

**GUIDE DE CARACTÉRISATION  
DES RÉSIDUS MINIERES ET DU MINÉRAI**

# Préliminaire

# TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 - Définitions</b> .....	<b>3</b>
1.1 DÉFINITION DE RÉSIDUS MINIERS .....	3
1.2 DÉFINITIONS DE CONCENTRÉ, MINERAI ET MINERAI ENRICHI .....	4
<b>Chapitre 2 - Lignes directrices pour l'échantillonnage et la caractérisation</b> .....	<b>5</b>
2.1 PROCÉDURES D'ÉCHANTILLONNAGE .....	5
2.2 PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS ET CARACTÉRISATION .....	5
<b>Chapitre 3 - Processus d'évaluation</b> .....	<b>7</b>
3.1 LIMITES ANALYTIQUES .....	7
3.2 PARAMÈTRES D'INTÉRÊTS À ÉVALUER .....	7
3.2.1 <i>Radioactivité</i> .....	8
3.2.2 <i>Inflammabilité</i> .....	9
3.2.3 <i>Résidu cyanuré</i> .....	9
3.2.4 <i>Contamination organique</i> .....	9
3.2.5 <i>Prévision du potentiel de génération d'acide</i> .....	10
3.2.6 <i>Éléments lixiviables</i> .....	12
<b>Chapitre 4 - Rapport de caractérisation</b> .....	<b>14</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>19</b>

## TABLEAU

Tableau 1 : Nombre minimum d'échantillons recommandés pour chacune des catégories de résidus .....	6
--	---

## FIGURES

Figure 1 : Évaluation de la radioactivité totale à l'aide du schéma décisionnel.....	8
Figure 2 : Représentation schématique du processus d'évaluation .....	13

## ANNEXES

ANNEXE I - CONTENU DU RAPPORT DE CARACTÉRISATION .....	15
ANNEXE II - LISTE DES MÉTHODES RECOMMANDÉES .....	17

## INTRODUCTION

La nécessité de caractériser les résidus miniers et le minerai<sup>1</sup> en vue de déterminer un mode de gestion sécuritaire pour l'environnement apparaît maintenant comme une exigence spécifique dans la dernière version révisée de la directive 019 sur l'industrie minière.

Ce guide, qui cible les éléments importants à considérer lors de la caractérisation de tels matériaux, est destiné principalement aux personnes impliquées dans la préparation des études de caractérisation et des demandes d'autorisation environnementales ainsi qu'à celles engagées dans l'évaluation des projets miniers.

L'objectif de la caractérisation vise d'abord à obtenir, pour les différents matériaux à gérer, une connaissance adéquate des paramètres physico-chimiques qui les composent et aussi à connaître la façon dont ceux-ci interagissent à différentes conditions simulées en laboratoire ou à l'échelle pilote. La caractérisation est donc un outil prévisionnel permettant d'évaluer et de choisir un mode de gestion sécuritaire pour l'environnement. La caractérisation du minerai guidera plus spécifiquement le promoteur dans le choix du mode d'entreposage conforme aux exigences prescrites par la directive. Pour les résidus miniers, la caractérisation permettra d'orienter le promoteur quant à la pertinence d'appliquer un mode de traitement afin de diminuer à la source la dangerosité des résidus ou de déterminer les conditions d'élimination applicables si cette option est privilégiée comme mode de gestion. Si la réutilisation ou la valorisation des résidus miniers ou autres matériaux est envisagée, il faudra plutôt se référer à la dernière version du *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction* du ministère de l'Environnement pour connaître la procédure de caractérisation à appliquer.

La procédure de caractérisation du mort-terrain (dépôt meuble recouvrant un gisement ou le socle rocheux) n'est pas abordée dans ce document. Si une contamination du mort-terrain a eu lieu ou est suspectée, la caractérisation et l'établissement d'un mode de gestion pour ce matériau doivent être réalisés selon les modalités de la version la plus récente de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Il est important de noter que selon cette Politique toute entreprise débutant une nouvelle activité minière doit, avant son implantation, procéder à une caractérisation préliminaire du terrain sur lequel des activités auront lieu pour établir la qualité des sols et des eaux souterraines en place.

Selon les besoins, la caractérisation de résidus miniers et du minerai peut être faite autant à l'étape d'avant projet (prélèvements effectués à l'unité pilote de traitement du minerai ou sur le terrain lors des travaux de mise en valeur ou d'exploration avancée) que lors de la période d'exploitation d'une mine, par exemple avant l'établissement d'une nouvelle aire d'accumulation ou avant de procéder à la restauration d'une aire d'accumulation existante. La caractérisation peut aussi se faire dans le but de procéder à une évaluation périodique des caractéristiques

---

<sup>1</sup> Dans le présent document on entend également par minerai, le concentré et le minerai enrichi.

physico-chimiques des résidus miniers et du minerai à gérer.

Ce guide vise également à uniformiser autant que possible la procédure de caractérisation à appliquer. Toutefois, les orientations véhiculées dans ce document ne se veulent pas limitatives car chaque projet possède ses propres particularités. Les principaux éléments à considérer dans l'approche présentée dans le guide sont principalement axés sur la représentativité de l'échantillonnage et des résultats analytiques ainsi qu'au processus d'évaluation des paramètres d'intérêt.

Le guide de caractérisation est constitué de quatre chapitres. Le premier chapitre présente en détail la définition attribuée à un résidu minier et décrit en quoi consiste un minerai, un concentré et un minerai enrichi. Le chapitre 2 dévoile les grandes lignes à adopter pour l'échantillonnage et la caractérisation des matériaux. Le chapitre 3, quant à lui, touche le processus d'évaluation à suivre et comprend notamment des informations sur la liste des paramètres d'intérêt qui doivent faire l'objet d'une évaluation détaillée et renseigne sur le degré de précision attendue pour les méthodes analytiques qui seront utilisées. Finalement, le chapitre 4 fournit les éléments à retenir quant au contenu du rapport de caractérisation à préparer lors d'une demande d'autorisation au ministère de l'environnement.

Équipe de rédaction :

Suzanne Burelle, ing. M.Sc. au Service des matières résiduelles

Mario Daigle, analyste au Service des lieux contaminés

Claude Gignac, chimiste au Service de l'assainissement des eaux

## Chapitre 1 - Définitions

### 1.1 Définition de résidus miniers

Les rejets produits lors de l'extraction et le traitement du minerai constituent, sur une propriété minière, les matières résiduelles les plus fréquemment rencontrées en raison de leur quantité et de la superficie requise pour les éliminer. Généralement, ils nécessitent une attention spécifique en raison de leur nature et de leur degré d'hétérogénéité entre eux.

La portée de la définition de résidus miniers se limite habituellement au secteur minier, donc aux résidus rejetés découlant d'une activité minière proprement dite (extraction, préparation, enrichissement ou traitement d'un minerai). Toutefois, elle peut s'étendre, dans certains cas, à l'industrie métallurgique qui fait aussi des activités d'enrichissement ou de traitement de minerai ou de concentré par des procédés qui sont également utilisés dans l'industrie minière. De ce fait, l'industrie métallurgique génère des quantités considérables de résidus comme c'est le cas pour l'industrie minière.

Les substances produites lors du traitement du minerai ou les substances secondaires récupérées qui sont retournées dans le procédé ne sont pas considérées dans la définition de résidus miniers (même approche que l'U.S. EPA), on fait plutôt référence à des substances « rejetées ». Ainsi, à titre d'exemple, les réfractaires usés, qui ne sont pas rejetés, pourraient être réintroduits dans le procédé (suivant le certificat d'exploitation) et, en fin de compte, les résidus qui en résulteraient pourraient être associés aux résidus miniers déjà définis.

Il est à noter que la définition n'inclut pas les brasques des alumineries, mais considère par contre comme des résidus miniers les boues rouges issues de la transformation de la bauxite.

Pour les fins d'application du présent document, les matières suivantes sont considérées comme des résidus miniers:

**Résidus miniers :** toutes substances solides ou liquides à l'exception de l'effluent final, rejetées par l'extraction, la préparation du minerai, y compris les boues et les poussières résultant du traitement ou de l'épuration des eaux usées minières ou des émissions atmosphériques.

Sont considérés comme des résidus miniers, les scories et les boues, incluant les boues d'épuration, rejetées lors du traitement utilisant majoritairement un minerai ou un minerai enrichi ou concentré par pyrométallurgie ou hydrométallurgie ou par extraction électrolytique.

Sont également des résidus miniers, les substances rejetées lors de l'extraction d'une substance commercialisable à partir d'un résidu minier et qui correspondent à celles déjà identifiées aux deux premiers alinéas.

Sont exclus, les résidus rejetés par l'exploitation d'une carrière ou d'une sablière au sens du *Règlement sur les carrières et sablières*.

Notes explicatives sur la définition de résidus miniers

- Le 1<sup>er</sup> paragraphe de la définition couvre les résidus miniers reliés aux activités minières proprement dites. On inclut ici l'ensemble des résidus rejetés à l'exception de l'effluent final.
- Le 2<sup>e</sup> paragraphe de la définition couvre le "champ commun" de l'industrie minière et de l'industrie métallurgique lors du traitement du minerai, d'un minerai enrichi ou d'un concentré. Ont été retenues comme étant des résidus miniers : les scories, les boues et les boues de traitement des eaux qui sont d'origine minérale. Un résidu minier se doit d'être d'origine minérale, ce qui signifie que les matières premières qui l'ont généré ne doivent pas contenir plus de 50% de matériaux recyclés. C'est ainsi que certains résidus produits par l'industrie métallurgique ne sont pas des résidus miniers. Dépendant de leurs caractéristiques, ces résidus industriels peuvent être assujettis au *Règlement sur les matières dangereuses* ou s'il ne s'agit pas de matières résiduelles dangereuses, elles pourront être gérées comme toute autre matière résiduelle selon la réglementation applicable.
- Le 3<sup>e</sup> paragraphe tient compte des procédés de valorisation des résidus miniers qui peuvent également produire des résidus miniers lors du traitement de ces derniers en vue d'en extraire notamment des métaux ou autres matières commercialisables.
- Le 4<sup>e</sup> paragraphe tient compte qu'il n'existe plus de chevauchement avec le *Règlement sur les carrières et sablières*. Les modifications qui ont été apportées récemment à la définition d'une carrière font en sorte que toutes les substances minérales rejetées par les mines de minéraux industriels sont maintenant assujetties aux exigences de la Directive 019.

## 1.2 Définitions de concentré, minerai et minerai enrichi

D'autres substances que des résidus miniers peuvent aussi faire l'objet d'une caractérisation détaillée afin de déterminer le mode de gestion le plus approprié pour protéger l'environnement. Les matières généralement rencontrées dans cette catégorie sont les suivantes:

Concentré : substance de valeur produite lors des étapes d'enrichissement du minerai et qui contient moins de 50% en poids de l'alimentation en minerai.

Minerai : masse rocheuse contenant des minéraux de valeur en teneur et en quantité suffisante pour en justifier l'exploitation.

Minerai enrichi : substance de valeur produite lors des étapes d'enrichissement du minerai et qui contient 50% et plus en poids de l'alimentation en minerai.

## Chapitre 2 - Lignes directrices pour l'échantillonnage et la caractérisation

Une des étapes cruciales lorsque l'on désire caractériser une matière quelconque, est l'échantillonnage de cette dernière. En effet, peu importe la précision des méthodes analytiques utilisées, si l'échantillon n'est pas représentatif, l'évaluation ne sera pas concluante. Le nombre et les différents points d'échantillonnage devraient être établis sans s'y restreindre en fonction de la nature des substances à caractériser, du plan d'exploitation de la mine, des procédés de traitement du minerai qui seront utilisés et du degré attendu d'homogénéité chimique du matériel. L'exploitant doit s'assurer que le nombre et la qualité des échantillons prélevés seront représentatifs de ce qui sera généré pendant l'activité minière. À cet égard, le tableau 1 présente le nombre minimum d'échantillons demandés pour chacune des catégories de résidus. Si un nombre inférieur d'échantillons à ceux prescrits par le tableau 1 est soumis pour fins d'analyses, il revient au responsable du programme de caractérisation de faire une proposition sur une densité acceptable d'échantillonnage et de la justifier.

### 2.1 Procédures d'échantillonnage

Les procédures d'échantillonnage vont différer en fonction de la nature (boues ou solides) du matériau à caractériser et de l'endroit du prélèvement. À titre de référence, le Ministère a publié le *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*. Ce guide est constitué de plusieurs cahiers traitant de l'échantillonnage de différentes matrices environnementales. La version la plus récente du cahier 1 – *Généralités* (MENV, 1999) traite du cadre général de la planification d'une campagne d'échantillonnage et des procédures techniques au plan de la qualité ainsi que de l'intégrité de l'échantillon.

Malgré la spécificité que constitue le secteur minier par rapport à d'autres secteurs industriels, il est possible d'adapter plusieurs informations contenues dans ces documents aux diverses situations pouvant être rencontrées lors de la caractérisation d'un résidu minier et du minerai.

### 2.2 Prélèvements d'échantillons et caractérisation

Pour un nouveau projet minier (à l'étape d'avant projet ou avant l'exploitation d'un nouveau gîte minéral), il est essentiel de prélever des échantillons représentatifs **pour toutes les catégories de résidus qui seront produits**. Par catégories de résidus on considère par exemple les stériles produits lors des travaux d'extraction, les substances rejetées lors du traitement du minerai ou lors du traitement des eaux usées minières. Les caractéristiques physico-chimiques des unités géologiques qui seront touchées lors du développement et de l'exploitation de la mine devraient avoir été déterminées à partir des données obtenues lors des travaux d'exploration avancée ou lors des travaux de mise en valeur du gisement. On entend par unité géologique une formation rocheuse qui possède des caractéristiques physico-chimiques comparables, et ce, indépendamment de sa classification ou de son appellation sur le plan géologique ou minéralogique.

Le nombre d'échantillons à analyser devrait être modulé en fonction de l'ampleur de la masse de

l'unité géologique qui constituera, à partir des facteurs qui sont mentionnés dans le paragraphe précédent, une catégorie spécifique de rejet.

Le tableau suivant présente le nombre minimum d'échantillons recommandé pour les essais statiques préliminaires (Price & Errington, 1997) pour l'évaluation du drainage minier acide. Nous recommandons également le même nombre d'échantillons quelque soit la nature du résidu qui sera produit. Les résultats obtenus devraient nous fournir un bon aperçu de la plage des concentrations de contaminants qu'il sera probable de rencontrer dans toutes les catégories de rejets provenant des activités minières. Par la suite, une valeur représentative de la concentration de contaminants présents dans les échantillons sera établie afin de déterminer la pertinence de réaliser ou non d'autres analyses (voir le processus d'évaluation au chapitre 3).

**Tableau 1 : Nombre minimum d'échantillons recommandé pour chacune des catégories de résidus**

Masse de l'unité géologique (en tonnes) qui fera l'objet d'une extraction ou d'un traitement du minerai	Nombre minimum d'échantillons requis pour fins d'analyses
≤ 10 000	3
>10 000 et ≤ 100 000	8
> 100 000 et ≤ 1 000 000	26
> 1 000 000 et ≤ 10 000 000	80
>10 000 000	144

Lors des essais réalisés sur le minerai en usine pilote, il est recommandé de prélever et de faire analyser des échantillons (pulpe) afin de se faire une idée plus précise de la composition chimique des rejets miniers. Une telle approche doit s'inscrire en complémentarité avec celle qui a été décrite précédemment et pourra servir à documenter davantage les connaissances à ce chapitre. Les données ainsi recueillies pourront être jumelées et interprétées conjointement avec celles obtenues à partir de la caractérisation des matériaux extraits ou échantillonnés lors de la mise en valeur du gisement.

Nous préconisons qu'une nouvelle caractérisation soit réalisée lors d'une modification significative apportée à un procédé de traitement du minerai (par exemple l'introduction de nouveaux réactifs susceptibles d'émettre de nouveaux contaminants dans les résidus ou changement dans le procédé ayant comme résultat de modifier la qualité des rejets), lors d'un changement appliqué au procédé utilisé pour le traitement des eaux usées minières ou lors d'un changement dans la nature ou l'origine du minerai qui sera traité à l'usine. Il est alors recommandé que les caractéristiques du résidu soient déterminées à partir d'un minimum de 3 échantillons composites dont les prélèvements auront été répartis sur une période de 3 semaines. Chaque échantillon composite est constitué à partir de sous-échantillons prélevés pendant 3 jours consécutifs à raison d'un prélèvement aux 2 heures pendant une période de 8 heures.



## Chapitre 3 - Processus d'évaluation

Différentes étapes peuvent être franchies pour la détermination des caractéristiques constituant un résidu minier ou un minerai. Chacune des étapes est décrite en précisant l'élément recherché par celle-ci. À la figure 2 de la page 13, on retrouve une représentation schématisée du processus d'évaluation. Il s'agit d'un cheminement progressif qui permet d'obtenir les informations essentielles à la prise de décision pour déterminer un mode de gestion sécuritaire des résidus miniers et du minerai. Il ne s'agit pas d'une approche nécessitant des analyses (essai en laboratoire) obligatoires à chaque étape. Afin de mieux saisir la portée des éléments apparaissant à la figure 2, le lecteur est prié de prendre connaissance à ce sujet des détails présentés à la section 3.2 du guide. La connaissance de la minéralogie du gisement et de la roche mère ainsi que du procédé utilisé (traitement du minerai, épuration des eaux usées, épuration des émissions atmosphériques, procédé pyrométallurgique, procédé hydrométallurgique, extraction électrolytique, etc.) devraient orienter le promoteur dans le choix des paramètres à retenir pour les fins d'analyses.

La liste des méthodes recommandées pour la caractérisation des résidus miniers et du minerai est disponible sur le site internet du MENV et sous l'onglet du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) que l'on peut consulter à l'adresse suivante: <http://www.menv.gouv.qc.ca/ceaeq/>. On retrouve également cette liste à l'annexe II du présent document. Les analyses doivent être faites par un laboratoire accrédité à l'exception évidemment des paramètres qui ne sont pas été intégrés au domaine d'accréditation.

### 3.1 Limites analytiques

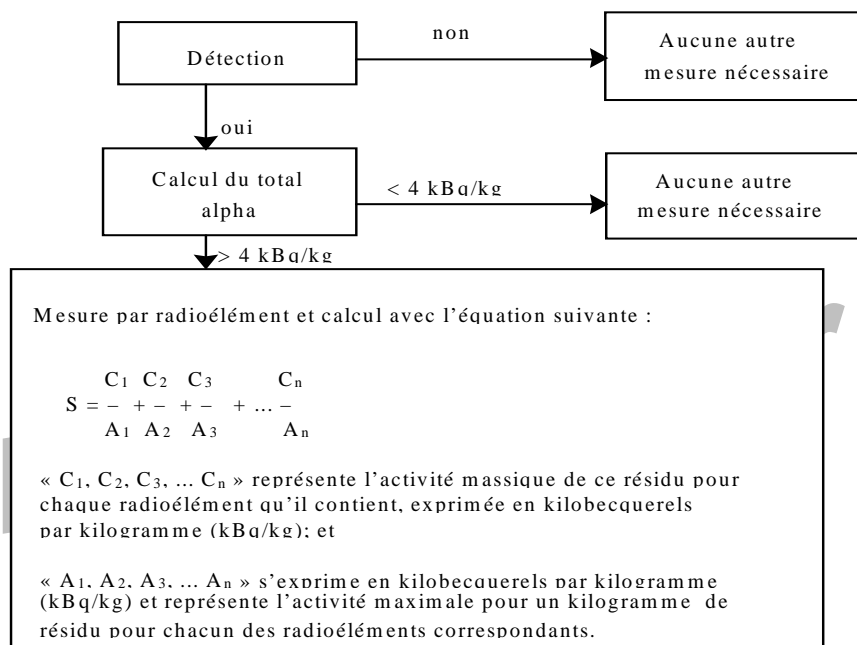
Les limites analytiques des différentes méthodes utilisées en laboratoire devront permettre de détecter et de quantifier, pour les matériaux à caractériser, des concentrations totales équivalentes ou inférieures aux critères de niveau A, lesquels apparaissent au tableau 1 de la section 2.1 de l'annexe 2 de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Pour les analyses de lixiviation, les méthodes analytiques utilisées devront permettre de mesurer des concentrations équivalentes ou inférieures au critère d'usage le plus sévère pour une eau de surface ou de consommation. Les critères d'usage sont présentés au tableau 2 de la section 2.2 de l'annexe 2 de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Dans le cas où la limite de quantification de la méthode analytique est supérieure à la valeur du critère d'usage, la limite de quantification sera utilisée comme seuil analytique attendu. Pour les autres catégories de paramètres, il s'agit de viser également une valeur seuil suffisamment basse pour obtenir des résultats d'analyses permettant de classer les résidus miniers et le minerai en fonction des critères applicables et des caractéristiques mentionnées dans l'annexe II de la Directive.

### 3.2 Paramètres d'intérêts à évaluer

### 3.2.1 Radioactivité totale

Une évaluation de ce paramètre sera effectuée si la présence de cette caractéristique est suspectée en raison de la localisation géographique du gisement ainsi que la nature du minerai (par exemple le niobium). Dans un pareil cas, il y a lieu d'évaluer la radioactivité totale selon la procédure suivante :

**Figure 1 : Évaluation de la radioactivité totale à l'aide du schéma décisionnel**



Si le résultat de l'équation ci-dessus est supérieur à 1, le résidu ou le minerai est considéré radioactif et il y a nécessité de prévoir des mesures de radioprotection et de procéder à l'évaluation de la radioactivité dans le lixiviat.

### 3.2.2 Radioactivité dans le lixiviat

Pour les matériaux radioactifs, l'évaluation de la radioactivité doit être faite sur le lixiviat afin de vérifier si des mesures d'imperméabilisation pour la protection des eaux souterraines sont nécessaires. Pour ce faire, les rayonnements ionisants doivent être mesurés sur le lixiviat du résidu minier.

Le résidu minier est considéré à risques élevés si le lixiviat de ce résidu émet des rayonnements ionisants et pour lequel le résultat de l'équation suivante est supérieur à 0,05 :

$$S = C_1/A_1 + C_2/A_2 + C_3/A_3 + \dots + C_n/A_n$$

Où "C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, ... C<sub>n</sub>" représentent l'activité volumique du lixiviat pour chaque radioélément qu'il contient, exprimé en kilobecquerels par litre (kBq/L) et

"A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, ... A<sub>n</sub>" représentent, pour chaque radioélément qu'il contient, l'activité volumique mentionnée à l'annexe 1 du *Règlement sur les matières dangereuses*, exprimée en kilobecquerels par litre (kBq/L).

### 3.2.3 Inflammabilité

La présence de cette caractéristique peut être déterminée lors de l'analyse du procédé de traitement et de la composition chimique du minerai. Cette caractéristique est présente lorsque la substance à gérer est susceptible :

- a) soit de s'enflammer facilement et de brûler violemment ou longtemps;
- b) soit de causer ou de favoriser un incendie sous l'effet de frottement ou de la chaleur qui subsiste après sa fabrication ou son traitement;
- c) soit de subir une décomposition fortement exothermique à la température ambiante ou, en cas d'inflammation, de brûler violemment en présence ou en absence d'air.

Elle est aussi attribuée à toute matière qui est sujette à l'inflammation spontanée dans des conditions normales de manutention ou d'utilisation ou qui est susceptible de s'échauffer au contact de l'air au point de pouvoir s'enflammer ainsi qu'à toute matière qui, au contact de l'eau, dégage une quantité dangereuse de gaz inflammable (par exemple dégagement d'hydrogène en présence de métaux alcalins) ou qui, au contact de l'eau ou de la vapeur d'eau, est susceptible de s'enflammer spontanément ou de réagir violemment.

Le mode de gestion d'un résidu possédant cette caractéristique doit prévoir des mesures particulières pour contrôler la réactivité d'un tel résidu.

### 3.2.4 Résidu cyanuré

L'analyse de ce paramètre est requis lorsqu'un procédé de cyanuration est employé pour le traitement du minerai ou lorsqu'on utilise un réactif cyanuré dans le procédé.

L'analyse du contenu en cyanure dans la phase liquide du résidu permet d'établir si un plan détaillé pour la gestion des cyanures doit être élaboré selon les modalités prévues dans la Directive 019.

### 3.2.5 Contamination organique

Une contamination organique peut être suspectée en raison principalement du procédé utilisé lors du traitement du minerai. La première question est de savoir si la substance recherchée est présente ou non dans les résidus. Les méthodes permettant de dépister une large gamme de

composés, même si ces composés sont déterminés en tant que groupes, sont à privilégier parce qu'elles permettent d'obtenir des résultats rapidement et à moindre coût.

Le degré de contamination mesuré et la toxicité relative des composés organiques présents dans les résidus permettent d'établir, au besoin, les mesures particulières devant être appliquées au mode de gestion des résidus.

### **3.2.6 Prévision du potentiel de génération d'acide**

La présence de minéraux sulfureux peut engendrer dans certaines conditions un drainage minier acide. Toutefois, le pouvoir acidogène d'un échantillon peut varier suivant la teneur des minéraux alcalins pouvant être présents et les conditions dans lesquelles il est soumis.

À l'aide des résultats de la caractérisation minéralogique des résidus miniers et des matériaux faisant partie des unités géologiques touchés par le projet minier, lorsque le contenu total en soufre est supérieur à 0,3%, on procède à la prévision du potentiel de génération d'acide en effectuant un essai de prévision statique. L'analyse du soufre total est effectuée sur une base sèche.

Le test statique est considéré positif si le potentiel net de neutralisation est inférieur à 20 kg  $\text{CaCO}_3$ /tonne de résidus ou que le rapport du potentiel de neutralisation d'acide sur le potentiel de génération d'acide est inférieur à 3.

#### **3.2.6.1 Les essais statiques**

Il faut considérer les essais statiques comme une méthode de prévision qualitative permettant d'évaluer la capacité de certaines formations rocheuses ou de certains types de résidus miniers à générer de l'acidité et à lixivier les métaux. La lixiviation sera abordée plus loin à la section 3.2.7.

Les tests statiques fonctionnent tous sur le même principe, on détermine d'une part le pouvoir de génération d'acide (PA) par un calcul stoéchiométrique simple en assumant que le soufre total contenu dans l'échantillon sera transformé en acide sulfurique. D'autre part, on mesure le pouvoir de consommation d'acide (PN), c'est-à-dire la quantité d'acide sulfurique pouvant être neutralisée par les minéraux alcalins.

Le résultat de ces analyses est soit exprimé sous forme de kilogrammes d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou encore de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) produits par tonne de résidus. Le potentiel net de neutralisation (PNN) donné par la différence du potentiel de neutralisation brut (PN) avec le potentiel de génération acide (PA) exprimé en équivalent de  $\text{CaCO}_3$  ( $\%S \times 30,63$ ), pour comparer les mêmes unités de mesure, nous donne des indications à savoir si le matériel échantillonné risque de produire de l'acide sulfurique.

Il existe plusieurs types d'essais statiques reconnus. Le plus utilisé est sans doute la méthode

ABA (Acide Base Accounting) de Sobek et al. (1978) également connu sous l'appellation EPA-600 (voir annexe II).

Le test statique est considéré positif si le potentiel net de neutralisation (PNN) est inférieur à 20kg CaCO<sub>3</sub> /tonne de matériau ou que le rapport de neutralisation PN/PA est inférieur à 3. À ce stade, à moins d'effectuer un test cinétique de confirmation du potentiel acide, les échantillons avec un tel profil sont de facto considérés générateurs d'acide.

Face à un tel constat, il est exigé par la Directive 019 que le mode de gestion des résidus miniers produits respecte certaines mesures d'étanchéité pour assurer la protection des eaux souterraines et qu'un plan de prévention du drainage minier acide soit déposé conformément aux modalités prévues.

### 3.2.6.2 Les essais cinétiques

Au besoin, des essais cinétiques seront effectués pour confirmer les résultats obtenus à partir des essais statiques. Ces essais ont pour but de déterminer le potentiel net d'acidité et d'établir la vitesse de génération d'acide, d'oxydation des sulfures, de neutralisation et de lixiviation des métaux.

On doit considérer dans le processus d'évaluation d'autres facteurs rattachés aux matériaux à caractériser. Il s'agit entre autres de la granulométrie, de la minéralogie et des concentrations totales en métaux. Ces caractéristiques sont essentielles à l'interprétation des résultats recueillis à partir des essais cinétiques parce qu'elles influencent le processus de production d'acide et en précisent son importance.

En parallèle, on doit simuler en laboratoire des essais visant à définir le taux et la variation temporelle de la production d'acide de même que l'évolution de la qualité de l'eau de drainage dans le temps.

Le type de test cinétique privilégié par le MENV est celui effectué avec des essais en cellules d'humidité.

Le test en cellule humide est un test qui emploie une phase humide, une phase sèche et une phase de lixiviation dans chaque cycle de 7 jours. Lors de la phase humide, de l'air saturé de vapeur d'eau est passé sur les résidus; alors qu'en phase sèche, c'est de l'air déshumidifié qui est passé sur les résidus. Lors de la lixiviation, l'échantillon est imbibé avec de l'eau distillée et déminéralisée pendant 2 heures. Ensuite, le lixiviat est retiré et filtré. Le pH du filtrat est mesuré, de même que sa conductivité, son potentiel d'oxydoréduction, son acidité, son alcalinité, et son contenu en métaux dissous et en anions. Les données sont colligées et interprétées pour déterminer les taux d'oxydation, de génération d'acide et de neutralisation ainsi que le rapport PN/PA sécuritaire. Une description détaillée de la procédure en cellule humide est disponible dans un document publié par Coastech Research Inc. en 1989 (voir bibliographie en annexe).

Après ces étapes, on peut utiliser la modélisation géochimique pour prédire le comportement à long terme des matériaux considérés acidogènes.

### 3.2.7 Concentrations totales et éléments lixiviables

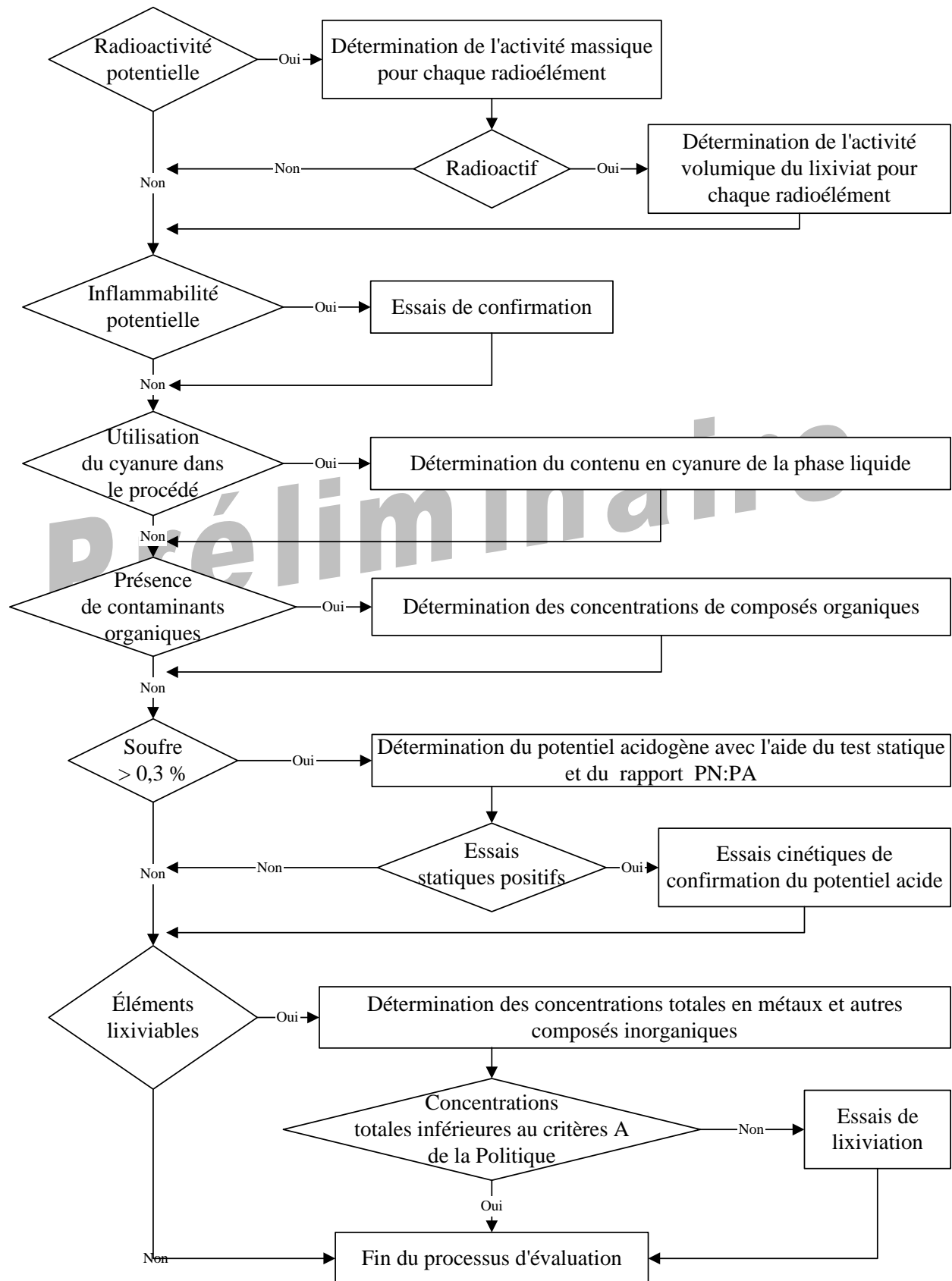
En se référant aux différentes analyses minéralogiques du gisement et de la roche mère il y a lieu d'établir la liste des paramètres inorganiques d'intérêt et de déterminer leurs concentrations totales.

Par la suite, il est nécessaire de procéder à des essais de lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques (méthode MA. 100 – Lix. 2.0) uniquement pour les paramètres qui présenteront des concentrations supérieures aux critères A de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Les analyses pour déterminer les concentrations totales seront effectuées sur une base sèche. Lorsque, pour un paramètre donné, la limite de quantification de la méthode analytique est supérieure au critère de référence (ex. Ag, la limite de quantification est de 10 mg/kg tandis que le critère d'évaluation est de 2 mg/kg), alors la limite de quantification sera considérée comme valeur de référence.

Les résultats des essais de lixiviation permettront d'établir le niveau d'étanchéité requis au mode de gestion des résidus miniers pour assurer la protection des eaux souterraines.

Pour un résidu minier nécessitant des mesures d'étanchéité de niveau A (voir figure 4 de la Directive 019), une étude de modélisation est requise lorsque la perméabilité du sol ou du socle rocheux est inférieure à  $1 \times 10^{-6}$  cm/s (voir figure 5 de la Directive 019). La démonstration par modélisation sera facultative dans le cas où le requérant effectue des essais de lixiviation par la méthode d'analyse MA 10 – Lix.pa 1.0 (simulation des pluies acides sur un solide) et que les résultats obtenus sont inférieurs aux critères applicables pour la protection des eaux souterraines apparaissant à l'annexe 2 de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*.

Figure 2 : Représentation schématique du processus d'évaluation



## Chapitre 4 - Rapport de caractérisation

L'ensemble des résultats analytiques obtenus, de même que leur interprétation, sont consignés dans un rapport. L'interprétation de ces résultats doit être faite de façon à pouvoir attribuer au résidu minier et au minerai une ou plusieurs des caractéristiques apparaissant à l'annexe II de la directive 019. Les résidus miniers ainsi que les minerais et concentrés peuvent avoir l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- à faibles risques;
- lixiviables;
- acidogènes;
- cyanurés;
- contaminés par des composés organiques;
- radioactifs;
- inflammables;
- à risques élevés.

Il est à noter que plusieurs caractéristiques peuvent être associées à un même matériau.

Le rapport de caractérisation comprend au minimum l'ensemble des éléments apparaissant à l'annexe I du présent document et un plan ou schéma indiquant l'endroit des prélèvements ou montrant les différents points de mesure. Une justification doit être fournie lorsque la méthode analytique utilisée pour déterminer les caractéristiques d'un matériau ne correspond pas aux méthodes indiquées à l'annexe II.

Avant d'être acheminé au MENV, le rapport doit être signé par les professionnels responsables de l'étude ainsi que par le chimiste responsable des analyses de laboratoire.



## ANNEXE I - CONTENU DU RAPPORT DE CARACTÉRISATION

### 1. Introduction

- texte sommaire décrivant le contexte ainsi que les objectifs visés par la caractérisation.

### 2. Description du projet

- nature et origine des résidus générés par les activités minières ou qui font l'objet d'une caractérisation;
- type de minerai extrait ou utilisé pour fins de traitement à l'usine ou qui fait l'objet d'une caractérisation ;
- quantités produites ou prévues (volume journalier, quantité annuelle à être éliminée);
- réactifs utilisés dans le procédé de traitement du minerai;
- composition de la pulpe (% en poids) et les débits des phases liquides (m<sup>3</sup>/j).

### 3. Travaux d'échantillonnage

- endroit et localisation des prélèvements (socle rocheux, usine de traitement du minerai, bassin de boues de traitement des eaux usées minières, etc.);
- nature de l'échantillon;
- réalisation de l'échantillonnage (mode d'échantillonnage utilisé, équipements, conditions d'installation, problèmes rencontrés, procédure utilisée pour la cueillette, fréquence et durée de l'échantillonnage);
- observations pertinentes relatives aux conditions d'échantillonnage, au lieu échantillonné;
- justifications sur le nombre d'échantillons prélevés;
- nombres de sous-échantillons prélevés;
- méthode de conservation des échantillons soumis à l'analyse;
- date de l'échantillonnage;
- nom de la personne et de la firme chargées de l'échantillonnage.

### 4. Travaux analytiques effectués en laboratoire

- méthodes d'analyse utilisées;
- le nom des paramètres analysés et les unités de mesure;
- date des analyses;
- limites analytiques;
- limites de quantification;
- nom de la personne et du laboratoire chargés des analyses;
- programme de contrôle de la qualité appliqué.

## 5. Résultats d'analyses et discussion

- présentation des résultats par catégories de matériaux à gérer (ex. minerais, stériles, résidus de traitement, boues de traitement des eaux usées minières, etc.).

## 6. Conclusion

- interprétation des résultats et classification des résidus à partir des critères de l'annexe II de la Directive 019 sur l'industrie minière. Les caractéristiques pouvant être attribuées aux résidus miniers et au minerai sont identifiées au chapitre 4 de ce guide.

**Préliminaire**

## ANNEXE II - LISTE DES MÉTHODES RECOMMANDÉES

ESSAI / PARAMÈTRE	TITRE DE LA MÉTHODE	RÉFÉRENCE
Contenu en cyanure dans la fraction liquide	Détermination des cyanures; méthode colorimétrique automatisée avec la pyridine et l'acide barbiturique; distillation manuelle.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 300 – CN 1.0
Carbone organique total	Solides - Détermination du carbone; méthode par spectrophotométrie infrarouge.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 410 – C 1.0
Composés organiques volatils	Détermination des composés organiques volatils; dosage par " purge and trap " couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spectromètre de masse.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 408 - COV 1.0
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques; dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 400 - HAP 1.0
Halogènes organiques totaux	Détermination des halogènes organiques totaux; méthode de combustion avec une bombe calorimétrique, suivie d'un dosage par chromatographie ionique.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 300 - Hal. 1.0
Composés phénoliques	Détermination des composés phénoliques; dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse après dérivation avec du BSTFA.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 408 - Phé 1.0
Dioxines et furanes totaux	Détermination des dibenzo-para-dioxines polychlorés et des dibenzofuranes polychlorés; dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 400 - D.F. 1.0
Teneur en soufre	Détermination du soufre; méthode par combustion et dosage titrimétrique.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 310 - Sou. 1.0

## ANNEXE II - LISTE DES MÉTHODES RECOMMANDÉES

ESSAI / PARAMÈTRE	TITRE DE LA MÉTHODE	RÉFÉRENCE
Potentiel de génération d'acide	Détermination du potentiel de génération d'acide; Méthode par titrage avec de l'acide sulfurique  Essais statiques Détermination de la balance acide-base (Acid-Base Accounting)  Essais cinétiques Détermination par la méthode des cellules d'humidité	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 110 - PGA 1.0  Sobek et al., 1978 modifié ou EPA-600  Coastech (1989, 1991)  Voir Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia Draft 1997 Price, W.A., avril 1997
Contenu total en métaux	Détermination des métaux; méthode par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 200 - Mét. 1.1
Mercure	Détermination du mercure; dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique, formation de vapeur.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 200 - Hg 1.0
Lixiviation	Protocole de lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 100 – Lix. 2.0
Lixiviation pluies acides	Protocole de lixiviation pour simuler les pluies acides.	Ministère de l'Environnement du Québec MA. 100 – Lix.pa 1.0

Les copies des méthodes publiées par le ministère de l'Environnement du Québec peuvent être obtenues en communiquant auprès du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (418-643-1301).

## BIBLIOGRAPHIE

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 2002, *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction*, 47 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 2001, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 5 - Échantillonnage des sols*, 2<sup>e</sup> édition, Les éditions Le Griffon d'argile, 74 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1999, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 1 - Généralités*, 2<sup>e</sup> édition, Les éditions Le Griffon d'argile, 63 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE, 1998, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 8 - Échantillonnage des matières dangereuses*, Les éditions Le Griffon d'argile, 103 p.

PRICE, 1997, BC Ministry of Employment and Investment. *Guidelines and Recommended Methods for Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia*, Draft, 159 p.

COASTECH RESEARCH INC., 1989, *Investigation of Prediction Techniques for Acid Mine Drainage*, MEND Project No. 1.16.1a.

SOBEK et al., 1978, *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils*. Report EPS-600/2-78-054.