeu fort du projet EMILI. Imerys a d'ores et déjà lancé une campagne de caractérisation afin de déterminer leur potentielle dangerosité, d'effectuer des tests de lixiviation et d'observer leurs comportements géotechniques. En fonction de ces résultats, des mesures particulières pourraient être nécessaires, par exemple :

- pour les résidus remblayés dans la mine : la proportion de la pâte cimentée utilisée lors du remblaiement pourrait varier selon les caractéristiques des résidus ;
- pour les résidus et stériles remblayés en surface : un stockage adapté pour éviter les infiltrations d'eaux de pluie, une collecte des eaux de ruissellement, un contrôle avant rejet dans l'environnement voire un traitement de ces eaux.

LA GESTION DES EAUX DES OUVRAGES DE STOCKAGE

La conception du stockage dépendra de la nature et de la stabilité chimique du matériau à stocker.

Si le matériau est inerte, il sera stocké tel quel dans son lieu d'entreposage.

Si ce n'est pas la cas, un système d'étanchéité ainsi que de gestion des eaux devront être mis en place, dont la complexité sera proportionnée à la nature du matériau à stocker.

Les risques peuvent être de 2 natures :

- Érosion et propagation de sédiments pouvant grever le lit des cours d'eau
- Pollution chimique causée par la lixiviation des éléments solubles

Afin d'éviter tout risque de pollution, des mesures seront mises en place :

1/ Pour contrer l'érosion :

- Réduire l'arrivée des eaux sur les zones

de stockage (fossés périphériques, etc.) ;

- Limiter l'érosion de surface (contre-pente des gradins, blocométrie adaptée aux ouvrages, végétalisation à l'avancement)
- Gérer les eaux d'écoulement et réduire les matières en suspension (réduire le débit des eaux avec des bassins d'écrêtage et de décantation)

2/ Pour le risque chimique, les moyens usuels d'étanchéification (géosynthétiques) seraient mis à contribution si besoin.

Tous les matériaux devant être gérés (qu'ils soient naturels ou résidus de traitement) seront testés afin d'en connaître la stabilité physique et chimique et d'assurer leur gestion efficiente.

Enfin les eaux rejetées seront contrôlées (contrôle des caractéristiques physico-chimiques de eaux : température, débit, acidité, etc.)



LE DRAINAGE MINIER ACIDE EST-IL POSSIBLE DANS LE CADRE DU PROJET EMILI ?

Le drainage minier acide (DMA) se produit lorsque des sulfures s'oxydent au contact de l'air et de l'eau pour produire des solutions acides et sulfatées (de pH inférieur à 6). Les liquides acides ainsi produits ont la propriété de mettre en solution les métaux contenus dans les minéraux ou les métalloïdes.

Le granite de Beauvoir ne contenant pas de sulfures, ce phénomène est infaisable pour le projet EMILI.

Une surveillance des eaux mise en oeuvre sur différents points de collecte et sur les points de rejet vers le milieu naturel. Ses résultats seront transmis aux services de l'État pour s'assurer du respect des normes en vigueur (Valeurs limites de rejet en milieu naturel selon l'Arrêté Ministériel de Prescriptions Générales du 02/02/1998, Etat écologique et chimique des eaux superficielles selon l'Arrêté ministériel du 27 juillet 2018)

LA ROCHE EXTRAITE ENGENDRE-T-ELLE UN RISQUE POUR LA SANTÉ HUMAINE ET L'ENVIRONNEMENT ?

Radioactivité

Comme nombre de granites, le granite de Beauvoir qu'il est prévu d'extraire dans le cadre du projet EMILI présente une légère radioactivité naturelle. Le niveau de radioactivité sera ainsi mesuré et surveillé en permanence.

Pour assurer un état initial radiologique, des échantillons ont été prélevés dans un secteur élargi autour du site et sera disponible fin 2024. En fonction des résultats, des dispositifs particuliers pourront être mis en place pour les salariés comme l'aération renforcée, l'ajustement des dispositifs de captation des poussières provenant du concassage et du broyage ou encore des dispositions adaptées de stockage des stériles miniers en surface.

Le cadre réglementaire est très stricte sur le contrôle de la radioactivité et les dispositifs mis en place seront soumis à des audits et contrôles réguliers par des organismes officiels. Le taux d'exposition des ouvriers sera également transmis régulièrement aux autorités compétentes afin de conserver ou ajuster les moyens de préventions mis en place.

Arsenic

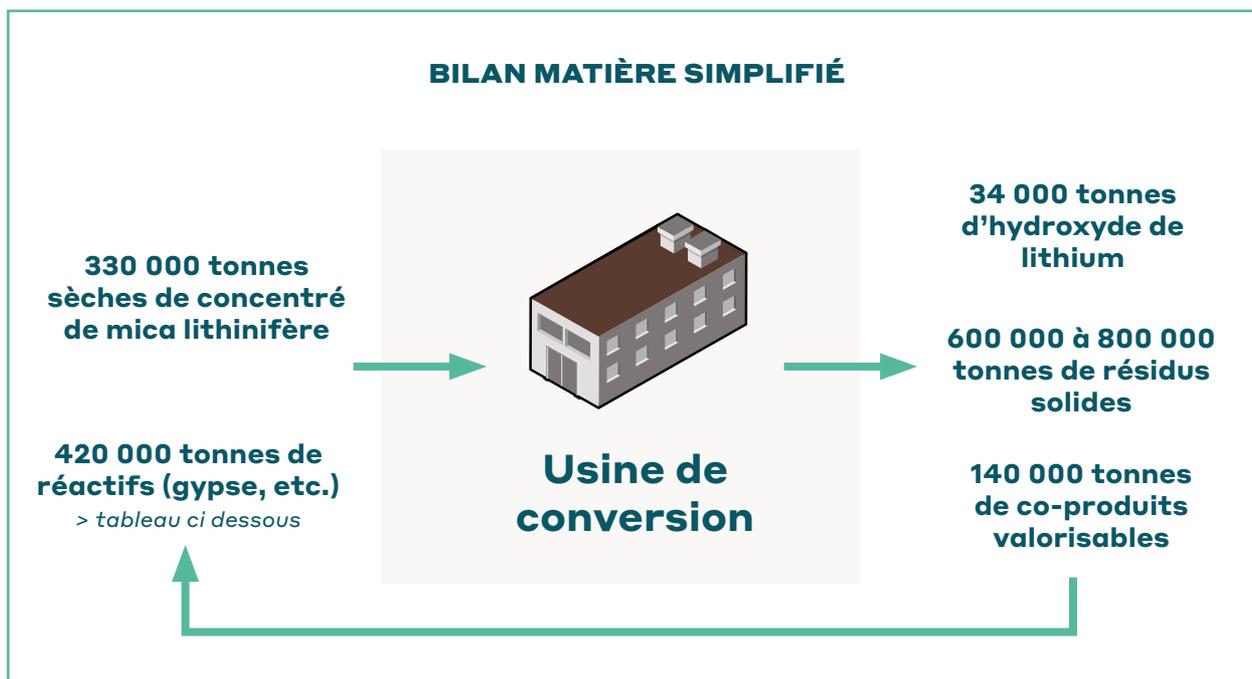
S'agissant de l'arsenic, celui-ci est naturellement présent dans les micaschistes (la roche qui jouxte le granite de Beauvoir). Or, l'activité minière envisagée dans le cadre du projet EMILI se contente de traverser ces micaschistes pour atteindre le granite de Beauvoir (plus profond), qui lui, contient des quantités infimes d'arsenic. Il est envisagé de traverser par endroit des niveaux de micaschiste (cheminement de convoyeur, puits d'aération, ...).

Toutefois les volumes excavés seront relativement faibles et les micaschistes seront simplement mis en verse. La granulométrie des blocs de micaschistes mis en verse sera donc grossière, ce qui limite très fortement la libération des minéraux porteurs d'arsenic (les arsénopyrites). De plus, la mise en verse sera réalisée de manière à réduire les phénomènes d'érosion et de lessivages.

Enfin, les eaux d'exhaures du site seront analysées afin de garantir des rejets conformes aux obligations réglementaires sur l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques.

L'USINE DE CONVERSION

Le procédé de conversion consiste à séparer les différents éléments contenus dans le mica lithinifère. Pour ce faire, des actions mécaniques, thermiques et chimiques sont réalisées, avec l'ajout de réactifs. Il résulte de ces étapes de conversion l'hydroxyde de lithium recherché, et un ensemble d'autres éléments, les résidus et les co-produits, ces derniers présentant une potentielle valeur commerciale.

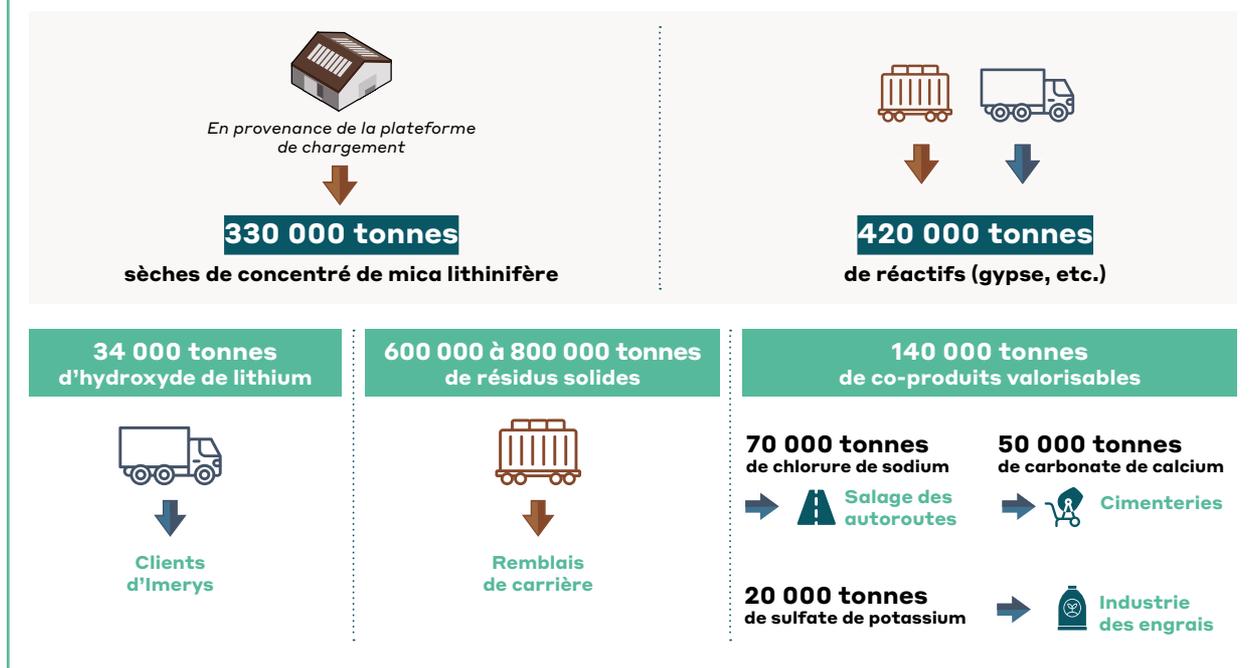


L'enjeu pour Imerys est, dans un premier temps, de réintégrer un maximum de co-produits directement dans le procédé. Dans un second temps, il s'agit de trouver des marchés intéressés, afin de réduire au maximum le volume d'éléments à stocker.

PRODUITS CHIMIQUES UTILISÉS	USAGE	VOLUME ANNUEL
Gypse	Recette de calcination	~115 kt
Chlorure de Potassium	Conversion des sulfates de sodium en glasérite	~90 kt
Carbonate de Sodium	Conversion du sulfate de Lithium en carbonate de lithium	~75 kt
Chaux	Neutralisation, conversion du carbonate de lithium en hydroxyde de lithium	~50 kt
Acide sulfurique	Colonne échangeuse d'ion (fluor), acidification de la solution avant boucle glasérite	~40 kt
CO₂	Purification de la solution (retrait du calcium)	~38 kt
Soude	Colonne échangeuse d'ion (fluor)	~10 kt
Sulfate d'Aluminium	Colonne échangeuse d'ion (fluor)	~1,3 kt
Acide chlorhydrique	Colonne échangeuse d'ion (Calcium)	~0,2 kt

BILAN ANNUEL MATIÈRE DU PROJET EMILI USINE DE CONVERSION

Comme à l'étape de concentration l'objectif est d'abord de valoriser le plus de co-produits possibles.



LA CONVERSION GÉNÈRE DES CO-PRODUITS...

Outre l'hydroxyde de lithium, les étapes du procédé de conversion produisent plusieurs types de co-produits valorisables :

- **les sels de sulfates mixtes de sodium et de potassium (glasérite)** (environ 150 000 tonnes) récupérés lors de l'étape de précipitation du carbonatation de lithium sont directement réutilisés en tant que réactifs pour la calcination et la lixiviation ;
- **le carbonate de calcium** (environ 50 000 tonnes par an) **récupéré lors de l'étape de conversion en lithium hydroxyde monohydraté** ;
- **le chlorure de sodium (sel)**, également récupéré lors de l'étape de précipitation du carbonate de lithium (environ 70 000 tonnes).

Ces co-produits pourraient être réutilisés dans d'autres industries pour différents usages (peinture, polymères, construction). Le chlorure de sodium, quant à lui, serait réutilisé comme sel de déneigement.

Dans le cadre du projet EMILI, Imerys a fait le choix de réduire au maximum le transport par camions. Néanmoins, l'option d'un transport routier est plus adaptée pour les volumes de ces co-produits, peu significatifs par comparaison au volume de produit fini acheminé par fret ferroviaire.

... ET DES RÉSIDUS À VALORISER EN REMBLAIS

Sous réserve des résultats d'analyse de caractérisations qui sont en cours et qui permettront de différencier les résidus inertes des résidus non inertes (pour lesquels les modes de stockage sont différents), les résidus générés par les étapes de lixiviation et de neutralisation pourraient être utilisés comme remblais dans le cadre de réaménagement de carrières.

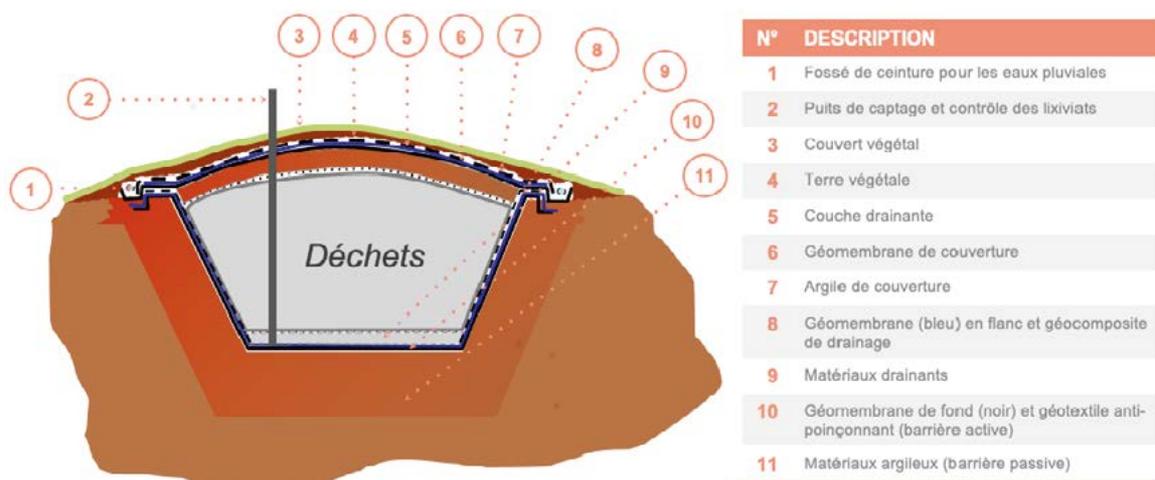
Imerys souhaite privilégier la valorisation de ces matériaux en remblaiement de carrières situées dans un proche périmètre et accessibles par fret ferroviaire.

Préalablement au choix du site de valorisation, plusieurs étapes décisives sont à réaliser :

- Finaliser les études de caractérisation des résidus de conversion ;
- Identifier les capacités de stockage et de valorisations disponibles localement ;
- Réaliser les études environnementales et réglementaires sur les sites de valorisation envisagés ;
- Définir les éventuelles dispositions constructives à établir dans le cas où les résidus seraient non-inertes.

L'IMPORTANCE DE LA PHASE PILOTE DANS LA CARACTÉRISATION DES RÉSIDUS ET L'IDENTIFICATION DE SOLUTIONS DE VALORISATION

La phase pilote permettra de mener des caractérisations plus poussées sur les déchets issus des différentes étapes. Elle permettra, entre autres, de vérifier le caractère inerte ou non des résidus produits. Les résidus de conversion sont caractérisés comme "non inertes", des dispositions spécifiques devront être prises, équivalentes à celles précédemment exposées pour les stériles et résidus issus de la concentration.



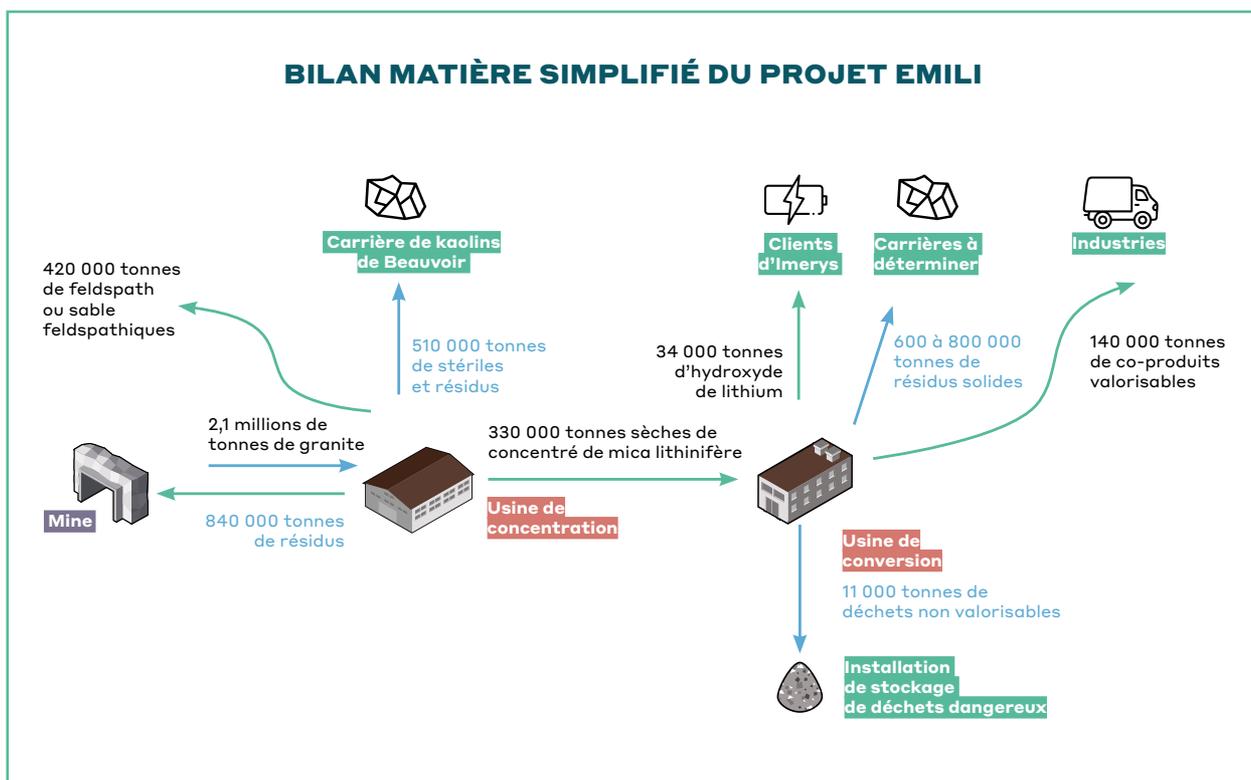
UNE FAIBLE QUANTITÉ DE DÉCHETS LIQUIDE NON VALORISABLES

Le système de « zéro déchet liquide » de l'usine de conversion, dont l'objectif est de réduire l'impact des installations industrielles sur la ressource en eau, produit plusieurs résidus (à hauteur d'environ 11 000 tonnes par an) parmi lesquels : sulfates et chlorures de calcium, rubidium, sodium, potassium, fluorites....

Ces éléments n'étant pas encore valorisables, ils seront, à ce stade, éliminés dans des ISDD (Installation de Stockage de Déchets Dangereux).

En 2012, la France dénombrait 13 « installations de stockage de déchets dangereux » (ISDD), où les déchets dangereux industriels peuvent être stockés sous certaines conditions (équipements spéciaux et système d'étanchéité) pour éviter que les polluants qu'ils contiennent se répandent dans l'environnement. Seuls les déchets qui respectent les limites de lixiviation imposées par la directive européenne concernant le stockage des déchets et la décision du Conseil 2003/33 sont admissibles dans ces centres, après avoir fait l'objet d'une stabilisation-solidification (procédé sur site ou hors site qui a pour but de piéger les polluants afin de réduire et de stopper leur mobilité).

BILAN MATIÈRE SIMPLIFIÉ DU PROJET EMILI



LEXIQUE

Déchets dangereux : ils contiennent, en quantité variable, des éléments toxiques ou dangereux qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement. C'est pourquoi ils sont soumis à une réglementation particulière pour leur gestion et leur valorisation.

Les déchets «non dangereux et non inertes» sont des déchets qui malgré des modifications possibles, ne présentent aucune des 14 propriétés des déchets dangereux (explosif, inflammable, irritant, toxique, etc ...).

Fond géochimique : composition chimique d'un sol et des roches du sous-sol en place dont il est la décomposition (minéraux, élément-traces tels que les métaux lourds et les métalloïdes, radionucléides). Il détermine en partie la qualité du sol, de l'eau et des écosystèmes.

Lixiviation : percolation lente de l'eau à travers le sol permettant la dissolution des matières solides qui y sont contenues. Le liquide résultant est appelé lixiviat.

