



Ordre des géologues  
du Québec

## Directive

Caractérisation des granulats et de leurs sources en  
vue de leur utilisation dans le béton

*Adopté août 2017*



## PRÉAMBULE

L'Ordre des géologues du Québec adopte et publie des guides de pratique et des directives afin de promouvoir la qualité de l'exercice professionnel.

Les géologues doivent s'assurer que leur exercice est conforme à ces guides et directives.

### *Terminologie*

Trois verbes importants sont utilisés dans ce document avec les sens donnés ci-dessous :

- «doit» définit des exigences à satisfaire afin de se conformer aux directives. (« Doit » signifie «est obligatoire ou nécessaire»);
- «devrait» indique qu'une alternative parmi plusieurs est recommandée ou préférable sans en mentionner ou en exclure d'autres ; ou encore, qu'un certain plan d'action est préférable, mais pas obligatoire ; ou, enfin, que (dans la forme négative) un certain plan d'action n'est pas souhaitable mais n'est pas pour autant interdit (« Devrait » signifie «est recommandé»);
- «peut» désigne une action permise (« Peut » signifie «est autorisé»).

### *Amélioration continue*

Tout commentaire visant à améliorer le contenu de ce document doit être transmis par écrit au Secrétaire de l'Ordre des géologues du Québec à :

500, rue Sherbrooke Ouest, Bureau 900, Montréal (Québec) H3A 3C6. Courriel: [info@ogq.qc.ca](mailto:info@ogq.qc.ca)

### *Contributions*

La préparation de cette directive est le fruit des contributions des membres d'un comité ad hoc avec l'appui du secrétaire de l'Ordre chargé de la rédaction.

### *Note importante*

*L'Ordre des géologues considère que plusieurs des méthodes d'essais utilisées pour la caractérisation des granulats sont empiriques et de fiabilité relative. Il est donc souhaité que les méthodes de caractérisation utilisées évoluent rapidement pour tirer plein avantage des récentes avancées en caractérisation minéralogique.*

© Ordre des géologues du Québec.

Tous droits réservés.

Éditeur : Secrétaire de l'Ordre des géologues

## Contenu

PRÉAMBULE .....	ii
1. Introduction .....	1
1.1 Champ d'application .....	1
1.2 Objet .....	1
1.3 Obligations du géologue .....	2
1.4 Définitions et acronymes .....	2
1.5 Note importante concernant les méthodes d'essai et d'analyses .....	2
2. Informations contextuelles.....	3
2.1 Les matériaux et leur utilisation .....	3
2.1.1 Granulats et géologie .....	3
2.1.2 Les produits et leur utilisation .....	4
2.2 Le rôle du géologue .....	5
2.2.1 Mandat de Type 1 : .....	5
2.2.2 Mandat de type 2 : .....	5
2.3 Caractéristiques des granulats.....	6
2.3.1 Caractéristiques géométriques .....	6
2.3.2 Caractéristiques physico-chimiques .....	6
2.3.3 Caractéristiques physiques et mécaniques.....	7
2.3.4 Caractéristiques chimiques .....	7
2.4 Les normes de qualité.....	10
3. Caractérisation d'une carrière .....	11
3.1 Objectifs .....	11
3.2 Démarche de caractérisation d'une carrière .....	11
3.3 Planification et étapes de caractérisation .....	11
3.3.1 Acquisition de l'information régionale .....	12
3.3.2 Géologie de la carrière .....	12
3.3.3 Données d'exploitation .....	12
3.3.4 Visite de la carrière .....	12
3.3.5 Échantillonnage .....	13
3.3.6 Sécurité des personnes .....	14
3.4 Travaux de laboratoire .....	14
3.4.1 Descriptions pétrographiques .....	14
3.4.2 Essais physico-chimiques .....	14
3.4.3 Analyse des sulfures.....	15
3.5 Traitement et qualité des données .....	16
3.5.1 Assurance et contrôle de qualité .....	16
3.5.2 Traitement des données.....	16
4.0 Rapport .....	17
Annexe .....	18



## 1. Introduction

Des granulats sont utilisés dans les remblais ou comme intrants dans la fabrication de produits tels le béton ou les enrobés bitumineux. Ces utilisations de granulats sont anciennes et font l'objet de multiples normes ou documents techniques variés. Néanmoins, l'utilisation des granulats inappropriés demeure un risque réel comme en témoigne l'expérience des trente dernières années au Québec (réactions alcali/granulats dans le béton, gonflement des remblais sous les dalles de béton par sulfatation de la pyrite du granulat, dommages aux ouvrages de béton par réaction de pyrrhotine dans le granulat).

Malgré la maturité du cadre normatif actuel, certaines lacunes y ont été constatées, et, en 2015, la *Garantie pour la construction résidentielle* (GCR) a pris l'initiative d'exiger une intervention systématique des géologues pour caractériser à la source les granulats utilisés dans le béton. À ce sujet, il est pertinent de rappeler que de nombreuses exploitations n'ont fait l'objet que d'évaluations géologiques rudimentaires, voire inexistantes.

Dans ses exigences, la GCR ne précise pas les détails ou la portée de l'intervention attendue des géologues.

Enfin, bien que des travaux soient en cours à cette fin, le cadre normatif en vigueur<sup>1</sup> n'a pas été modifié pour corriger sans équivoque les problèmes liés à la présence de sulfures dans les granulats.

En considération de ces faits et de la diversité des sources et des entreprises produisant des granulats, la présente directive vise à préciser les attentes de l'Ordre des géologues quant aux interventions des géologues dans la caractérisation des granulats devant être utilisés dans le béton et de leurs sources.

La caractérisation des granulats et de leurs sources relève de l'exercice professionnel de la géologie tel que défini par la *Loi sur les géologues*.

### 1.1 Champ d'application

La présente directive vise à baliser les interventions des géologues appelés à donner des avis professionnels sur les caractéristiques des granulats ou sur des sources de granulats en vue de l'utilisation des granulats dans le béton. Les granulats en question peuvent être des granulats naturels (sables et graviers) ou des granulats fabriqués par concassage de pierre extraite d'une carrière. Les sources de granulats visées peuvent être toute forme d'exploitation d'un dépôt naturel de sable et gravier ou d'un massif rocheux.

Les granulats servent aussi à d'autres utilisations tels la construction de remblais structuraux pour diverses fonctions ou la fabrication d'enrobé bitumineux. Ces autres utilisations ne sont pas l'objet de la présente directive bien que les étapes d'évaluation d'une carrière ou d'un granulat décrites dans le présent directive s'appliquent avec adaptation à toutes les utilisations.

Les avis professionnels visés et les rapports techniques associés sont généralement produits pour le compte des producteurs de granulat mais peuvent aussi être produits pour des tiers. Ces avis et rapports sont privés mais peuvent être divulgués au public ou à des organismes de certification selon les circonstances.

### 1.2 Objet

La présente directive définit ce qui est attendu du géologue qui prépare ou contribue aux avis ou aux rapports techniques concernant les granulats. Cette directive vise aussi à informer les clients des géologues et le public sur les bonnes pratiques telles que définies par l'Ordre des

---

<sup>1</sup> Tel que défini par les normes ACNOR/CSA ou les exigences de certification des fabriques de béton.

Directive : caractérisation des granulats et de leurs sources en vue de leur utilisation dans le béton

géologues. En conséquence, le texte comprend de nombreux éléments d'information à l'intention du public.

Les guides et directives publiés par l'Ordre peuvent servir de documents de référence au Comité d'inspection professionnelle ou au Conseil de discipline afin de déterminer l'acceptabilité de la pratique professionnelle d'un géologue.

### 1.3 Obligations du géologue

La production d'un avis concernant le potentiel minéral d'une propriété ou les caractéristiques d'un matériau géologique relève de l'exercice professionnel de la géologie tel que défini dans la *Loi sur les géologues*. Seul un géologue (ou un ingénieur habilité) est également autorisé à produire un tel avis. Il doit s'acquitter de cette tâche avec compétence, intégrité et objectivité.

Le *Code de déontologie* crée l'obligation pour le géologue de n'accepter aucun travail pour lequel ils n'a pas les moyens ou les compétences ou pour lequel il ne peut obtenir l'appui approprié de professionnels compétents. Le Code stipule aussi qu'il doit exprimer des opinions professionnelles fondées sur des connaissances suffisantes et appropriées.

En vertu de son obligation d'intégrité, le géologue doit communiquer impartialement toute information importante et doit divulguer l'information importante défavorable de manière aussi rapide et exhaustive que l'information favorable.

La relation entre le géologue responsable et le client doit être clairement identifiée et tout conflit d'intérêts doit être dénoncé. Le géologue doit faire preuve d'objectivité et ne doit permettre à aucune opinion technique non fondée ou une quelconque influence inappropriée d'influer sur les avis auxquels il contribue.

### 1.4 Définitions et acronymes

Les acronymes suivants sont utilisés dans le présent document :

ACNOR/CSA: *Association canadienne de normalisation/ Canadian Standards Association*

ASTM: *American Society for Testing of Materials*

BNQ : *Bureau de normalisation du Québec*

GCR : *Garantie pour la construction résidentielle*

MERQ : *Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec*

MTQ : *Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports*

### 1.5 Note importante concernant les méthodes d'essai et d'analyses

Il peut être difficile de reproduire les résultats de certains essais normés. Ceci est plus marquant pour des mesures telles l'examen pétrographique ou l'évaluation de phénomènes complexes tels les réactions alkalis. Ainsi, selon l'annexe B de la norme ACNOR/CSA A23.1-14, « *L'évaluation et l'essai rigoureux des caractéristiques de réactivité alcalis-granulats sont des tâches extrêmement complexes en raison de la nature subjective de certaines parties du travail, de l'effet d'écart relativement faibles par rapport aux méthodes d'essai normalisées et de la difficulté inhérente à la mesure de changements dimensionnels infimes dans les échantillons de béton ou de mortier.* »

Les méthodes en question devront évoluer rapidement pour prendre en compte les avancées technologiques en études minérales. En effet, des techniques répandues dans le monde minier permettent une évaluation quantitative fine des propriétés minérales avec une confiance nettement plus élevées que les méthodes normalisées citées dans le présent ouvrage.

## 2. Informations contextuelles

### 2.1 Les matériaux et leur utilisation

#### 2.1.1 *Granulats et géologie*

Les granulats naturels sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers ou des massifs rocheux. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production. La nature minérale du granulat détermine son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques.

Les granulats sont spécifiés par des caractéristiques intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, et par des caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production.

Les granulats naturels sont ainsi produits à partir de formations géologiques diverses par une variété de processus industriels d'excavation, de concassage, de tamisage, de lavage ou de mélange. À la source, que ce soit un banc de gravier ou un massif rocheux, les propriétés du matériau naturel en place varient dans l'espace en fonction des lithologies contraintes par la stratification, les variations de faciès, les structures et d'autres phénomènes géologiques.

Les granulats naturels les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les gneiss ou de roches ignées telles que les basaltes ou les granites. Indépendamment de leur minéralogie, on classe les granulats en deux catégories.

- Les granulats de roche meuble, produits par des phénomènes d'érosion, de transport et de déposition : ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses nuisibles au béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.
- Les granulats concassés, obtenus par abattage et concassage de rocher consolidé ce qui génère des formes angulaires : différentes phases de concassage et de criblage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées et de granulats propres. Les caractéristiques des granulats concassés dépendent de plusieurs paramètres : nature de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

Dans les dépôts sédimentaires, les propriétés des roches sont relativement constantes latéralement dans l'axe des strates sur des dizaines à des centaines de mètres alors que ces propriétés varient sur de courtes distances (cm) transversalement aux strates. Dans les massifs ignés ou métamorphiques, les variations peuvent être à toute échelle dans toute direction et il est souvent périlleux de considérer que les caractéristiques observées en un endroit s'étendent sur une grande distance.

Les [figures 1 et 2](#) illustrent la continuité et la variabilité des formations rocheuses et, de ce fait, la variabilité naturelle de la qualité du granulat pouvant être extrait d'une carrière.

Avant la caractérisation géologique d'un terrain, on ignore à la fois les propriétés des matériaux naturels en place et leur variation dans l'espace. Des observations directes sur le terrain sont nécessaires pour évaluer les propriétés des roches en place dans tous les cas.

Le travail du géologue est alors de préciser les propriétés des matériaux disponibles à un endroit et leurs variations dans l'espace afin d'en permettre une exploitation rationnelle.

Dans certaines circonstances, le géologue est aussi appelé à établir les propriétés du granulat hors de sa source, soit pour connaître la qualité du produit offert par une carrière ou pour évaluer son comportement dans le béton ou toute autre utilisation.





Figure 1 : Bancs de calcaires sub-horizontaux dans une carrière près de Montréal<sup>2</sup>



Figure 2 : Roches plissées avec évidences d'altération de sulfures en Beauce<sup>3</sup>

### 2.1.2 Les produits et leur utilisation

En vertu de la diversité des propriétés des matériaux en place et en fonction des marchés, l'exploitation d'une carrière permet souvent la mise en marché de plusieurs produits distincts. Les producteurs ont ainsi la possibilité de trouver un marché alternatif pour un granulat qui serait jugé inadapté pour une utilisation particulière.

---

<sup>2</sup> Notez la continuité horizontale avec les différences verticales entre les strates. *Remerciements à Pierre Bédard.*

<sup>3</sup> Notez les structures complexes avec des variations correspondantes des lithologies ; les sulfures contenus dans la roche s'oxydent et donnent des tâches de rouille sur les parois. *Remerciements à Robert Wares.*

La qualité d'un granulat est déterminée en fonction de l'usage prévu et des caractéristiques du matériau. Les caractéristiques sont déterminées en effectuant des essais normalisés sur des échantillons représentatifs. La représentativité des échantillons est déterminée en fonction de critères statistiques liés à la géologie du dépôt naturel.

Un matériau est donc jugé de qualité appropriée pour un usage donné lorsque la caractérisation ainsi effectuée donne des valeurs acceptables en fonction des critères établis. Ces critères sont établis soit par des organismes de normalisation ou par des utilisateurs.

Des normes de qualité spécifiques s'appliquent aux granulats pour chaque utilisation, néanmoins, le fait qu'un granulat diverge ou puisse être jugé « non-conforme » par rapport à une norme donnée ne signifie pas toujours que le granulat en question ne peut être utilisé pour l'usage désiré. En effet, les producteurs et utilisateurs du granulat peuvent modifier les mélanges ou les adjuvants entrant dans la fabrication du béton pour compenser certains défauts ou obtenir certaines propriétés recherchées. Ainsi, par exemple, on peut ajuster le mélange du béton en utilisant un ciment avec moins d'alcalins pour réduire les réactions alcalines si les granulats disponibles sont réactifs (dans certaines limites).

## 2.2 Le rôle du géologue

Le géologue est généralement appelé à faire des rapports ou donner des avis professionnels concernant les granulats pour béton dans deux situations distinctes qui ont néanmoins plusieurs démarches en commun, soit :

- l'évaluation de matériaux donnés (mandat de Type 1) ;
- l'évaluation d'une source de granulat et de ses produits soit dans le cadre d'un projet d'ouverture ou d'expansion de carrière, soit en application des exigences de la GCR, soit dans le cadre d'une transaction ou une succession visant le terrain (mandat de Type 2).

### 2.2.1 Mandat de Type 1 :

Les producteurs de granulats et de béton doivent faire évaluer les granulats à béton qu'ils produisent ou utilisent sur une base annuelle. Cette évaluation est confiée à des laboratoires d'essai qui sont appelés à analyser les échantillons représentatifs du granulat produit. De façon courante, c'est-à-dire avant l'entrée en vigueur de la présente directive, ces échantillons sont soit fournis par le producteur, soit prélevés par le laboratoire. Le mandat traditionnel du géologue est alors de compléter les essais physiques requis avec l'évaluation du potentiel alcalis-granulats et une analyse pétrographique sur des granulats grossiers ou fins. Les essais physiques sont réalisés individuellement sur chacun des calibres alors que l'évaluation du potentiel alcalis-granulats et l'analyse pétrographique sont réalisés sur un combiné des différents calibres.

### 2.2.2 Mandat de type 2 :

Le géologue reçoit des mandats pour l'agrandissement d'une carrière existante, la planification de l'exploitation ou un projet de carrière, l'évaluation d'une propriété, etc. Ce type de mandat entraîne des études substantielles de définition des ressources géologiques avec divers levés et forages complétés par un programme d'essais en laboratoire.

Ces mandats requièrent des budgets importants et peuvent inclure une étude hydrogéologique pour évaluer l'impact de l'exploitation sur l'eau souterraine ainsi que la préparation de la demande d'autorisation environnementale dans le cas de nouvelle carrière. Dans certaines situations, l'étude sera complétée par une analyse de la valeur des ressources disponibles.

Les études demandées par GCR<sup>4</sup> sont assimilées au Mandat de type 2.

---

<sup>4</sup> Pour le béton préparé sur place, utiliser des granulats provenant d'une carrière dont la pierre destinée au béton est reconnue par un géologue et testée en laboratoire en vertu d'un protocole de caractérisation des carrières.

## 2.3 Caractéristiques des granulats

Les granulats forment environ 70% de la masse du béton. Le choix des caractéristiques des granulats est déterminé par les contraintes mécaniques, physico-chimiques et esthétiques relatives au projet à réaliser et à la mise en œuvre du béton (maniabilité, enrobage, etc.). Les principales caractéristiques évaluées sont présentées sommairement ci-après.

Diverses observations et mesures et des essais en laboratoire permettent la caractérisation des granulats. Les granulats naturels sont décrits selon leur origine : soit sédimentaire, ignée, métamorphique ou alluvionnaire. On effectue une analyse pétrographique visant à identifier les lithologies et les minéraux constituants. Ces essais sont réalisés sur des échantillons prélevés afin d'assurer leur représentativité. Une partie des observations pourront être réalisées en carrière en examinant les faces et les piles de production. Certains essais sont réalisés systématiquement sur les granulats avant leur incorporation dans le béton.

### 2.3.1 Caractéristiques géométriques

#### Granulométrie

La granulométrie représente la distribution des dimensions des grains contenus dans un granulat. Elle est déterminée par tamisage et exprime le pourcentage massique de granulats passant au travers d'une succession de tamis. Elle est exprimée par les dimensions de tamis et les pourcentages de passants cumulés à travers les tamis successifs.

#### Forme (particules plates et allongées)

La forme d'une particule grossière est définie à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Une particule de forme cubique ou sphérique est idéale pour un granulat à béton. L'abondance de particules de forme allongée peut affecter les performances du béton en réduisant sa maniabilité et favorisant la ségrégation.

#### Texture superficielle des particules

La surface polie des particules peut réduire l'adhérence avec le ciment. Les particules de sables et graviers naturels peuvent avoir un très bon poli alors que les particules produites par concassage sont généralement rugueuses. Ce paramètre n'est pas normé au Canada.

### 2.3.2 Caractéristiques physico-chimiques

#### Propreté des granulats (impuretés)

Les granulats sont susceptibles de contenir des impuretés qui peuvent affecter les performances du béton. Les impuretés peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulat-pâte avec incidence potentielle sur la résistance du béton. Diverses impuretés sont à considérer selon la provenance du granulat. Les impuretés potentielles énumérées ci-après sont peu susceptibles de se trouver dans un granulat de roche concassée mais peuvent se trouver dans un granulat alluvionnaire. Les impuretés pouvant se trouver dans des granulats faits de matériaux recyclés ou de résidus ne sont pas abordées.

- Argile, silt et poussières : la présence de particules fines abondantes nuit à la mise en œuvre du béton et à ses performances finales en abaissant l'adhérence ciment/granulats.
- Les corps étrangers (lignite, charbon ou scories) vont réduire la résistance du béton.
- Matière organique : les matières organiques telles l'humus, l'huile et le sucre vont retarder ou même empêcher l'hydratation du ciment et retarder le durcissement du béton. Il est donc important d'éviter la contamination des granulats.
- Mica : la biotite et muscovite présents dans les roches métamorphiques et dans certains sables augmentent l'absorption en eau et affectent la résistance et la durabilité.
- Coquillages : des coquilles peuvent nuire à la maniabilité du béton.

### **2.3.3 Caractéristiques physiques et mécaniques**

Divers essais permettent de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats. On peut distinguer deux classes d'essais :

- *d'une part les essais visant à reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques ; ces caractéristiques sont donc spécifiées en fonction de l'usage ;*

#### **Résistance à l'usure**

Essai Micro-Deval : la résistance à l'usure est déterminée en présence d'eau dans un cylindre en rotation et vise à reproduire des phénomènes d'usure par frottement.

#### **Résistance à la fragmentation des granulats grossiers**

Essai Los Angeles : la résistance à la fragmentation est déterminée par chocs et à l'usure par frottements réciproques. L'essai consiste à culbuter un granulat dans un tambour contenant des boulets métalliques entraînant ainsi la production d'éléments fins.

#### **Résistance au polissage des granulats grossiers**

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement (pavage) pour lesquels on recherche une résistance au polissage élevée.

#### **Résistance des granulats grossiers au gel-dégel**

La vulnérabilité du granulat dans le béton à l'action du gel-dégel est fonction de sa nature, de son utilisation, des conditions climatiques et de la formulation du béton. La porosité du granulat (grès, calcaire poreux, etc.) peut permettre l'absorption d'eau menant à l'éclatement des particules à la surface du béton sous l'action du gel.

#### **Durabilité du granulat**

En alternative au test de gel-dégel, on peut tester la durabilité du granulat en observant la détérioration du matériau lors de la formation de cristaux de sulfate de magnésium dans les pores du matériau.

#### **Changement de volume du granulat**

Certains granulats réagissent de façon significative en gonflant en présence d'eau et en se fissurant lorsque secs et ces changements de volume peuvent entraîner une détérioration du béton qui en contiendrait. Notez que les fragments d'un matériel gonflant seront désagrégés dans une carrière.

- *d'autre part les essais qui visent à déterminer les caractéristiques du granulat afin de permettre au producteur de bien doser son mélange pour le béton.*

#### **Porosité**

La porosité est la proportion du volume des vides contenus dans les grains. La porosité des granulats courants est en général très faible mais est importante dans les granulats légers.

#### **Coefficient d'absorption d'eau**

Il est considéré que la résistance du béton sera plus élevée lorsque le matériau est moins absorbant. Des coefficients plus élevés sont acceptés en fonction du type de béton.

#### **Masse volumique apparente**

La masse par unité de volume du granulat sec dépend du tassement des grains et est comprise entre  $1400 \text{ kg/m}^3$  et  $1600 \text{ kg/m}^3$  pour les granulats silico-calcaires de roche meuble. La masse volumique réelle (excluant les vides entre les particules) est de  $2500$  à  $2800 \text{ kg/m}^3$ . Cette mesure permet une certaine vérification de la régularité minéralogique des matériaux et est utile au calcul des rendements volumiques des formules de béton.

### **2.3.4 Caractéristiques chimiques**

Outre les propriétés physiques des granulats, diverses caractéristiques chimiques sont à considérer en vue de l'utilisation d'un granulat dans le béton.

### Réactivité aux alcalis

Dans des conditions défavorables et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcali-réaction peuvent provoquer un gonflement du béton. Différentes réactions impliquant les granulats siliceux avec des hydroxydes alcalins peuvent survenir. Il faut que les granulats renferment des matériaux réactifs, qu'une quantité suffisante d'alcalins soit présente dans le ciment et que la teneur en humidité du béton soit suffisamment élevée pour entretenir la réaction.

La réaction alcali-granulats entraîne l'apparition de fissures et gonflement dans les ouvrages de béton. Elle est principalement causée par la réaction de la silice dans le granulat et dépend de la minéralogie de la silice qui doit pouvoir se dissoudre dans le béton. Elle est favorisée par certains minéraux (calcédoine, opale, cristobalite, verre (recyclage)) ou des faiblesses structurales dans le quartz (microcristallin ou quartz à extinction roulante).

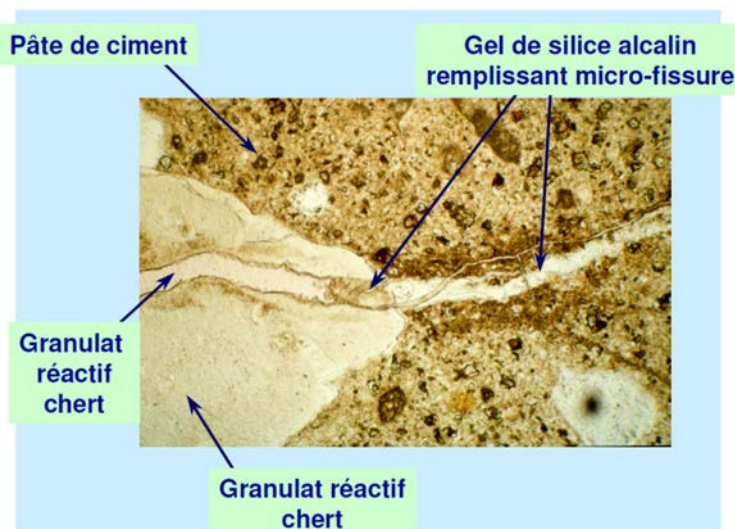


Figure 3 : Illustration de la réaction alcali-béton

La réactivité ne peut être prédite avec certitude par la pétrographie, il est donc nécessaire de confirmer le risque par des essais de laboratoire selon la norme CSA.

### Procédure

La procédure à suivre comportera les éléments suivants après l'étude de la géologie de la carrière, le prélèvement d'échantillons représentatifs et l'examen pétrographique :

- Évaluation du potentiel de réaction ALCALI-CARBONATE par analyse chimique (CSA A23.2-26A) ; en cas d'échec du test (analyse indiquant un potentiel de réaction), pour ne pas avoir à rejeter le granulat, trois alternatives peuvent permettre d'utiliser le granulat sous certaines conditions:
  - mesures préventives: CSA A23.2-27A;
  - test avec ajouts cimentaires : CSA A23.2-28A;
  - voir TEST avec BÉTON
- Évaluation du potentiel de réaction ALCALI-SILICE par test accéléré avec mortier (14 jours, CSA A23.2-25A); en cas d'échec, le résultat est jugé non-concluant et on procède au TEST avec BÉTON.
  - TEST avec BÉTON (38° C; 420 kg/m<sup>3</sup> 1 an, CSA A23.2-14A)
  - TEST avec BÉTON MODIFIÉ (cendres volantes, fumée de silice, laitier. 38°C; 420 kg/m<sup>3</sup>, 2 ans, CSA A23.2-14A modifié)

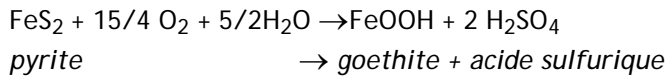
Le TEST avec BÉTON prévaut sur le test avec mortier et un granulat qui passe le test est jugé non-réactif alcali-carbonates ou alcali-silice.

### Sulfures et sulfates<sup>5</sup>

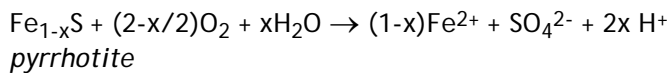
Les sulfates ou les sulfures peuvent être à l'origine de phénomènes de gonflement ou de taches. Divers sulfures sont observés dont le plus commun est la pyrite. La pyrrhotite s'observe dans les roches ignées ou métamorphiques et est très réactive. D'autres sulfures peuvent être observés qui sont généralement moins réactifs que la pyrite. Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène.

Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement. Les réactions sont les suivantes :

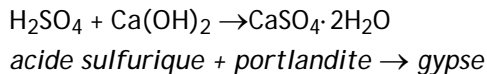
#### *Oxydation de la pyrite*



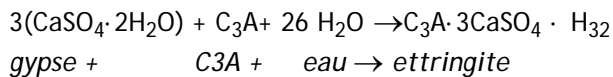
#### *Oxydation de la pyrrhotite*



#### *Réaction avec la portlandite*



#### *Formation d'ettringite secondaire*



Les produits les plus fréquemment rencontrés sont la rouille (goethite (FeOOH), limonite (FeO(OH)<sub>n</sub>H<sub>2</sub>O), le gypse (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) et l'ettringite (C<sub>3</sub>A·3CaSO<sub>4</sub>·H<sub>32</sub>).

L'oxydation et la transformation des sulfures seront plus ou moins rapides en fonction de facteurs tels la nature des sulfures, la matrice du béton et les conditions d'exposition. L'oxydation des sulfures se traduit généralement par l'apparition de taches de rouille et par divers phénomènes de gonflement qui peuvent entraîner la fissuration du béton.



Figure 4 : Fissuration d'une structure de béton par réaction de pyrrhotite.

Il faut aussi limiter la teneur en sulfates qui, outre le risque de gonflement du granulat, peuvent réagir avec les aluminates du ciment ou perturber la prise et les actions des adjuvants<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Nous remercions Mme Josée Duchesne, ing., PhD, professeur titulaire à l'université Laval pour les équations et la photo de cette section.

### Teneur en chlorures

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures. La teneur tolérée en chlorures issus de l'ensemble des constituants du béton est donc limitée<sup>7</sup>. Il s'agit principalement du chlorure de sodium pouvant être présent dans les roches sédimentaires (peut parfois être éliminé par lavage).

### Oxydes métalliques

Certains oxydes métalliques<sup>8</sup> vont affecter le temps de prise du béton.

## 2.4 Les normes de qualité<sup>9</sup>

Des normes peuvent s'appliquer aux caractéristiques et seuils de performance de certains matériaux ou produits. Les normes peuvent aussi définir les exigences ou spécifications techniques auxquelles doivent satisfaire les méthodes de travail requises dans le cadre d'un projet, comme, par exemple, certaines terminologies, conventions, signes ou symboles.

Les normes sont révisées au besoin pour tenir compte de nouvelles connaissances ou de l'évolution technologique. Certaines normes sont regroupées dans des codes tels que le Code national du bâtiment, ou publiées par les organismes de normalisations tels le BNQ, ACNOR ou CSA, ASTM. Au Québec, les normes applicables aux granulats et au béton sont publiées par le BNQ, l'ACNOR et le MTQ.

Chaque norme de qualité est une convention qui évolue dans le temps et, sauf exception, les normes en vigueur au Canada sont bien établies pour la plupart des usages des granulats et les géologues peuvent s'y référer lors de l'évaluation d'une carrière ou d'un granulat.

### 2.4.1 Les sulfures dans les granulats

Les normes sur les teneurs en sulfures dans les granulats utilisés dans la confection du béton sont présentement en révision. Ainsi, la norme ACNOR/CSA A23.1-14 discute de l'impact des sulfures dans les granulats à béton dans la nouvelle annexe P et introduit les valeurs limites de la norme européenne. Notons cependant que l'annexe P est optionnelle.

Pour pallier aux aléas d'une telle norme optionnelle en considération des dommages importants attribuables aux sulfures dans les granulats à béton, la présente directive stipule que, jusqu'à ce que de nouvelles normes soient agréées, les géologues doivent considérer les teneurs en sulfures comme suit :

- Teneur en soufre : en se référant à la norme européenne (*AFNOR norme NF EN 12 620*), on limitera la teneur en soufre à 1% de la masse du granulat. Toutefois, en présence de pyrrhotite, il faudra rejeter le matériel si la teneur en soufre dépasse 0.1%. Comme on suppose que tout le soufre est présent sous forme de sulfures, la méthode offre une certaine marge de sécurité.

---

<sup>6</sup> Pas de norme canadienne, mais une norme existe en Europe (EN-1744)

<sup>7</sup> Idem

<sup>8</sup> Idem

<sup>9</sup> NOTE : sauf exception, en particuliers pour les sulfures, les normes de qualité des granulats pour le béton ne sont pas absolues et des divergences peuvent être tolérées pour certains paramètres. Les raisons en sont :

1. le béton est fabriqué par le mélange de plusieurs intrants pour des usages multiples. Le fabricant de béton peut utiliser un granulat apparemment non conforme si l'usage ultime du béton le permet ou s'il peut compenser certaines caractéristiques par les autres composés du mélange.
2. les connaissances sur le comportement du béton et des granulats ainsi que les méthodes d'essais utilisées sont largement empiriques. Ainsi, malgré les connaissances abondantes sur les phénomènes de détérioration des bétons, vu la complexité pouvant résulter de la constitution des granulats (minéralogie, texture, structure, etc.) et leur interaction avec la pâte cimentaire, il n'existe pas d'approche analytique permettant de prédire rigoureusement le comportement d'un béton quelconque.

### 3. Caractérisation d'une carrière

#### 3.1 Objectifs

L'objectif général de la caractérisation d'une carrière est de fournir à l'opérateur les informations requises pour l'aider à produire une certaine quantité de granulat de qualité donnée pour une période donnée. Accessoirement, une telle caractérisation pourra servir à fournir les documents requis en appui à une demande de certification de ses produits.

Une telle activité est semblable à la caractérisation de tout gisement minéral en vue de son exploitation ou durant l'exploitation d'une mine.

Dans d'autres contextes, la caractérisation du terrain pourrait viser à établir les réserves disponibles d'une carrière et par extension la valeur de la propriété. Le géologue peut aussi être appelé à intervenir, par exemple, dans le cadre d'une demande d'autorisation environnementale ou pour aider à l'assèchement de la fosse.

#### 3.2 Démarche de caractérisation d'une carrière

La caractérisation d'une carrière en appui à la production de granulat implique une démarche méthodique avec diverses étapes et activités de collecte de données et d'analyse. Ces diverses étapes et activités relèvent de pratiques établies au sein de la profession et, à l'exception des essais requis, ne sont généralement pas spécifiques au secteur des granulats. Néanmoins, un bref rappel des diverses étapes et activités à considérer est présenté dans ce qui suit afin d'informer toutes les parties concernées.

À la lumière de la diversité des situations des carrières visées, le géologue a la responsabilité de choisir les activités effectivement requises. Ainsi, la tâche et les données à recueillir varieront substantiellement en fonction :

- du statut de l'exploitation (carrière existante ou projetée) ;
- des informations disponibles (est-ce qu'une évaluation géologique a déjà été faite ?) ;
- de la complexité géologique ou de la présence de substances délétères.

Les tâches à faire dans un dossier donné seront établies par le géologue en collaboration avec son client et seront précisées dans le mandat confié au géologue.

De façon simplifiée, quatre types d'intervention sont à prévoir dans le contexte de la caractérisation d'une carrière de granulat :

- a) l'évaluation d'un terrain en vue de l'implantation éventuelle d'une carrière ;
- b) l'évaluation d'une carrière en exploitation qui n'a jamais fait l'objet d'une évaluation géologique exhaustive ;
- c) l'évaluation périodique d'une carrière déjà évaluée en vue de la planification de la production pour une période donnée ;
- d) l'évaluation ponctuelle d'une carrière afin de corriger un problème ou dans le but d'un changement de production.

#### 3.3 Planification et étapes de caractérisation

Si aucune évaluation géologique n'a été faite au préalable, il pourra être opportun de procéder à l'évaluation géologique en deux étapes. La première étape viserait la collecte de l'information régionale afin d'évaluer l'opportunité du projet d'exploitation et ensuite préparer un programme de travail permettant de recueillir toute l'information nécessaire.

Ainsi, selon les besoins du projet, les étapes de la démarche de caractérisation viseront d'abord l'acquisition de diverses informations, soit :

- information régionale ;
- géologie de la carrière ;
- données d'exploitation.



Par la suite, le géologue procédera à la visite de la carrière et à l'échantillonnage des matériaux de la carrière en vue de la réalisation d'essais de laboratoire.

### **3.3.1 Acquisition de l'information régionale**

Lors de l'évaluation d'une carrière le géologue doit obtenir un minimum d'informations sur le contexte régional. L'information peut être obtenue via cartes et rapports géologiques régionaux, photos aériennes, SIGÉOM et Examine (systèmes en ligne du MERNQ), etc. Il portera attention aux éléments suivants :

- Potentiel de présence de matières délétères (par exemple les sulfures);
- Informations sur les carrières avoisinantes ;
- Historique des problèmes de qualité dans la région si disponible.

Cette information permettra au géologue d'évaluer la complexité géologique du site de la carrière à l'étude ainsi que les risques de substances problématiques.

### **3.3.2 Géologie de la carrière**

Le deuxième volet consiste en l'acquisition des données concernant la carrière. Ces données peuvent être obtenues par une recherche bibliographique et directement du producteur dans le cas d'une carrière déjà caractérisée.

Les informations locales préalables ou à collecter concernent : la cartographie locale ; la géologie du site (lithologie, stratigraphie, structures, zones de déformation et altérations, etc.) ; les résultats des sondages et analyses. Dans certains cas, il faudra prévoir des sondages pour ausculter le terrain dont l'exploitation est prévue. En l'absence de sondages ou d'autres formes d'observation directe des lithologies présentes, il peut être hasardeux de planifier l'exploitation d'un secteur donné. De façon générale, il ne peut être justifié de procéder sans sondages que si l'évidence de continuité géologique est prépondérante.

### **3.3.3 Données d'exploitation**

Les informations sur une exploitation existante seront obtenues par des entrevues et questionnaires directement du producteur<sup>10</sup>. Les informations à collecter ou colliger concernent ainsi :

- Exploitation :
  - Limites de propriété et permis d'exploitation
  - Plan d'exploitation
  - Méthode d'exploitation
  - Description des procédés pouvant affecter l'homogénéité des produits
  - Modèle de bloc si existant
  - Inventaires des piles et stocks
- Produits
  - Produits et marché de la carrière
  - Variabilité dans les produits
  - Historique de la production
  - Historique d'utilisation
  - Plaintes clients
- Contrôles de qualité
  - Pétrographie/Minéralogie
  - Résultats d'analyses de la production
  - Méthodes d'échantillonnage

### **3.3.4 Visite de la carrière**

La visite de la carrière vise à comprendre la géologie, à confirmer les données, à estimer la variabilité de la qualité de la roche en place et à vérifier la présence de substances

---

<sup>10</sup> Un questionnaire typique est proposé en annexe

problématiques dans les zones de production. La visite pourra se concentrer sur les zones actives de la carrière et devrait comprendre une reconnaissance banc par banc. Si des forages carottés sont disponibles, l'examen des carottes avec consultation des journaux de sondages devrait être fait au préalable. Une attention particulière sera portée aux zones de déformation (failles, plis), aux changements de lithologie, aux contacts entre les lits ainsi qu'aux cavités, joints et diaclases plus susceptibles de recéler des substances délétères.

Il est recommandé d'organiser la visite à la suite de tirs de production dans la carrière pour faire l'examen du matériel abattu ainsi que faire l'observation des plans de faiblesses du massif rocheux (ceci facilite la détection de minéraux délétères). Les piles de production devraient également être examinées de façon à évaluer la variabilité des matériaux.

La visite de carrière devra impérativement cibler toute anomalie ou problème identifié lors de l'étude préalable des informations disponibles sur la carrière. Elle devra comprendre une inspection de chaque banc en opération et une vérification de leur concordance avec les connaissances sur la stratigraphie ou la lithologie. La proportion de chacun des bancs entrant dans la composition d'un produit devrait être définie.

L'inspection des zones prévues d'exploitation pour l'année en cours est essentielle afin d'établir la présence de structures (failles, diaclases, cavités), ou d'unités géologiques (intrusifs, strates, sills et dykes) pouvant introduire des matières délétères ou des variations de qualité trop grandes dans le produit.

La visite combinée à la compilation des informations devrait permettre d'estimer la variabilité du matériel produit. Cette étape vise également à planifier l'échantillonnage du matériel selon les bancs de production de façon à assurer la représentativité des échantillons à recueillir.

### ***3.3.5 Échantillonnage***

Des échantillons représentatifs des produits de la carrière sont recueillis pour réaliser des analyses pétrographiques ou physico-chimiques en laboratoire. L'échantillonnage des granulats à béton (masses minimales et méthodes acceptables) est largement décrit dans la norme ACNOR/CSA A23.2-1A. Le texte qui suit donne un aperçu général des procédures.

La masse et le nombre des échantillons à prélever dépendent de la dimension des plus gros fragments à échantillonner et ainsi que de la variabilité des propriétés des roches en présence dans la carrière.

La présence de plusieurs lithologies ou d'accidents structuraux se traduit par une variabilité plus grande du matériel en place. Cette variabilité peut d'abord être qualifiée à partir des observations sur la répartition des diverses lithologies et pourra ensuite être quantifiée à partir d'analyses physico-chimiques. Si la variabilité du matériel est importante, un programme d'investigation approprié devra être réalisé afin de bien caractériser les matériaux en place en vue de leur exploitation rationnelle. Un tel programme comprendra un plan d'échantillonnage et un programme d'analyses conçus en fonction des informations détaillées recueillies au préalable ainsi que des observations faites lors de la visite de la carrière.

Pour les carrières sur plusieurs paliers, chaque palier devra faire l'objet de ces évaluations.

#### ***Échantillonnage de piles***

Dans une carrière en exploitation, l'échantillonnage se fait généralement sur les piles de production avec un équipement mécanique. Comme différents phénomènes de ségrégation affectent les piles, on évitera de prélever les gros fragments qui se retrouvent à la base de la pile ainsi que la partie superficielle de chacune des piles à échantillonner.

Il est néanmoins très difficile d'obtenir un échantillon représentatif d'une pile. Un compromis acceptable consiste à utiliser un engin de production pour étendre la partie de la pile que l'on

désire échantillonner de façon à la ramener en deux dimensions et ensuite prélever des sections à intervalles réguliers. Si l'information préalable indique que le matériel des piles de production est variable, plusieurs échantillons devront être préparés à partir de piles distinctes afin d'obtenir un échantillonnage effectivement représentatif du matériel pouvant être produit dans la carrière et mieux évaluer la variabilité.

#### *Échantillonnage en production*

Si l'opération le permet, le prélèvement de matériel sur le convoyeur, soit par un système mécanique adéquat recoupant l'ensemble du flot de matières, soit en prenant une tranche complète sur convoyeur arrêté, pourrait permettre de mesurer la variabilité d'une zone d'exploitation par le prélèvement d'échantillons à intervalles réguliers. Cette méthode permet de mesurer la variabilité d'une zone précise.

#### **3.3.6 Sécurité des personnes**

Toute activité sur le site d'une carrière, que ce soit une visite ou le prélèvement d'échantillons, comporte des risques liés à la configuration des lieux (pentes raides, piles instables, etc.), aux opérations (machinerie en mouvement, machines fixes telles convoyeurs ou concasseurs) ou à l'activité même (mesure de paroi ou prélèvement d'échantillon). Ces activités doivent donc être planifiées et réalisées en prenant toutes les mesures préventives requises pour minimiser les risques d'accidents.

### **3.4 Travaux de laboratoire**

#### **3.4.1 Descriptions pétrographiques**

L'évaluation du nombre pétrographique et des descriptions pétrographiques sont effectuées pour déterminer la qualité du granulat. Ces descriptions seront réalisées sur les échantillons préparés : soit tels que reçus, saturés en eau ainsi que sur les lames minces polies. Ces descriptions seront réalisées pour tout matériel entrant dans la composition du béton.

Les échantillons sont décrits tel que reçus au laboratoire. En présence de carbonates potentiellement argileux, une partie de l'échantillon sera submergé (pour une durée de 8 heures) et lavé à l'eau pour une description plus complète à l'aide d'une binoculaire. Les échantillons bruts pourront être concassés et ensuite être quartés de façon à en réduire le volume.

Le nombre pétrographique et la description lithologique devront être réalisés sur l'ensemble des échantillons et pour toutes les fractions granulométriques. On tiendra compte du matériel qui s'est désagrégé dans l'eau.

Si la structure géologique est simple et la lithologie homogène, seules quelques lames minces ou sections polies pourront être requises. Toutefois si la géologie (lithologie ou structure) est complexe, le géologue déterminera le nombre d'échantillons à examiner pour bien caractériser les matériaux présents dans la carrière. Les fragments utilisés pour l'analyse pétrographique seront sélectionnés à partir des échantillons représentatifs.

L'analyse pétrographique doit être réalisée selon ACNOR/CSA A23.2-15A en tenant compte des annexes B et P de ACNOR/CSA A23.2-14. Les teneurs en pyrite et pyrrhotite seront évalués au microscope sur les sections polies en lumière réfléchie.

#### **3.4.2 Essais physico-chimiques**

##### **Généralités**

La caractérisation d'un granulat est complétée par une série d'essais visant à préciser diverses propriétés du matériau afin de déterminer sa compatibilité avec les usages proposés et à fournir les informations nécessaires pour faire les mélanges. Les carrières en production devraient avoir en main les résultats des essais pertinents faits antérieurement pour leurs différents produits.

### Certification des usines à béton au Québec

Dans le cadre de la certification annuelle, les usines à béton réalisent des séries d'essais et les granulats utilisés doivent satisfaire aux valeurs limites indiquées au tableau 1.

Tableau 1. Valeurs limites : substances nuisibles et propriétés physiques des granulats<sup>11</sup>

Norme ACNOR/ CSA	Propriété	Granulat fin	% maximal de la masse de l'échantillon Gros granulat	
			Béton soumis au gel-dégel	Autres conditions d'exposition
<b>Exigences fondamentales</b>				
A23.2-3A	Mottes d'argile*	1,0	0,3	0,5
A23.2-4A	Constituants granulaires de faible densité*	0,5	0,5	*
A23.2-5A	Particules fines passant le tamis 80 µm	3,0*	1,0*	1,0*
A23.2-13A	Particules plates et allongées			
	Procédure A, rapport 4:1, ou		20	20
	Procédure B			
	Particules plates		25	25
	Particules allongées		45	45
	Particules allongées (chaussées et bétons à haute performance)		40	40
A23.2-23A	Essai micro-Deval*	20	17	21
A23.2-29A				
A23.2-24A	Essai de gel-dégel non confiné*		6	10
A23.2-16A	Perte à l'impact et à l'abrasion*		50	50
A23.2-17A				
<b>Exigences alternatives*</b>				
A23.2-9A	Perte à l'essai MgSO <sub>4</sub>	16	12	18

#### 3.4.3 Analyse des sulfures

La teneur en soufre total doit être déterminée avec un four à induction selon l'annexe P de ACNOR/CSA A23.2-15A sur un échantillon préparé selon NQ 2560-500. La préparation des échantillons pour l'analyse du soufre se fera sur un matériel non tamisé et non lavé selon la séquence suivante :

1. concassage à moins de 5 mm;
2. broyage à moins de 315 µm;
3. pulvérisation à moins de 80 µm d'un sous-échantillon de 80 g.

On calcule l'équivalent-pyrite à partir de la teneur mesurée de soufre total en supposant que la totalité du soufre provient de la pyrite. L'analyse en section polie permet de définir les proportions des divers sulfures en présence et en particulier la pyrite et la pyrrhotite (d'autres sulfures moins réactifs pourraient être présents tels chalcopryrite, galène, sphalérite, etc.). La teneur en pyrrhotite peut donc être évaluée.

<sup>11</sup> Informations tirées du *Tableau 12, Norme ACNOR/CSA A23.1-14, Béton : Constituants et exécution des travaux, 2015*. Veuillez référer au document source pour les notes et les commentaires relatifs aux divers paramètres. Un astérisque (\*) indique que des notes existent dans la source citée.

### 3.5 Traitement et qualité des données

#### 3.5.1 Assurance et contrôle de qualité

Il importe d'assurer qu'un protocole d'assurance et de contrôle de qualité adéquat soit suivi tout au long d'un projet de caractérisation d'un granulat ou d'une source de granulat.

Sans en décrire tous les détails, un tel protocole comprendra les éléments suivants :

1. réalisation des prélèvements sous le contrôle du géologue ;
2. documentation du contrôle et assurance qualité au laboratoire pour les divers essais réalisés ;
3. prise en compte des résultats du contrôle de qualité.

#### 3.5.2 Traitement des données

Les données collectées dans le cadre de la caractérisation d'une source de granulat sont sujettes à plusieurs facteurs de variation :

1. variations analytiques ;
2. ségrégation dans les piles ;
3. variation géologique (soit variation spatiale dans le matériau en place) ;
4. variation temporelle (soit variation notée dans les produits d'une carrière dans le temps, peut résulter d'une combinaison des trois facteurs précédents).

Un bon contrôle de qualité devrait permettre de minimiser les facteurs 1 et 2. Quoi qu'il en soit, la variabilité des données de qualité recueillies seront évaluées afin de pouvoir statuer sur les qualités à espérer du granulat à produire à partir d'une portion définie de la carrière selon un procédé donné. Si les données ne permettent pas d'arriver à une telle détermination, des avis appropriés seront produits.

Diverses statistiques peuvent être produites pour décrire la qualité d'un granulat à partir des essais effectués. Les normes stipulent certains critères d'acceptabilité en fonction de ces statistiques descriptives. Dans le cadre de la caractérisation d'une carrière on s'intéresse particulièrement à l'impact de l'échantillonnage en vrac (en piles). On fait alors appel à la formule (ou méthode) de Gy<sup>12</sup> pour statuer sur la qualité ou la fiabilité de l'échantillonnage.

Dans un cadre de planification d'une exploitation à plus long terme, les approches utilisées en exploration minérales sont préconisées en faisant appel aux géostatistiques pour caractériser les qualités du matériau dans l'espace avant son exploitation.

---

<sup>12</sup> Gy , P. ,1979 , "Sampling of particulate materials. Theory and practice", Elsevier, Amsterdam, 431 p.

## 4.0 Rapport

Le rapport vise à présenter :

- a) le travail effectué, l'information recueillie sur la carrière, la qualité observée des granulats produits ; et
- b) les recommandations du géologue quant à l'exploitation de la carrière ou les granulats produits.

Une attention particulière sera portée à présenter les risques d'utiliser dans le béton le granulat produit.

Le rapport devra présenter l'ensemble des travaux effectués avec emphase sur la pétrographie et l'analyse chimique. Le rapport doit indiquer aux opérateurs de la carrière les problèmes potentiels de qualité notés (par exemple, les risques de concentrations de sulfures dans certaines lithologies).

En raison de la variabilité spatiale des propriétés des matériaux géologiques, le rapport doit indiquer clairement la portion du terrain dont l'évaluation a été faite avec confiance afin de préciser les endroits d'où un granulat de qualité donnée pourra être produit dans la période subséquente. Le cas échéant, les modalités de production nécessaires à obtenir ce granulat à partir de ces endroits seront indiquées dans le rapport.

Le rapport devra aussi traiter de façon distincte de la variabilité de la qualité du matériau en place dans les diverses zones en exploitation et de la présence de substances délétères telles le soufre pouvant mener au rejet du granulat. Si des unités ou structures pouvant introduire des matières délétères ou des variations de qualité trop grandes dans le produit sont détectées, le géologue devra en aviser le producteur afin que l'exploitation des zones concernées soit adaptée pour assurer la qualité du granulat produit. Au besoin, le géologue pourrait recommander soit de ne pas exploiter un secteur, soit de ségréguer le matériau pouvant contenir les matières délétères éventuellement excavé.

Il est recommandé de structurer un rapport d'évaluation de carrière comme suit :

*Introduction : mandat du professionnel et identification des parties impliquées*

*Méthodologie : description du travail effectué et des méthodes utilisées*

*Résultats : présentation des informations recueillies comprenant, le cas échéant :*

*Contexte géologique régional*

*Description sommaire de l'exploitation, incluant historique*

*Identification des secteurs d'exploitation visés par l'évaluation*

*Description de la géologie des secteurs visés*

*Données d'essais ou analyses recueillies*

*Conclusions et recommandations<sup>13</sup>*

*Avis sur la qualité éventuelle des granulats en fonction des produits visés*

*Mises en gardes appropriées quant aux problèmes de qualité observés*

*Recommandations pour l'exploitation, le cas échéant*

*Recommandations pour le suivi d'exploitation*

*Références : rapports consultés et autres sources le cas échéant*

*Annexes : rapports et descriptions de sondages, rapports de laboratoires, rapports d'autres professionnels, etc.*

---

<sup>13</sup> Un géologue ne peut limiter la portée de ses observations ou conclusions sauf s'il précise les limites du travail effectué en termes de limites spatiales, de limites de moyens ou de facteurs d'incertitudes qui devraient être quantifiées.

## Annexe

### *Questionnaire pour le producteur*

Des informations complètes et exactes fournies par l'exploitant permettront de compléter l'évaluation de la carrière de façon plus expéditive et à moins de frais.

Chaque géologue est responsable de préparer le questionnaire à être complété par un représentant de l'exploitant de la carrière. L'énumération qui suit présente les éléments qui devraient normalement être inclus dans un tel questionnaire. On doit répondre à toutes les questions, sinon, des explications doivent être fournies.

---

#### **Identification**

Nom de l'entreprise :

Répondant et fonction :

Coordonnées pour correspondre (adresse et téléphone)

#### **Localisation**

Nom de la carrière :

Adresse civique de la carrière :

Localisation de la carrière (UTM et NAD 83 ou Latitude et Longitude) :

#### **Produits de la carrière**

Types de granulats produits et tonnages annuels respectifs :

Quel marché est desservi par la carrière? (régions où les produits de la carrière sont écoulés) :

Est-ce que l'entreprise possède une certification DB (Dalle de Béton) selon la norme NQ 2560-500 pour un ou des produits de la carrière?

Est-ce que l'entreprise a reçu des plaintes concernant la pyrite, la pyrrhotite, les sulfures ou tout autre problème de qualité ?

#### **Informations techniques**

Est-ce que la carrière a déjà fait l'objet d'une évaluation géologique ? Si oui, fournir.

Comment sont composés les produits (unités rocheuses définies, mélange ou proportion) ?

Est-ce que des failles ou de zones d'oxydation ont été observées dans la carrière ?

Est-ce que la présence de pyrite ou de pyrrhotite a été observée dans un des produits ?

Est-ce que des produits ont été rejetés lors des contrôles de qualités ? Si oui à quelle occasion?

**Déclaration solennelle du répondant attestant la véracité des informations fournies ainsi que l'absence d'omission.**