

ET 2003-02

NOMENCLATURE ET DESCRIPTION DES FACIES DES ROCHES POUR DETERMINER L'INDICE PETROGRAPHIQUE
DU POTENTIEL DE GONFLEMENT (IPPG)

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 

Nomenclature et description des faciès des roches pour déterminer l'indice pétrographique du potentiel de gonflement (IPPG)

Jean Beaulieu



Granulats de calcaires et de shales avec cristaux de pyrite et de gypse.

Nomenclature et description des faciès des roches pour déterminer l'indice pétrographique du potentiel de gonflement (IPPG)

Jean Beaulieu¹

ET 2003-02

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, des centaines de bâtiments résidentiels et commerciaux sont endommagés par des problèmes de gonflement attribuables à des réactions chimiques dans les matériaux granulaires concassés utilisés comme remblais sous les dalles de béton (appelé communément « *le problème de la pyrite* »). Depuis 1997, une méthodologie d'essai de caractérisation de ces matériaux granulaires, connue sous le nom de « indice pétrographique du potentiel de gonflement (IPPG) », a été établie et utilisée par les géologues et ingénieurs dans le but d'évaluer et de prévenir ces problèmes de gonflement des remblais.

Cette méthodologie est basée sur l'identification des différents faciès pétrographiques (lithologies) qui composent un remblai granulaire. Une valeur absolue qui varie de 0,0 à 1,0 est attribuée à chaque faciès pétrographique en fonction de son potentiel de gonflement. Cette valeur est appelée « indice pétrographique (IP) » et le cumulatif pondéré des valeurs des différents faciès pétrographiques permet d'évaluer le gonflement potentiel (IPPG) d'un remblai.

La méthodologie utilise une nomenclature des faciès pétrographiques qui est empirique et visuelle. L'identification de ces faciès, dont la grande majorité sont des roches sédimentaires, est souvent qualitative et subjective. Cette identification influence donc directement les valeurs des indices pétrographiques (IP) utilisées dans la détermination de l'IPPG.

Nous passons en revue les nomenclatures classiques qui s'appliquent aux roches sédimentaires. Nous caractérisons chaque faciès pétrographique avec des descriptions macroscopiques et microscopiques qui sont illustrées par de nombreuses photographies. Nous suggérons des équivalences entre les nomenclatures classiques utilisées dans le monde scientifique et la nomenclature empirique des faciès pétrographiques. Enfin, cette étude se veut surtout un outil et un guide d'identification d'usage pratique à l'intention de tous les professionnels oeuvrant dans le « *domaine de la pyrite* ».

¹École Polytechnique de Montréal

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction

Alain Simard

Service géologique de Québec

Pierre Verpaelst

Responsable des études géoscientifiques

Pierre Verpaelst

Lecture critique

André Brazeau ing.

Édition et mise en pages

Denis L. Lefebvre ing.

Supervision technique

Charlotte Grenier

Document accepté pour publication le 2003/07/14

INTRODUCTION	5
Contexte	5
Objectifs	6
Méthodologie	6
MÉCANISMES DE RÉACTION ET DE GONFLEMENT	6
Pyrite	7
Réactions chimiques	7
Lithologies associées	7
NOTION SUR LES ROCHES SÉDIMENTAIRES	8
Quelques définitions	8
Sédiment	8
Roche sédimentaire	8
Nature des constituants d'une roche sédimentaire	8
Fraction terrigène	8
Fraction allochimique	8
Fraction orthochimique	8
Définitions du terme argile	9
NOMENCLATURES CLASSIQUES	9
Nomenclature des roches terrigènes	9
Pélites (<i>mudrocks</i>)	10
Roches carbonatées	11
Allochèmes	12
Micrite	12
Sparite	12
Classification des roches carbonatées de Dunham (1962)	12
Classification des roches carbonatées de Folk (1959)	13
NOMENCLATURE ET DESCRIPTION DES FACIÈS PÉTROGRAPHIQUES	14
Introduction	14
Instruments	14
Shale (SH)	15
Pélite argileuse (PA)	15
Microgrès argileux (MGA)	16
Calcaire argileux(CA) et dolomie argileuse (DA)	16
Calcaire (dolomie) avec placage argileux (CPA) (DPA) et calcaire (dolomie) avec placage argileux mince (CPAM) (DPAM)	17
Calcaire (dolomie) à grain fin non argileux (CGF, DGF)	18
Calcaire cristallin(CC) et dolomie cristalline (DC)	19
Schiste micacé (SM)	20
Cornéenne (C)	20

ÉQUIVALENCES ENTRE LES NOMENCLATURES	20
CONCLUSION	21
REMERCIEMENTS	21
RÉFÉRENCES	22
ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES 1 À 56	24
ANNEXE 2 : ANALYSES CHIMIQUES	38

INTRODUCTION

Contexte

Depuis quelques années, des centaines de bâtiments résidentiels et commerciaux de la région de Montréal sont endommagés par des problèmes de gonflement attribuables à des réactions chimiques dans les matériaux granulaires concassés utilisés comme remblais sous les dalles de béton (appelé communément « *le problème de la pyrite* »). L'oxydation de la pyrite dans les remblais, qui amène à la cristallisation de minéraux sulfatés comme le gypse, résulte en un gonflement du remblai et un soulèvement de la dalle de béton entraînant des dommages structuraux aux résidences.

Le problème de gonflement sur socle rocheux est connu depuis plusieurs années. Penner *et al.* (1970), Quigley *et al.* (1973) dans la région d'Ottawa et Bérubé *et al.* (1986) dans la région de Québec ont décrit et expliqué des problèmes de soulèvement de bâtiments reposant directement sur un roc en place composé de shales. Penner *et al.* (1975) émettaient l'hypothèse que les shales, une fois concassés, pourraient entraîner aussi des problèmes de soulèvement. Côté (1990) a démontré, par des simulations en laboratoire, les mécanismes de gonflement de matériaux granulaires concassés composés de shales et les relations qui existent entre la pyrite, les shales, les roches carbonatées et le gypse. De 1997 à 2002, il y a eu quatre colloques scientifiques sur les shales pyriteux et les problèmes de gonflement organisés par l'*Association of Engineering Geologists (AEG)*, section de

Montréal. Ces colloques présentaient les résultats de différents travaux de recherche associés au problème des remblais gonflants comme les essais de caractérisation des matériaux, le développement d'essais chimiques et d'essais de gonflement.

Les lithologies des Basses-Terres du Saint-Laurent et des Appalaches sont composées en majorité de roches sédimentaires carbonatées et de shales (*mudrocks*). Ces roches, sous forme de matériaux granulaires concassés (granulats), sont utilisées abondamment comme remblais sous les dalles de béton dans les constructions résidentielles et commerciales au Québec (photo 1 en annexe 1). Le *Comité technique québécois d'étude des problèmes de gonflement associés à la pyrite* fut créé en 1997 à la suite du premier colloque de l'*AEG* et parrainé par la Société d'Habitation du Québec (SHQ). Ce comité a mis au point une méthodologie de caractérisation permettant d'uniformiser les techniques d'évaluation du potentiel de gonflement des remblais en laboratoire et connue sous le nom de protocole CTQ-M100 (2000) devenu la prénorme NQ 2560-500 (2001; en révision). Cette méthodologie utilise les types de faciès pétrographiques les plus fréquemment retrouvés dans les remblais et ces faciès sont basés sur une nomenclature de roches établie par Blanchette (1997). Chaque faciès pétrographique se voit attribuer un indice pétrographique (IP). La valeur de cet IP varie entre zéro (potentiel nul de gonflement) et un (potentiel élevé de gonflement). Le tableau 1 résume cette nomenclature et les valeurs des indices pétrographiques (IP) correspondants.

Un remblai granulaire est rarement constitué d'un seul type de faciès pétrographique. Pour établir le potentiel de

TABEAU 1 – Nomenclature des faciès pétrographiques et indice pétrographique (IP) attribué à chaque faciès selon le protocole CTQ-M100 (modifié d'après Blanchette, 2002). Les acronymes suggérés sont de l'auteur de la présente étude.

Faciès pétrographiques	IP du faciès
Shale (SH)	1,00
Pélite argileuse (PA) Microgrès argileux (MGA)	0,75
Calcaire argileux (CA) Dolomie argileuse (DA)	0,50
Calcaire avec placage argileux (CPA) Dolomie avec placage argileux (DPA)	0,25
Calcaire avec placage argileux mince (CPAM) Dolomie avec placage argileux mince (DPAM)	0,10
Calcaire à grain fin non argileux (CGF) Dolomie à grain fin non argileux (DGF)	0,00
Calcaire cristallin (CC) Dolomie cristalline (DC)	0,00
Schiste micacé (SM)	0,25
Cornéenne (C)	0,00

gonflement d'un remblai hétérogène, le protocole CTQ-M100 (2000) propose d'utiliser l'indice pétrographique du potentiel de gonflement plus connu sous son acronyme IPPG.

L'IPPG est donc un cumulatif de différents faciès pétrographiques (IP) contenus dans un remblai. La méthodologie complète pour établir la valeur de l'IPPG est décrite dans la prénorme NQ 2560-500 (2001). Les matériaux granulaires concassés ayant un IPPG inférieur à 10 sont considérés comme non gonflants tandis que ceux ayant un IPPG supérieur à 10 sont considérés comme potentiellement gonflants (selon l'état des connaissances actuelles). Cormier (2000 et 2002) a démontré, par analyse discriminante et en utilisant les données de laboratoires d'essais portant sur 1700 maisons, qu'il existe une forte corrélation entre l'IPPG d'un remblai et la probabilité qu'une maison présente des dommages structuraux élevés. Parmi tous les facteurs analysés dans son étude (épaisseur et calibre du remblai, épaisseur et qualité de la dalle de béton, etc.), l'auteur a démontré que l'IPPG est le facteur le plus important lié à la prévision de l'endommagement des résidences.

La détermination de l'IPPG des matériaux granulaires concassés nécessite donc une grande rigueur dans l'identification précise des faciès pétrographiques (IP). Les analyses pétrographiques sont à l'origine de désaccords dans les études reliées au « *problème de la pyrite* ». L'évaluation est qualitative et subjective. Les professionnels oeuvrant dans le domaine ont des formations différentes en pétrographie. Cela amène des variations dans l'appellation et l'identification des faciès pétrographiques en présence. Il existe présentement un manque d'uniformité dans les descriptions de la nomenclature des faciès pétrographiques (IP) utilisés pour la détermination des IPPG (Beaulieu, 2001). Cela entraîne des différences statistiquement significatives entre les différents laboratoires d'essais pour un même échantillonnage de matériaux granulaires concassés (Cormier, 2000 et 2002).

Objectifs

Les objectifs poursuivis dans l'étude présentée ici sont :

- 1) de clarifier et d'uniformiser la nomenclature des faciès pétrographiques (IP) utilisée dans la détermination des IPPG;
- 2) de décrire le plus précisément possible les appellations utilisées pour les faciès pétrographiques (IP);
- 3) de produire un guide d'identification macroscopique et microscopique, illustré de photographies, des faciès pétrographiques (IP) à l'intention des géologues et des ingénieurs oeuvrant dans le « *domaine de la pyrite* »;
- 4) d'établir des équivalences entre les nomenclatures classiques utilisées dans le monde scientifique et la nomenclature empirique des faciès pétrographiques (IP).

Méthodologie

Les remblais granulaires sous dalles de béton proviennent majoritairement de granulats naturels exploités dans

les carrières et fabriqués par fragmentation et criblage de roches consolidées faisant partie des Basses-Terres du Saint-Laurent et des Appalaches (Aïtcin *et al.*, 1992). Les formations rocheuses sont d'abord fracturées au moyen d'explosifs, puis réduites par concassage à la dimension désirée. Les granulats dans les remblais sous dalles de béton ont généralement des granulométries qui varient de 0,1 mm à 20,0 mm. Les fractions granulométriques des granulats retenues sur tamis et analysées dans les laboratoires d'essais pour la détermination de l'IPPG sont : 2,5 mm, 5,0 mm, 10,0 mm, 14,0 mm et 20,0 mm (CTQ-M100, 2000; prénorme NQ 2560-500, 2001). Il est important de noter ici que l'identification des différents faciès pétrographiques (IP) se fait sur des échantillons rocheux qui sont généralement plus petits que 20,0 mm (photo 1 en annexe 1). Contrairement aux affleurements rocheux rencontrés habituellement lors de la cartographie géologique, l'identification minéralogique et pétrographique devient très difficile vu la granulométrie du matériau disponible.

Dans le cadre de cette étude, nous avons sollicité cinq laboratoires d'essais de la région de Montréal, habilités à réaliser les expertises liées à la pyrite et membres de l'Association canadienne des laboratoires d'essais (ACLE), pour participer à nos travaux. Ces laboratoires ont effectué des milliers d'expertises de résidences en utilisant la nomenclature des faciès pétrographiques du tableau 1. Nous avons demandé à ces cinq laboratoires des centaines d'échantillons de granulats qui étaient, selon leur expertise, les plus significatifs de chaque faciès pétrographique indiqué au tableau 1. De plus, nous avons utilisé les six concassés granulaires de référence du *Comité technique québécois d'étude des problèmes de gonflement associés à la pyrite* et appelés A, B, C, D, E et F. Ces concassés ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques et sont bien documentés (Ballivy et Bellaloui, 2000; Nkurunziza, 2000; Dion, 2001; Bellaloui *et al.*, 2002; Bérubé *et al.*, 2002).

Après examen de tous les échantillons mis à notre disposition, nous avons sélectionné ceux qui nous semblaient les plus représentatifs de chaque faciès pétrographique. Afin de caractériser le plus précisément ces faciès, les échantillons représentatifs ont été colorés chimiquement pour déterminer le type de carbonates, des lames minces polies ont été fabriquées et des analyses chimiques ont été effectuées (annexe 2).

MÉCANISMES DE RÉACTION ET DE GONFLEMENT

Les mécanismes de réaction ont été identifiés et sont bien décrits par Côté (1990) et Bérubé (1997). Nous ne présentons ici qu'un résumé des différents processus impliqués

dans le gonflement des remblais sous dalle de béton. Ce gonflement se produit en plusieurs étapes :

- 1) oxydation de la pyrite présente dans les granulats à l'intérieur du remblai;
- 2) formation d'acide sulfurique;
- 3) réaction entre l'acide sulfurique et les minéraux carbonatés;
- 4) cristallisation de sulfate de calcium (gypse);
- 5) gonflement du remblai sous dalle;
- 6) soulèvement et fissuration de la dalle de béton.

Pyrite

Malgré sa faible teneur dans les roches sédimentaires la pyrite (et autres sulfures de fer) a été identifiée comme étant le principal minéral réactif responsable du gonflement dans les remblais granulaires (et aussi sur les fondations rocheuses). La pyrite apparaît généralement sous trois formes dans les roches sédimentaires :

- 1) en cube ou pyroèdre (octaèdre) microcristallin de la taille des silts à sables très fins (0,004 mm à 0,125 mm);
- 2) en amas globulaire (variété allotropique) de forme framboïde de la taille des silts (0,01 mm à 0,05 mm) ou polyframboïde (0,05 mm à 0,125 mm);
- 3) comme minéral de remplacement de la calcite dans les fossiles.

Il semble que ce soit la pyrite de granulométrie très fine (inférieure à 0,05 mm) qui joue un rôle important dans les réactions conduisant au gonflement des remblais. La pyrite framboïde ou polyframboïde (photos 2 et 3 en annexe 1) est en plus considérée réactive en raison de sa grande porosité et surtout de sa surface spécifique beaucoup plus élevée que les formes cubiques ou octaédriques. Les différents processus de formation de la pyrite framboïde sont précisés dans Wilkin et Barnes (1997).

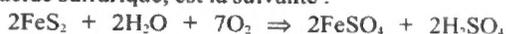
Réactions chimiques

Plusieurs facteurs peuvent contribuer à l'oxydation de la pyrite, parmi ceux-ci mentionnons :

- 1) la quantité d'oxygène présente dans l'air et dans l'eau;
- 2) le degré d'humidité dans l'environnement;
- 3) la température;
- 4) la surface spécifique (surface de contact) des grains de pyrite;
- 5) l'action possible de bactéries ferro-oxydantes (Penner *et al.*, 1970).

Nous ne présentons pas ici toutes les réactions chimiques qui produisent le gypse, mais seulement les deux étapes principales.

La réaction chimique de l'oxydation de la pyrite, qui en présence d'eau et d'oxygène donne du sulfate ferreux et de l'acide sulfurique, est la suivante :



L'acide sulfurique, produit par l'oxydation de la pyrite, peut ensuite réagir avec la calcite présente dans les roches

carbonatées et produire du gypse qui est un sulfate de calcium gonflant (Dougherty et Barsotti, 1972) selon la réaction suivante :



La formation de sulfate de calcium qui produit une augmentation de volume et la force de cristallisation du gypse qui peut atteindre 2,56 MPa (Côté, 1990), ont pour conséquence de provoquer le gonflement du remblai granulaire concassé et le soulèvement de la dalle de béton sus-jacente. La forme des cristaux tabulaires de gypse en rosettes aplaties observés dans un remblai très dense (photo 4 en annexe 1) est un indice de résistance à la croissance du gypse. Toutefois, il est possible aussi d'observer des cristaux prismatiques bien développés dans des fractures ouvertes (photo 5 en annexe 1) qui impliquent un soulèvement (Penner *et al.*, 1975).

Lithologies associées

Pour obtenir la cristallisation du gypse, il faut la présence de pyrite et de calcite. Ces deux minéraux se retrouvent dans les roches sédimentaires argileuses et carbonatées qui forment les remblais granulaires concassés. La pyrite est observée fréquemment dans les pélites (shales, *mudrocks*) tandis que la calcite est abondante dans les calcaires et dolomies calcareuses. La figure 1 est une illustration des effets de la cristallisation du gypse, à la suite de l'oxydation de la pyrite, sur des plans de délitage (*fissilité* ou *lamination*) d'une roche qui subit un gonflement. Ainsi, les lithologies à risque sont constituées, au sens large de la nomenclature, de pélites, de pélites calcareuses, de calcaires/dolomies et de calcaires/dolomies qui sont argileux. Nous verrons plus loin que la nomenclature des faciès pétrographiques et la valeur de l'indice IP (tableau 1) pourraient se résumer, *a priori*, en une mesure de la quantité de minéraux argileux dans les remblais.

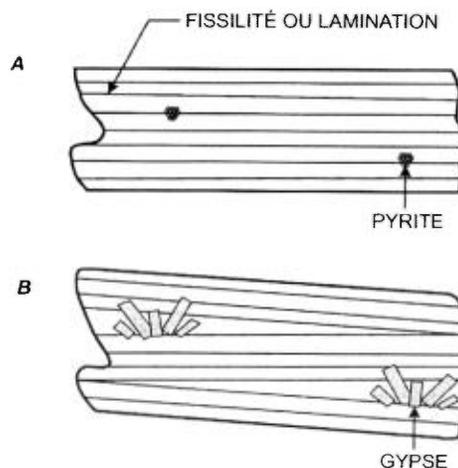


FIGURE 1 - Effet de gonflement dans une roche de type pélite calcareuse qui renferme des plans de délitage (fissilité ou lamination); en A) présence de pyrite le long de ces plans et en B) cristallisation de gypse suite à l'oxydation de la pyrite.

NOTION SUR LES ROCHES SÉDIMENTAIRES

Quelques rappels sont indispensables à la compréhension des nomenclatures utilisées pour les roches sédimentaires.

Quelques définitions

Sédiment

Le sédiment est un dépôt naturel récent de matériaux solides transportés (particules) et/ou précipités (chimique ou biogène), sous des conditions physico-chimiques variables (pression, température, climat), à la surface de la croûte terrestre et composé de gravier, sable, argile, calcaire, silice.

Le sédiment est :

- 1) soit le résultat d'érosion de roches préexistantes dont les produits sont accumulés dans un milieu de sédimentation provisoire ou ultime;
- 2) soit le résultat d'une activité organique (accumulation de coquilles, plantes).

Roche sédimentaire

Une roche sédimentaire est l'équivalent lithifié du sédiment. Elle est composée de grains, cristaux ou fossiles qui sont liés par un ciment. Elle forme des dépôts stratifiés en lits superposés.

Les roches sédimentaires sont généralement regroupées en deux grands types, celui des débris et celui des solutions :

1) les roches sédimentaires **détritiques**, les plus abondantes, formées à partir de l'érosion de roches préexistantes :

- les roches **TERRIGÈNES** ou silicoclastites (particules arrachées à un relief émergé);
- les roches *pyroclastiques* (particules projetées par les volcans).

2) les roches sédimentaires **chimiques** ou **biogènes** formées à partir d'un précipité chimique ou d'une activité organique :

- les roches **CARBONATÉES** (fossiles, calcite, dolomite);
- les roches *siliceuses* (famille des cherts);
- les « roches » *carbonées* (charbon, pétrole);
- les *évaaporites* (halite, gypse, anhydrite);
- les roches *ferrifères* (ironstones, formation de fer).

Les concassés granulaires qui forment les remblais sont composés en majorité de roches **TERRIGÈNES** et de roches **CARBONATÉES**. Ce sont les classifications associées à ces types de roches que nous décrirons plus loin.

Nature des constituants d'une roche sédimentaire

Les sédiments et les roches sédimentaires sont composés de trois fractions fondamentales que l'on retrouve en quantité variable. Il s'agit des fractions :

- 1) **TERRIGÈNE**;
- 2) **CHIMIQUE** : a) **ALLOCHIMIQUE** et b) **ORTHOCHIMIQUE**.

Fraction **TERRIGÈNE**

La fraction **TERRIGÈNE** comprend tous les matériaux solides provenant de l'érosion de roches préexistantes. Tous ces matériaux ont subi un transport plus ou moins prolongé et ils ont été déplacés de la région source (provenance) au milieu de dépôt (sédimentation). Cette fraction comprend les grains monocristallins (comme le quartz, les feldspaths, les minéraux argileux et les minéraux lourds) et les grains polycristallins (comme les fragments de roches ignées, sédimentaires et métamorphiques).

Fraction **ALLOCHIMIQUE**

La fraction **ALLOCHIMIQUE** comprend tous les matériaux chimiques qui, à l'origine, ont été précipités à partir d'une solution chimique dans le milieu de sédimentation et forment maintenant des grains allochimiques (allochèmes). Ces allochèmes proviennent au départ de solutions mais ils sont remaniés par la suite. Il s'agit d'éléments précipités et agglutinés par une action biologique ou mécanique et ayant subi un transport dans le milieu de sédimentation. Ces grains ont été transportés sur une distance généralement courte soit par des courants, soit par des vagues. Les grains allochimiques (allochèmes) sont composés généralement de calcite ou dolomite, d'hématite ou de goethite, de silice ou de phosphate. Ils correspondent aux éléments suivants présents dans les roches carbonatées : fossiles et micrite surtout, oolites, intraclastes et pelloïdes. Ces éléments sont décrits plus loin.

Fraction **ORTHOCHIMIQUE**

La fraction **ORTHOCHIMIQUE** comprend tous les matériaux qui sont précipités directement sur place, dans le milieu de sédimentation, à partir d'une solution chimique. Ce sont des minéraux précipités à basse température. Ces matériaux ne montrent pas d'évidence de transport. Cette fraction peut être composée de calcite, dolomite, silice ou oxyde de fer. Il existe des roches dont la fraction **ORTHOCHIMIQUE** = 100 % comme les évaporites et certaines roches carbonatées (concrétions calcaires). Le ciment qui lie les grains d'une roche sédimentaire détritique ou chimique fait partie de la fraction **ORTHOCHIMIQUE**. La présence de ciment distingue une roche sédimentaire d'un sédiment non consolidé.

Nous pouvons déterminer par un triangle (figure 2), dont chaque sommet correspond aux trois fractions fondamentales, une première classification sommaire des roches sédimentaires. Une roche qui contient plus de 50 % d'éléments terrigènes sera classée comme roche terrigène. Une roche qui contient plus de 50 % d'éléments allochimiques ou orthochimiques sera classée comme roche chimique.

Cette distinction entre roches terrigènes et chimiques est importante puisqu'elle est à la base des diverses nomenclatures des roches sédimentaires.

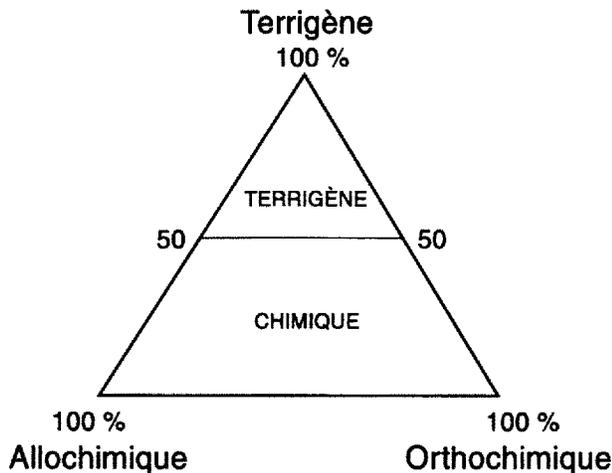


FIGURE 2 – Classification générale des roches sédimentaires selon les fractions terrigènes, allochimiques et orthochimiques (modifié d'après Folk, 1959).

Définitions du terme *argile*

Folk (1974, p.90) reconnaît trois définitions du terme *argile* :

1) la première est basée seulement sur la taille du grain et comprend tout ce qui est plus petit que 0,0039 mm (tableau 2). Cependant, avec cette définition purement granulométrique, des substances telles que le quartz, la calcite et la pyrite sont des « argiles »;

2) la deuxième est basée sur la composition minéralogique et comprend essentiellement les silicates d'aluminium hydratés à structure en feuillets comme les micas, les chlorites, les smectites et elle inclut la kaolinite, la montmorillonite et l'illite;

3) la troisième définition, appelée ici définition pétrographique, combine les deux précédentes et qualifie ce que nous appellerons les *minéraux argileux* dans cette étude.

NOMENCLATURES CLASSIQUES

La nomenclature des faciès pétrographiques (tableau 1) utilisée dans la détermination des IPPG est une nomenclature visuelle quant à la macroscopie et une nomenclature génétique quant à la valeur de l'indice pétrographique; mais ce

n'est pas celle apprise dans les universités. Le protocole CTQ-M100 indique toutefois qu'un professionnel (géologue ou ingénieur) en pétrographie doit déterminer l'IPPG (Blanchette, 2002). Avant de décrire plus précisément la nomenclature utilisée au tableau 1 et afin d'établir des équivalences avec les nomenclatures dites scientifiques et enseignées dans les universités, nous faisons un bref rappel des classifications des roches terrigènes et chimiques les plus utilisées en pétrographie des roches sédimentaires.

Nomenclature des roches terrigènes

Nous avons vu à la figure 2 qu'une roche terrigène est constituée de plus de 50 % de particules terrigènes. Ces particules sont composées de minéraux et de débris rocheux provenant de l'érosion mécanique et chimique de roches préexistantes (ignées, métamorphiques et sédimentaires).

Les classifications des roches terrigènes sont basées sur le pourcentage des particules terrigènes en fonction de leur granulométrie et de leur composition minéralogique.

TABLEAU 2 – Échelle granulométrique utilisée pour les roches sédimentaires (d'après Lane, 1947 et Pettijohn, 1975, p. 29).

	Divisions de Udden (1914)	Classes de Wentworth (1922)
GRAVIER	— 256,0 mm —	Bloc
	— 64,0 mm —	Galet
	— 4,0 mm —	Caillou
	— 2,00 mm —	Granule
SABLE	— 1,00 mm —	Sable très grossier
	— 0,50 mm —	Sable grossier
	— 0,25 mm —	Sable moyen
	— 0,125 mm —	Sable fin
	— 0,0625 mm —	Sable très fin
SILT	— 0,031 mm —	Silt grossier
	— 0,0039 mm —	Silt fin
ARGILE		Argile

L'échelle granulométrique du tableau 2 regroupe les classes granulométriques en quatre fractions principales :

- les graviers : $d > 2,0$ mm
- les sables : $0,0625 \text{ mm} < d < 2,0$ mm
- les silts : $0,0039 \text{ mm} < d < 0,0625$ mm
- les argiles : $d < 0,0039$ mm

(où d = diamètre de la particule)

Selon Folk (1974, p.29) une roche terrigène contenant plus de 50 % de particules de la taille des graviers sera classée comme un conglomérat. Une roche terrigène contenant plus de 50 % de particules de la taille des sables sera classée comme un grès. Une roche terrigène contenant plus de 50 % de particules de la taille des silts et des argiles sera classée comme une pélite. Le mot pélite vient du grec *pêlos* qui signifie boue et en anglais le terme *mudrock* est fréquemment employé. Nous ne décrirons pas les nomenclatures utilisées dans les classifications des conglomérats et des grès (voir Pettijohn, 1975 et Williams *et al.*, 1982), qui associent la composition minéralogique à la granulométrie des particules terrigènes, puisque ces types de roches ne se retrouvent pas dans la nomenclature des faciès pétrographiques (tableau 1, sauf le terme *microgrès*). Nous décrirons les nomenclatures des pélites et des roches carbonatées qui sont reliées directement aux différents faciès pétrographiques du tableau 1.

Pélites (*mudrocks*)

Les pélites (*mudrocks*) sont les roches sédimentaires les plus abondantes et forment entre 60 % et 80 % (variable selon les auteurs) de toutes les roches sédimentaires sur Terre. Par contre, ces roches sont moins étudiées que les conglomérats, les grès ou les roches carbonatées car leurs granulométries ($d < 0,0625$ mm) limitent nos observations, même au microscope, et l'identification des types de minéraux argileux est problématique (utilisation de diffraction X). Les limites granulométriques de la classe des silts, soit entre 0,0625 mm et 0,0039 mm, correspondent respectivement à ce que l'œil (loupe 10x) est encore capable d'identifier de façon certaine comme étant un grain, et à celle du toucher doux lorsqu'on passe les doigts (ou les dents) contre l'échantillon de roche.

Les pélites (*mudrocks*) sont définies sommairement comme les roches sédimentaires détritiques à grain très fin. Elles sont composées en moyenne de 60 % de minéraux argileux (définition pétrographique), provenant surtout de l'altération de roches préexistantes (feldspaths, minéraux ferromagnésien), d'environ 30 % de quartz-cristobalite-silice amorphe, de 5 % de feldspaths, de 5 % de calcite/dolomite et de moins de 1 % de matière organique et d'oxyde de fer (Shaw et Weaver, 1965). De plus, une grande variété de minéraux accessoires est retrouvée dans les pélites (*mudrocks*) dont les plus fréquents sont la pyrite, les sidérites et les phosphates. La calcite/dolomite, l'oxyde de fer ou la silice servent de ciment à ce type de roche. Les minéraux argileux les plus abondants sont l'illite, la montmorillonite, la kaolinite et la chlorite.

La couleur des pélites (*mudrocks*) est souvent un indice qui nous permet d'identifier la composition minéralogique. Une couleur noire indique la présence de matière organique à laquelle est souvent associée la pyrite. L'hématite (Fe^{+++}) et la limonite donne une couleur rouge à rouge violacée. Les minéraux contenant du Fe^{++} (glaucosite, chlorite) donne une couleur verte à bleu. Les pélites (*mudrocks*) riches en calcite ont une couleur gris clair à gris jaunâtre. Les concassés granulaires des remblais proviennent en majorité d'affleurements rocheux composés de roches carbonatées interstratifiées avec des pélites. On retrouve aussi les pélites en abondance dans les groupes d'Utica, de Sainte-Rosalie, de Lorraine et de Queenston des Basses-Terres du Saint-Laurent (Globensky, 1987).

Il existe une grande confusion dans la nomenclature des roches dont la granulométrie est inférieure à 0,0625 mm. Il faut rappeler ici qu'il est parfois difficile de faire la distinction entre la texture (i.e. granulométrie des argiles) et la composition minéralogique (i.e. minéraux argileux). Les termes shale, argile, argilite, boue, pélite, lutite, *mudrock*, claystone, mudstone et siltstone ont des significations différentes selon les auteurs.

Dans cette étude, nous définissons les pélites comme les roches sédimentaires terrigènes dont plus de 50 % des grains terrigènes sont inférieurs à 0,0625 mm. Ces grains sont généralement composés de minéraux argileux, de quartz, de feldspaths et de minéraux accessoires. La classification des pélites la plus utilisée est celle de Ingram (1953) qui détermina la terminologie utilisée : mudstone, siltstone, claystone, mud-shale, clay-shale et silt-shale (tableau 3). Elle fut modifiée par Folk (1961) qui définit les proportions (%) en fonction de la granulométrie.

Cette classification des pélites (*mudrocks*) est basée sur deux critères : la granulométrie des particules (% silt vs % argile; tableau 2) et la *fissilité* de la roche.

Une roche pour être *fissile* doit contenir des minéraux argileux. Une roche est dite *fissile* lorsqu'elle tend à se fendre en feuillets minces, d'environ 1,0 mm d'épaisseur, qui sont parallèles au plan de litage (figure 3). Il ne faut pas confondre la *fissilité* avec le clivage ou la schistosité qui recoupe le plan de litage et qui est le résultat d'une déformation tectonique (photo 8 en annexe 1). La présence de la *fissilité* dans une pélite (*mudrock*) est reliée à la disposition des phyllosilicates, comme les minéraux argileux, qui deviennent parallèles au plan de litage à la suite de la compaction du sédiment avant sa lithification (photos 6, 7, 10 et 11 en annexe 1). Les plans de *fissilité* sont donc des plans de délitage qui peuvent favoriser la cristallisation du gypse et la fracturation de la roche (figure 1). À noter que le terme « shale » est souvent utilisé pour définir une pélite *fissile*. Dans le cas des pélites (*mudrocks*) où la granulométrie est inférieure à 0,0625 mm, il est très difficile d'évaluer macroscopiquement les pourcentages relatifs des matériaux appartenant à chacune des classes granulométriques : silts vs argile. Dans ce cas, on utilise certaines caractéristiques décrites dans le tableau 3.

TABLEAU 3 – Classification des pélites (*mudrocks*) selon Ingram (1953) et Folk (1961).

GRANULOMÉTRIE	CARACTÉRISTIQUES	FISSILE	NON FISSILE
SILT > 66 %	Les grains de la taille des silts sont visibles à la loupe 10x	SILT-SHALE	SILTSTONE
33 % < SILT < 66 %	Rugueux au toucher des doigts ou des dents	MUD-SHALE	MUDSTONE
ARGILE > 66 %	Doux au toucher des doigts ou des dents	CLAY-SHALE	CLAYSTONE

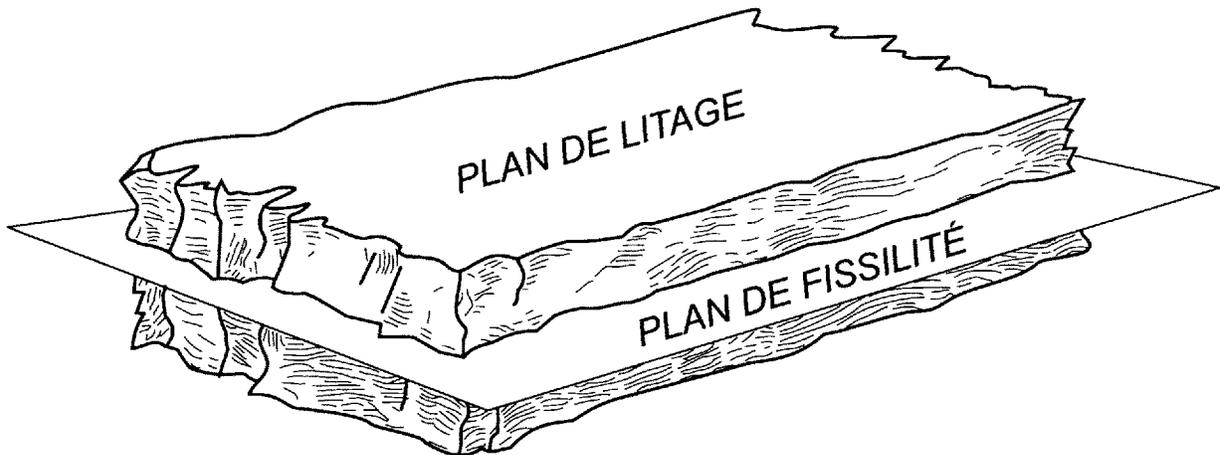


FIGURE 3 – La fissilité est formée de plusieurs plans de délitage qui sont parallèles au plan de litage.

Roches carbonatées

Les roches carbonatées sont les roches chimiques les plus abondantes sur la terre. La très grande majorité est d'origine marine et nous retrouvons d'épaisses séquences de roches carbonatées dans les groupes de Beekmantown, de Chazy, de Black River et de Trenton des Basses-Terres du Saint-Laurent (Globensky, 1987). Ces roches carbonatées composent la plus grande partie des matériaux granulaires concassés qui se retrouvent dans les remblais.

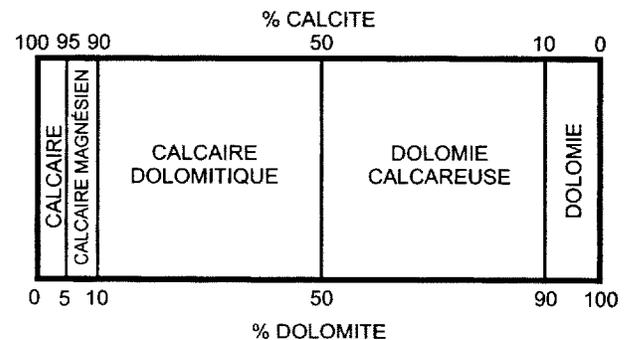
Les roches carbonatées se divisent en CALCAIRES (*limestones*) et en DOLOMIES (*dolostones*). Les calcaires sont surtout composés de calcite : $CaCO_3$, et les dolomies de dolomite : $CaMg(CO_3)_2$. Le rapport de la calcite et de la dolomite dans la phase carbonatée permet la distinction, au point de vue chimique, de cinq classes de roches (Carozzi, 1953, p.125) dans la série continue qui relie les calcaires aux dolomies (tableau 4). Nous pouvons observer dans les roches carbonatées d'autres minéraux du groupe de la calcite (comme la magnésite $MgCO_3$, la rhodochrosite $MnCO_3$ et la sidérite $FeCO_3$) ou du groupe de la dolomite (ankérite $Ca(Fe, Mg, Mn)(CO_3)_2$), mais ils sont en quantité limitée. Les sédiments carbonatés récents sont composés

d'aragonite ($CaCO_3$) métastable qui recristallise sous forme de calcite durant la diagenèse précoce.

Dans les calcaires et dolomies, les minéraux (calcite ou dolomite) se présentent sous trois formes :

- 1) grains allochimiques (allochèmes) comme les fossiles, intraclastes, oolites et péloïdes;
- 2) micrite (calcite ou dolomite microcristalline);
- 3) sparite (calcite ou dolomite bien cristallisée).

TABLEAU 4 – Classification chimique des roches carbonatées en fonction des pourcentages de calcite et de dolomite (Carozzi, 1953).



Allochèmes

Les allochèmes sont des éléments comprenant tous les fragments composés de calcite ou de dolomite et qui ont une forme distincte (photos 28, 38 et 48 en annexe 1). Les plus fréquents sont les fossiles et fragments de fossiles, les ooïdes (oolites), les intraclastes et les péloïdes. Les fossiles (du latin *fossilis*: extrait d'une fosse) et fragments de fossiles (appelés aussi bioclastes) sont les vestiges des organismes marins qui vivaient en milieu de plate-forme. Globensky (1987) donne une liste complète des types de fossiles rencontrés dans les roches carbonatées des Basses-Terres du Saint-Laurent. Majewske (1974) résume les critères pour identifier ces types de fossiles et son livre renferme de nombreuses illustrations et photographies de ces fossiles. Les ooïdes sont les allochèmes de forme ovoïde constitués d'un nucléus de quartz, feldspaths ou fragments de fossiles et d'une enveloppe d'épaisseur variable caractérisée par une structure concentrique de couches de carbonate. Les oolites sont une variété d'ooïdes, dont le diamètre est inférieur à 2,0 mm, et indicateurs d'un environnement peu profond et agité (Cojan et Renard, 1997, p.142). Les intraclastes sont des fragments de roches carbonatées qui ont été brisées par l'érosion (vagues, courants marins) et qui proviennent de l'intérieur du bassin. Les péloïdes sont des allochèmes de forme ovoïde sans structure interne, généralement plus petits que 0,5 mm, et correspondent aux excréments d'organismes marins (pelotes fécales ou *pellets*).

Micrite

La micrite, contraction de l'anglais « *micro-cristalline calcite* », est appelée souvent aussi boue calcaire (Folk, 1959). Elle sert de matrice dans les roches carbonatées. Elle se compose de cristaux de calcite ou d'aragonite microcristalline qui sont généralement de la taille des argiles donc inférieurs à 0,004 mm (Blatt *et al.*, 1980, p.460; Cojan et Renard, 1997, p.143). Elle peut être présente ou absente selon les cas et est utilisée dans les classifications classiques des carbonates de Folk (1959) et de Dunham (1962). Quand on l'observe, elle peut remplir partiellement les pores entre les allochèmes ou bien peut former la plus grande partie de la roche.

La micrite provient en grande majorité de la désagrégation des algues. Elle peut se former aussi à partir de la désagrégation ou de l'abrasion des allochèmes comme les fossiles et les péloïdes, de la « bioérosion » par des micro-organismes fousseurs ou de la précipitation chimique ou biochimique. Au microscope optique polarisant en lumière transmise naturelle, la micrite apparaît comme une masse diffuse de couleur sombre et même à fort grossissement il est très difficile de reconnaître les contours des cristaux (photo 38 en annexe 1). Elle se distingue de la sparite (ciment orthochimique) qui elle est bien cristallisée et de couleur claire en lumière transmise naturelle (photos 47 et 48 en

annexe 1). Il est à noter ici que la micrite est définie comme la boue calcaire située **entre** les allochèmes. Des fossiles peuvent être constitués de calcite microcristalline, semblable en tout point à la micrite, mais cette calcite ne fait pas partie de la composante micrite utilisée dans les classifications des roches carbonatées.

La micrite à tendance à recristalliser (néomorphisme) avec le temps géologique et sous certaines conditions physico-chimiques. Lorsqu'elle recristallise, la taille des cristaux augmente et il devient difficile de déterminer si nous avons de la micrite recristallisée (appelée alors de la microsparite et pseudosparite; photo 44 en annexe 1) ou de la sparite. Généralement, la microsparite a une granulométrie comprise entre 0,004 mm et 0,015 mm (silt fin) et la pseudosparite entre 0,004 mm et 0,05 mm (silt fin + silt grossier). Les limites et définitions varient selon les auteurs.

Sparite

Le ciment qui lie ensemble les allochèmes des roches carbonatées s'appelle la sparite. La sparite est presque toujours composée soit de calcite, soit de dolomite. Elle est identique au ciment orthochimique de calcite ou dolomite retrouvé dans les roches terrigènes (pélites, grès, conglomérat) sauf qu'ici, comme une roche carbonatée peut être constituée de 100 % de calcite sous différentes formes, on qualifie le ciment de sparite. Ce ciment est constitué de cristaux ayant généralement une taille supérieure à 0,01 mm (photo 48 en annexe 1).

Classification des roches carbonatées de Dunham (1962)

La classification de Dunham (1962) est basée sur l'arrangement (structure) des constituants au moment du dépôt et les allochèmes (sans distinction) sont considérés comme de simples particules sédimentaires. Cette classification (tableau 5) est la plus simple et la plus largement utilisée pour les roches carbonatées (Tucker et Wright, 1990, p.18). Elle repose sur trois critères principaux :

- 1) la présence ou l'absence (< 1 %) de boue calcaire (micrite);
- 2) la disposition des allochèmes; ils se supportent les uns les autres (jointifs) ou « flottent » dans la micrite (non jointifs);
- 3) la proportion des allochèmes (> 10 % ou < 10 %).

Il est important de noter, dans le tableau 5, que le qualificatif **calcaire** est ajouté à **mudstone** pour le différencier du terme employé dans la classification des pélites (tableau 3) de Ingram (1953).

Dunham (1962) utilise aussi une autre catégorie appelée « *crystalline carbonate* » qu'il définit comme étant une roche recristallisée dont la texture sédimentaire est totalement détruite. Ce terme ne correspond pas au faciès pétrographique de calcaire cristallin (CC) utilisé au tableau 1. Le terme « calcaire cristallin » est généralement associé de nos jours

TABLEAU 5 – Classification des roches carbonatées selon Dunham (1962).

Les allochèmes ont subi un transport				Les éléments organiques sont <i>autochtones</i> et liés entre eux. Ils n'ont pas subi de transport. C'est le récif comme tel.
Présence de boue calcaire (micrite > 1,0 %)		Absence de boue calcaire (micrite < 1,0 %)		
Les allochèmes «flottent» dans la micrite (non jointifs), elle sert de support aux grains.		Les allochèmes se supportent les uns les autres (jointifs). La sparite est dans les interstices entre les allochèmes		
Allochèmes < 10 %	Allochèmes > 10 %			
MUDSTONE CALCAIRE	WACKESTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE	BOUNDSTONE

à une roche carbonatée métamorphique à texture grano-blastique et appelée marbre (Foucault et Raoult, 1988, p.88; Kornprobst, 2001, p. 51). Pour les boundstones (tableau 5), qui représentent des monticules biogéniques construits, il existe une classification dérivée de Dunham (1962) et proposée par Embry et Klovan (1972) qui est plus détaillée et est très utilisée par les compagnies d'exploration pétrolière.

De plus, la classification de Embry et Klovan (1972) utilise les termes de FLOATSTONE au lieu de WACKESTONE et de RUDSTONE au lieu de PACKSTONE lorsque les allochèmes ont une taille supérieure à 2,0 mm. Cette classification ne sera pas utilisée dans cette étude et est indiquée ici seulement à titre d'information complémentaire.

Classification des roches carbonatées de Folk (1959)

Cette classification (figure 4) est basée sur :

1) la composition des allochèmes (fossiles, oolites, intraclastes, péloïdes);

2) les liants entre eux : ciment de sparite ou matrice de micrite.

La classification est simple. La première partie du nom de la roche est donnée par le type d'allochème le plus abondant et la deuxième partie par le type de liant le plus abondant (sparite ou micrite). La roche appelée « calcaire micritique » par Folk (1959) dans la figure 4 est l'équivalent du « mudstone calcaire » de Dunham (1962) dans la tableau 5, tandis que la « dismicrite » est probablement reliée à la diagenèse (dissolution + remplissage de cavités).

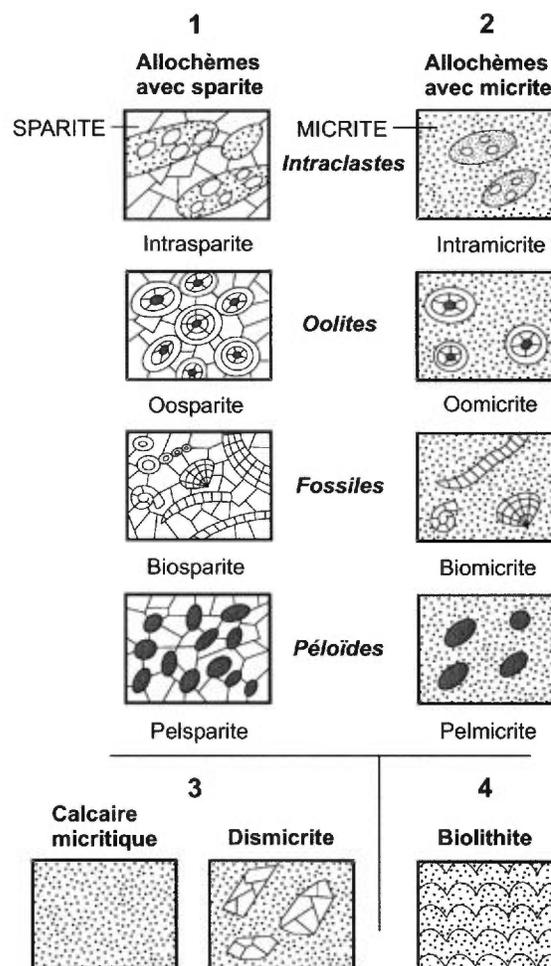


FIGURE 4 – Classification des roches carbonatées de Folk (1959).

NOMENCLATURE ET DESCRIPTION DES FACIÈS PÉTROGRAPHIQUES

Introduction

Les classifications classiques des pélites (terrigenes) et des roches carbonatées (chimiques), décrites précédemment, utilisent des nomenclatures qui se veulent uniquement descriptives à partir de critères qui se résument essentiellement à la granulométrie des particules (tableau 2) et à l'identification des composants. La nomenclature des faciès pétrographiques du tableau 1 est une nomenclature qui se veut descriptive, mais elle est de plus « génétique » puisqu'elle attribue à chaque faciès un indice pétrographique (IP), donc une valeur numérique. Cette valeur (IP) est donnée dans le but d'établir une évaluation du potentiel de gonflement des matériaux granulaires concassés utilisés comme remblai sous les dalles de béton. Cette nomenclature est donc tributaire des mécanismes de réaction et de gonflement décrits précédemment. Cette nomenclature est empirique et visuelle, elle associe la quantité de minéraux argileux dans une roche à son potentiel de gonflement. Le qualificatif « argileux » est retrouvé dans cinq des neuf faciès du tableau 1. Nous pourrions ajouter aussi les deux faciès contenant des minéraux argileux dénommés **shale (SH)** et **schiste micacé (SM)**. Cette étude ne discute pas des valeurs numériques attribuées à chaque faciès. Cette étude tend à clarifier la nomenclature, à donner des descriptions précises des faciès avec illustrations photographiques et à suggérer des équivalences avec les nomenclatures classiques.

Instruments

Le facteur le plus important dans l'élaboration des nomenclatures utilisées est la granulométrie puisque les particules de la taille des silts et des argiles sont très difficiles à identifier précisément en macroscopie. Les instruments optiques généralement utilisés en macroscopie sont la loupe 10x, avec lentille de 16,0 mm ou 21,0 mm, et le microscope stéréoscopique optique (appelé aussi loupe binoculaire) avec grossissement variable de 60x à 500x. Ces instruments permettent habituellement une identification minéralogique des particules, avec plus ou moins de précision, mais souvent celle-ci s'avère sommaire et incertaine avec des granulats rocheux plus petits que 20,0 mm. Les minéraux argileux ont la propriété d'être facilement rayés, avec une dureté qui varie de 1 à 2 sur l'échelle de Mohs (Klein et Hurlbut, 1993); bien qu'utile le couteau demeure cependant un outil empirique pour déterminer la dureté. Lorsque nous voulons utiliser le terme « argileux » dans une nomenclature ou définir ce qu'est un « shale » ou un calcaire « à grain fin » non

argileux, l'étude en macroscopie est limitée à la fois par la granulométrie fine des particules à observer et par les limites optiques des outils disponibles.

L'identification de la calcite et de la dolomite dans les roches carbonatées se fait souvent à l'aide de colorations chimiques (Hutchison, 1974, p.25). Ces tests de coloration doivent cependant être interprétés avec prudence (Adams *et al.*, 1984, p.34). L'observation de l'effervescence à l'acide chlorhydrique dilué, plus connue sous l'acronyme HCl 10 % v/v, est une méthode simple et efficace. Cette observation ne nous permettra pas toutefois de distinguer la micrite (granulométrie des argiles) de la sparite utilisées dans les nomenclatures classiques. Étant donné la fine granulométrie rencontrée, autant dans les faciès terrigenes que chimiques des granulats rocheux, il devient primordial d'utiliser un microscope optique polarisant à lumière transmise et réfléchi. L'étude microscopique de lames minces, fabriquées à partir des granulats rocheux, permet de confirmer avec beaucoup plus de précision, l'attribution de ces mêmes granulats aux différents faciès pétrographiques du tableau 1. L'étude microscopique permet l'identification et l'évaluation du pourcentage des minéraux argileux et de la micrite. Elle permet aussi, en lumière réfléchi, de confirmer la présence ou l'absence de pyrite qui est un élément essentiel aux mécanismes de réaction et de gonflement des remblais granulaires concassés. L'examen en lames minces des granulats rocheux nous révèle aussi la présence de structures sédimentaires, comme les fines **laminations** argileuses dans des calcaires (photos 27, 28 et 39 en annexe 1), qui sont parfois difficilement observables en macroscopie.

L'étude simultanée des granulats rocheux en macroscopie et en microscopie nous aide à préciser l'attribution d'un échantillon à un faciès pétrographique donné. Dans le but d'améliorer cette précision, il devient parfois impératif d'effectuer aussi des analyses chimiques à partir des granulats rocheux. Les analyses chimiques de certains éléments majeurs (Si, Al, Ca, Mg, Na, K, Fe, S, C) et des sulfates hydrosolubles permettent de calculer des quantités (%) équivalentes en pyrite, en gypse, en carbonates et en minéraux argileux qui sont présents dans un échantillon rocheux (annexe 2). Les résultats de ces analyses doivent cependant être commentés en fonction de la minéralogie observée en microscopie pour ne pas mener à des interprétations erronées.

Pour chaque faciès pétrographique, nous donnons une description macroscopique illustrée de macrophotographies (annexe 1) qui représentent le faciès à l'échelle de l'œil nu et à l'échelle d'une loupe 10x avec lentille de 21,0 mm. Des microphotographies au microscope optique polarisant à lumière transmise et réfléchi illustrent aussi les différents faciès (annexe 1). Les faciès ayant un indice pétrographique (IP) élevé sont décrits plus amplement et sont abondamment illustrés puisque que l'identification de certains de ces faciès est plus ardue.

Shale (SH)

Le mot « shale » est un terme anglais, d'origine teuto-nique, qui désignait au début un lit argileux avec de très fines **laminations** internes dans le district minier de Derbyshire en Angleterre (Tourtelot, 1960). Il est utilisé fréquemment, comme terme général en Amérique du Nord, depuis la publication de *Principles of Geology* par Lyell en 1833 (Tourtelot, 1960, p.340). Bien que le mot soit introduit dans la terminologie géologique depuis longtemps, les définitions de « shale » sont très variables selon les auteurs (Picard, 1971; Lewan, 1978; Lundegard et Samuels, 1980; Potter *et al.*, 1980; Boggs, 2001). La définition la plus générale du « shale » semble être « une roche sédimentaire à grain fin ». La majorité des auteurs cités précédemment définissent le terme « grain fin » comme la granulométrie inférieure à 0,0625 mm (tableau 2). Les auteurs diffèrent d'opinions sur les notions de *fissilité* (figure 3) et de **lamination** qui doivent être ou non appliquées au mot « shale ». La notion de *fissilité* (figure 3; photos 6 et 7 en annexe 1) a été décrite précédemment dans la nomenclature des pélites. Les **laminations** sont des structures sédimentaires d'origines variées. Au point de vue descriptif les **laminations** sont des surfaces planaires, parallèles ou obliques au plan de litage, ondulées ou non, avec des épaisseurs qui varient de 0,05 mm à 1,0 mm (Pettijohn, 1975, p.264). Les **laminations** peuvent être formées par une alternance de granulométrie entre les particules (silt/argile) ou par des compositions minéralogiques différentes tels que des minéraux argileux avec de la calcite (photos 11 et 12 en annexe 1). De plus, les **laminations** peuvent impliquer les mêmes effets que la *fissilité* car elles renferment souvent de la pyrite et de la matière organique (photos 39 et 40 en annexe 1); donc ces roches **laminées** pourraient être potentiellement plus sujettes au phénomène de gonflement que les roches *fissiles* ! Les plans de **laminations** ont un délitage facile où l'eau peut s'infiltrer (absorption élevée) et permettre la croissance des cristaux de gypse (figure 1).

Par définition un shale (SH) est une roche :

- dont plus de 50 % des particules sont terrigènes;
- dont plus de 50 % des particules terrigènes ont une granulométrie inférieure à 0,0625 mm;
- qui est *fissile* ou **laminée**.

En macroscopie les granulats de shale présentent des formes de plaques allongées qui leur sont caractéristiques (photos 9 et 13 en annexe 1). Ils ont une faible dureté et sont facilement rayés au couteau avec poudres résiduelles. Les granulats ont une très faible ténacité (résistance à l'énergie nécessaire pour rompre un matériau), sont cassants et très friables. Ils sont souvent *fissiles* (photos 10 et 14 en annexe 1) et les granulats s'écaillent facilement au couteau le long de ces plans de *fissilité*. Lorsqu'ils sont immergés 24 heures dans l'eau, ils se délitent facilement selon ces mêmes plans. Ils exposent des cassures conchoïdales (photo 14 en annexe 1) et sont doux au toucher des doigts (aucune rugosité). Un

shale (SH) est calcareux lorsqu'il fait effervescence au HCl 10 % v/v. La couleur est variable et est indicatrice de sa composition minéralogique : gris clair (calcite), noir (matière organique), rouge à rouge violacé (oxydes de fer) et vert à vert bleuté (chlorite, glauconite).

En microscopie, il devient plus facile d'observer les **laminations** et de reconnaître les plans de *fissilité* (photos 11, 12, 15 et 16 en annexe 1). Les minéraux argileux sont abondants mais non identifiables minéralogiquement. Ils sont concentrés dans les **laminations** (photo 12 en annexe 1) ou mélangés aléatoirement avec des quartz et des feldspaths de la taille des silts (photo 15 en annexe 1). L'étude microscopique peut s'avérer utile pour quantifier les proportions des minéraux et elle devient indispensable, en lumière réfléchie, pour identifier la présence de pyrite et évaluer son pourcentage.

Le terme shale (SH) devrait être utilisé pour désigner les roches silteuses et argileuses *fissiles* (silt-shales, mud-shales et clay-shales) et les siltstones, mudstones et claystones **laminés** dans la classification des pélites (*mudrocks*) de Ingram (1953) du tableau 3. On remplace parfois ces appellations par les termes de schistes argileux, schiste ou argile litée. Nous ne recommandons pas de tels remplacements, car ils portent à confusion puisque le vocable schiste est habituellement associé, en Amérique du Nord, à une roche métamorphique et non à une roche sédimentaire.

Pélite argileuse (PA)

Le terme pélite argileuse (PA) renferme deux mots dont les significations ont été décrites précédemment.

Par définition une pélite argileuse (PA) est une roche :

- dont plus de 50 % des particules sont terrigènes;
- dont plus de 50 % des particules terrigènes ont une granulométrie inférieure à 0,0625 mm;
- qui n'est pas *fissile* et n'est pas **laminée** (aucune structure sédimentaire).

En macroscopie les granulats de pélite argileuse (PA) présentent des formes prismatiques (photos 17 et 18 en annexe 1). Ils ont une faible dureté et sont facilement rayés au couteau avec poudres résiduelles (contrairement aux cornéennes). Les granulats ont une faible ténacité, mais sont moins cassants et friables que les shales (SH), dû probablement à l'absence de *fissilité* ou de **laminations**. Ils montrent des cassures conchoïdales à pseudo conchoïdales (photo 18 en annexe 1) et sont doux au toucher des doigts (peu ou pas de rugosité). Ils sont parfois légèrement poreux. Il faut répéter qu'ils ne sont pas *fissiles* et n'ont pas de **laminations** visibles. Une pélite argileuse (PA) est qualifiée de calcareuse lorsqu'elle fait effervescence au HCl 10 % v/v. Les couleurs observées sont identiques à celles des shales (SH).

En microscopie, nous pouvons observer que les pélites argileuses (PA) sont composées surtout de minéraux argileux (photo 19 en annexe 1). Bien qu'il n'expose pas de structures

de *fissilité* ou de *laminations*, le granulat peut contenir un certain pourcentage de pyrite disséminée (photo 20 en annexe 1).

Une pélite argileuse (PA) devrait contenir plus de 66 % de grains de la taille des argiles et moins de 33 % de grains de la taille des silts. Une pélite argileuse (PA) devrait correspondre au terme de claystone **non laminé** dans la classification des pélites de Ingram (1953) du tableau 3.

Microgrès argileux (MGA)

Le terme microgrès argileux (MGA) peut porter à confusion. Les grès sont des roches terrigènes dont plus de 50 % des particules terrigènes ont une granulométrie comprise entre 0,0625 mm et 2,0 mm (tableau 2). Il existe plus de 50 classifications de grès qui ont été publiées à ce jour (Pettijohn *et al.*, 1972, p.162-172; Boggs, 2001, p.142). Les classifications de Gilbert (dans Williams *et al.*, 1982) et de Pettijohn (1975) sont couramment utilisées, mais ne seront pas décrites ici.

Par définition un microgrès argileux (MGA) est une roche :

- dont plus de 50 % des particules sont terrigènes;
- dont plus de 50 % des particules terrigènes ont une granulométrie inférieure à 0,0625 mm;
- qui n'est pas *fissile* et n'est pas *laminée* (aucune structure sédimentaire).

En macroscopie, les granulats de microgrès argileux (MGA) présentent des formes cuboïdes (photo 21 en annexe 1). Ils peuvent être rayés au couteau avec poudres résiduelles, mais, par rapport à la pélite argileuse (PA), leur dureté est légèrement plus élevée. Ils montrent des cassures irrégulières à surface râpeuse et quelconque (photo 23 en annexe 1). Les granulats ont une bonne ténacité et sont peu friables. Ils sont rugueux au toucher des doigts. Ils ne sont pas *fissiles* et n'ont pas de *laminations* visibles. Les grains de la taille des silts sont nettement distinctifs à la loupe 10x (photo 22 en annexe 1). Un microgrès argileux (MGA) est qualifié de calcaireux lorsqu'il fait effervescence au HCl 10 % v/v. Les couleurs observées sont identiques à celles des shales (SH).

En microscopie, nous pouvons observer que les microgrès argileux (MGA) sont composés surtout de quartz et de feldspaths à grain anguleux, de la taille des silts, entourés de minéraux argileux (photo 24 en annexe 1). Il peut y avoir présence de pyrite.

Un microgrès argileux (MGA) devrait contenir moins de 66 % des grains de la taille des argiles et plus de 33 % des grains de la taille des silts. Un microgrès argileux (MGA) devrait correspondre aux termes de mudstone **non laminé** et de siltstone **non laminé** dans la classification des pélites de Ingram (1953) du tableau 3. Le terme peut s'appliquer aussi à un grès très fin (granulométrie comprise entre 0,0625 mm et 0,125 mm), **non laminé**, *non fissile* et contenant une matrice argileuse.

Calcaire argileux(CA) et dolomie argileuse (DA)

Nous décrivons simultanément les termes de calcaire argileux (CA) et de dolomie argileuse (DA). Dans le tableau 1, les deux faciès pétrographiques ont le même indice pétrographique (IP = 0,50). Les notions de calcaire et de dolomie ont été décrites précédemment à la section **Roches carbonatées**. La distinction entre les calcaires et dolomies se fait généralement avec les colorations chimiques ou l'utilisation du HCl dilué 10 % v/v (voir section **Instruments**). Dorénavant dans ce texte, les termes utilisés pour décrire les calcaires argileux (CA) s'appliquent aussi aux dolomies argileuses (DA). Le problème ici dans la nomenclature est le qualificatif « argileux » qui accompagne les mots calcaire et dolomie. Les ingénieurs et géologues qui travaillent dans le « *domaine de la pyrite* » connaissent bien la difficulté de désigner adéquatement ce type de faciès. Ce sont les faciès pétrographiques avec un contenu en minéraux argileux qui sont les plus à risque au potentiel de gonflement et aussi les plus susceptibles de mener à des divergences d'opinions. L'évaluation du contenu en minéraux argileux dans un faciès pétrographique est un problème majeur associé à leur nomenclature. Qu'est-ce qu'un calcaire argileux (CA) ? Quelles différences y a-t-il entre un calcaire argileux (CA) avec un IP = 0,50 et un calcaire à grain fin *non* argileux (CGF) avec un IP = 0,0 (tableau 1) ?

Nous devons revenir ici aux notions de fraction terrigène et fraction chimique de la section **Nature des constituants d'une roche sédimentaire** et de la classification de la section **Roches carbonatées**. Rappelons que les roches carbonatées contiennent plus de 50 % de fraction chimique. Le qualificatif « argileux » implique que ces roches renferment une fraction terrigène (< 50 %) composée de minéraux argileux. Quel est le pourcentage minimum de minéraux argileux pour confirmer qu'un calcaire est argileux ? Doit-on tenir compte de la présence de la matière organique dans la définition d'un calcaire argileux ?

Il faut faire la distinction ici entre un mélange homogène ou *hétérogène* de calcite et de minéraux argileux. Un mélange *hétérogène* de calcite et de minéraux argileux se traduira par la présence de *laminations* argileuses ou de plans de *fissilité* à l'intérieur d'un calcaire et les granulats prennent alors la forme de plaques (photos 25 et 26 en annexe 1). Les minéraux argileux sont donc concentrés le long de surfaces planaires plus ou moins ondulées (photos 27 et 28 en annexe 1). Lorsque le calcaire est *laminé* ou *fissile*, le pourcentage de minéraux argileux n'a pas d'importance et la roche devrait être classifiée comme calcaire argileux (CA) dans le tableau 1. Il faut rappeler que, dans l'objectif de l'attribution des valeurs des indices pétrographiques (IP), la présence de minéraux argileux sous forme de *laminations* ou de *fissilité* dans les concassés granulaires délimite des plans de délitage susceptibles de produire le gonflement des remblais.

Lorsqu'un calcaire argileux est constitué d'un mélange homogène de calcite et de minéraux argileux, il devient ardu d'identifier la présence de ces minéraux argileux et très difficile d'évaluer leur pourcentage, car il y a absence des paramètres indicatifs comme les *laminations* ou la *fissilité*. Le granulat sera caractérisé du terme calcaire par coloration chimique ou effervescence au HCl 10 % v/v. Pour reconnaître *macroscopiquement* s'il y a des minéraux argileux dans un calcaire à mélange homogène la rayure au couteau est un des seuls outils disponibles (photos 29 et 30 en annexe 1). Les minéraux argileux ont des duretés qui varient de 1 à 2 tandis que les minéraux carbonatés, comme la calcite et la dolomite, ont des duretés comprises entre 3 et 4 (Klein et Hurlbut, 1993). La rayure dans un calcaire est plus distincte (nette) et de couleur plus claire que la rayure dans un shale qui sera plus diffuse et de couleur plus foncée. La rayure dans un calcaire argileux est intermédiaire entre les deux et est difficile à préciser. C'est ici que l'expérience acquise par le professionnel qui identifie les différents faciès pétrographiques est déterminante. Un granulat de calcaire argileux (CA) à mélange homogène aura une surface d'aspect terreux. Les couleurs seront plus foncées et la dureté sera de faible à moyenne en fonction de la quantité de minéraux argileux dans le granulat. Les fragments présentent des formes cuboïdes (photo 29 en annexe 1). Ils ont une bonne ténacité et sont non friables à légèrement friables.

L'étude microscopique permet d'identifier la présence de minéraux argileux ou de la matière organique et d'évaluer approximativement leur quantité dans le granulat. Le pourcentage minimum de minéraux argileux que doit contenir un calcaire pour être qualifié de calcaire argileux (CA) peut varier de 0,1 % à 50 % selon les auteurs. Reijers et Hsü (1986, p.14) proposent d'attribuer le terme argileux à un calcaire s'il contient entre 0,1 % et 10 % de minéraux argileux. Pour Pettijohn (1975, p.359), un calcaire argileux renferme de 5 % à 15 % de minéraux argileux. Pour Jung (1969, p.116) un calcaire argileux contient une proportion de 5 % à 35 % de minéraux argileux. ELF-AQUITAINE (1975, p.73) mentionne la présence de 10 % à 50 % de minéraux argileux. Nous suggérons dans cette étude d'utiliser la limite de 5 % de minéraux argileux pour qualifier un calcaire argileux (CA) constitué d'un mélange homogène. Comment calculer le pourcentage de minéraux argileux dans un mélange homogène ? L'évaluation macroscopique est empirique et imprécise. L'étude microscopique permet de confirmer la présence de ces minéraux, par la couleur foncée de la lame mince, mais la détermination du pourcentage est approximative et souvent surévaluée. Le « masquage » occasionné par la structure en feuillets de ces silicates d'aluminium hydratés et la présence de matière organique surévalue arbitrairement le pourcentage estimé par l'observateur (photos 31 et 32 en annexe 1).

Il est possible aussi d'estimer le contenu en minéraux argileux dans un calcaire à partir d'analyses chimiques des éléments majeurs. Les minéraux argileux comme l'illite, la kaolinite et la montmorillonite sont caractérisés par leur

contenu élevé en Al_2O_3 . Les analyses chimiques de Grim (1953), Caillère et Hénin (1963), Weaver (1989) et Deer *et al.* (1992) indiquent que les pourcentages poids de Al_2O_3 dans ces minéraux argileux varient de 20 % à 40 %. Il est difficile d'établir une moyenne exacte du pourcentage de Al_2O_3 , car les minéraux argileux sont composés généralement d'un mélange de feuillets interstratifiés d'illite, de kaolinite, de monmorillonite et autres en proportions variables. Si nous présumons que la quantité totale de Al_2O_3 , déterminée par analyse chimique dans un calcaire, se retrouve complètement dans les minéraux argileux et que nous estimons la moyenne à 33 % poids alors nous pouvons obtenir une évaluation de leur abondance sous forme de « % équivalent de minéraux argileux ». En considérant ces hypothèses, le protocole CTQ-M100 (2000) et la prénorme NQ 2560-500 (2001) suggèrent d'établir le « % équivalent de minéraux argileux » en multipliant par 3 le pourcentage de Al_2O_3 déterminé par analyse chimique. Il faut être prudent dans l'utilisation d'une telle équation, car elle suppose aussi que tout le Al_2O_3 est contenu dans les minéraux argileux. Or d'autres minéraux alumineux, comme les feldspaths, peuvent être présents dans les calcaires argileux. Une étude microscopique devrait être effectuée pour vérifier s'il y a des feldspaths avant d'associer les pourcentages de Al_2O_3 au « % équivalent de minéraux argileux ». En l'absence de feldspath, si nous utilisons la relation (« % équivalent de minéraux argileux » = $3 \times \% Al_2O_3$) et si nous fixons à 5 % la quantité de minéraux argileux pour qualifier un calcaire argileux, alors une valeur plus grande que 1,66 % de Al_2O_3 dans les analyses chimiques déterminerait qu'un granulat est classé dans le faciès pétrographique calcaire argileux (CA) du tableau 1. Cette valeur est approchée dans les analyses chimiques de l'annexe 2, où le qualificatif « argileux » s'applique aussi à d'autres faciès pétrographiques.

Un calcaire argileux (CA) devrait contenir plus de 5 % de minéraux argileux. Le terme calcaire argileux (CA) pourrait correspondre aux wackestones, packstones (et grainstones ?) de la classification des calcaires de Dunham (1962) du tableau 5 et aux intramicrites, oomicrites, pelmicrites et biomicrites de la classification des calcaires de Folk (1959) de la figure 4. Il faudrait toutefois ajouter à ces termes le qualificatif « argileux » s'il y a plus de 5 % de minéraux argileux dans un calcaire à mélange homogène ou si le calcaire est à mélange *hétérogène* (*laminé* ou *fissile*).

**Calcaire (dolomie)
avec placage argileux (CPA) (DPA)
et calcaire (dolomie)
avec placage argileux mince
(CPAM) (DPAM)**

Nous avons défini les termes de calcaire et de dolomie à la section **Roches carbonatées**. La signification du mot « argileux » est décrite à la section précédente **Calcaire argileux (CA) et dolomie argileuse (DA)**. La notion de placage doit

être précisée ici. Le placage argileux est constitué de minéraux argileux qui forment une surface plane, ondulée ou non; il est réparti uniformément ou irrégulièrement sur une partie extérieure du granulat et dont l'épaisseur varie de 0,004 mm à 1,0 mm. Ce placage argileux est en fait une surface de délitage; cette surface correspond souvent à une **lamination** de minéraux argileux qui se trouvait à l'intérieur d'une roche carbonatée (calcaire ou dolomie), mais qui est maintenant exposée à l'extérieur à la suite de la fragmentation de la roche pour produire le granulat (photos 33, 36, 37 et 38 en annexe 1). Nous pourrions dire que le calcaire avec placage argileux (**CPA**) est le résultat d'un calcaire argileux (**CA**) qui s'est fragmenté selon ses **laminations** ou ses plans de *fissilité*. Le placage argileux peut résulter parfois aussi de l'interface située au contact entre des lits de roches carbonatées et des lits de shales.

La reconnaissance de ces placages nécessite un examen attentif de toutes les surfaces exposées du granulat. Cet examen exige aussi que le granulat soit étudié forcément avec la loupe 10x (photos 34 et 35 en annexe 1) ou encore mieux à la loupe binoculaire sous fort grossissement. Lorsque les échantillons rocheux ont subi une coloration chimique, il est plus facile alors d'observer le placage argileux (photos 33 et 36 en annexe 1). La rayure au couteau peut parfois faciliter la reconnaissance des placages puisque ceux-ci pourraient se séparer du granulat.

Quelle est la différence entre un calcaire avec placage argileux (**CPA**) et un calcaire avec placage argileux *mince* (**CPAM**) ? Quelle est l'épaisseur limite qui doit être déterminée pour qualifier le placage de *mince* ? La réponse à ces questions est importante, car les deux faciès pétrographiques **CPA** et **CPAM** ont des indices pétrographiques (IP) respectifs de 0,25 et 0,10 (tableau 1). Nous pourrions suggérer une valeur pour cette épaisseur, mais celle-ci serait peu applicable en pratique car il faut rappeler que les matériaux étudiés sont des granulats généralement de taille inférieure à 20,0 mm. L'utilisation d'un instrument comme le micromètre serait laborieuse et même inopérante. Nous suggérons ici quelques paramètres pour discriminer les deux faciès.

Si le placage argileux montre des **laminations** ou de la *fissilité*, s'il a tendance à se séparer en feuillets (photo 35 en annexe 1) ou à s'effriter, s'il recouvre plus ou moins uniformément une ou plusieurs des surfaces du granulat, si la rayure au couteau sur le placage produit un sillon avec une profondeur observable à la loupe 10x, alors il est classé dans le faciès calcaire avec placage argileux (**CPA**) ou dolomie avec placage argileux (**DPA**). Si le placage argileux ne montre aucun de ces paramètres, alors il est qualifié de *mince* (photos 36 et 39 en annexe 1) et classé dans le faciès : calcaire avec placage argileux mince (**CPAM**) ou dolomie avec placage argileux mince (**DPAM**). Un placage argileux *mince* est plus difficile à reconnaître, car la répartition sur les surfaces extérieures du granulat sera réduite et irrégulière. L'observation du placage *mince* au microscope en lumière réfléchie peut parfois nous révéler

qu'il est constitué de fines **laminations** de minéraux argileux avec pyrite (photos 39 et 40 en annexe 1).

Le terme calcaire (dolomie) avec placage argileux (**CPA**, **DPA**) et de calcaire (dolomie) avec placage argileux *mince* (**CPAM**, **DPAM**) pourrait correspondre aux mudstones calcaires, wackestones, packstones et grainstones de la classification des calcaires de Dunham (1962) du tableau 5 et aux micrites, intramicrites, intrasparites, oomicrites, oosparites, pelmicrites, pelsparites, biomicrites et biosparites de la classification des calcaires de Folk (1959) de la figure 4. Il faudrait toutefois ajouter à ces termes le qualificatif « avec placage argileux » ou « avec placage argileux *mince* ».

Calcaire (dolomie) à grain fin non argileux (CGF, DGF)

Dans les faciès pétrographiques de calcaire à grain fin non argileux (**CGF**) et de dolomie à grain fin non argileux (**DGF**), nous avons une terminologie qui utilise l'**absence** du qualificatif « argileux » pour caractériser la nomenclature. Ce que nous décrivons ci-après pour les calcaires à grain fin non argileux (**CGF**) s'applique aussi aux dolomies à grain fin non argileux (**DGF**). Cette utilisation d'un terme négatif, inhabituel pour une nomenclature, est justifiée par la valeur de l'indice pétrographique (IP) qui est de 0,0 dans le tableau 1. Comme la présence de minéraux argileux est reliée au contenu en pyrite et conséquemment au gonflement potentiel d'un remblai granulaire sous dalle, la terminologie utilisée précise ici qu'il y a bel et bien absence de minéraux argileux. Il est très difficile d'affirmer catégoriquement qu'un calcaire à grain fin est non argileux, car la granulométrie fine rencontrée dans ce calcaire limite implicitement notre capacité d'observation et de ce fait l'identification de la minéralogie présente. Quels sont les paramètres que nous pouvons utiliser pour faire la distinction entre un calcaire argileux (**CA**), sans **laminations** ou *fissilité*, et un calcaire à grain fin non argileux (**CGF**) ? Le problème consiste à définir le terme « fin » en matière de granulométrie et à différencier un faciès fin argileux d'un faciès fin non argileux.

En macroscopie les granulats de calcaires à grain fin non argileux (**CGF**) présentent des formes cuboïdes à prismatiques (photos 41 et 42 en annexe 1). Un calcaire à grain fin (**CGF**) aura des cassures conchoïdales (photo 43 en annexe 1) à pseudo conchoïdales (photo 41 en annexe 1). Les cassures conchoïdales indiquent que la granulométrie des particules qui composent le calcaire est de la taille des argiles (tableau 2). Ces cassures n'indiquent pas par contre s'il y a ou non présence de minéraux argileux à l'intérieur du calcaire. La rayure au couteau peut être un outil utilisé comme il est décrit à la section **Calcaire argileux (CA) et dolomie argileuse (DA)** pour les calcaires argileux. La dureté d'un calcaire à grain fin non argileux (**CGF**) devrait être plus élevée que celle d'un calcaire argileux (**CA**). Ce procédé pour vérifier l'absence de minéraux argileux demeure toutefois subjectif.

Les cassures pseudo conchoïdales (photo 41 en annexe 1) indiquent une granulométrie plus grande (mais cependant toujours à grain fin) des particules par rapport aux cassures conchoïdales. Elles présentent une fine texture grenue observable à la loupe 10x (photo 42 en annexe 1). Le tableau 2 nous indique qu'une granulométrie fine correspond à un diamètre des grains inférieur à 0,25 mm. Les calcaires à grain fin ont une meilleure ténacité que les calcaires argileux et sont moins friables. Ils ne doivent pas contenir de **laminations** ou présenter de *fissilité* sinon ils font partie du faciès de calcaire argileux (CA).

En microscopie, un calcaire à grain fin non argileux (CGF), par la définition suggérée à la section **Calcaire argileux (CA) et dolomie argileuse (DA)**, devrait contenir moins de 5 % de minéraux argileux. En lame mince (photo 44 en annexe 1), les teintes plus pâles observées reflètent ce pourcentage moins élevé de minéraux argileux comparativement aux teintes plus foncées des calcaires argileux (photo 31 en annexe 1). L'étude microscopique permet de confirmer la présence de ces minéraux, mais la détermination du pourcentage demeure approximative et surévaluée par la couleur noire de la matière organique ou de la pyrite.

Si, tel que mentionné à la section **Calcaire argileux (CA) et dolomie argileuse (DA)**, nous établissons le « % équivalent de minéraux argileux » en multipliant par 3 le pourcentage de Al_2O_3 déterminé par analyse chimique, alors un calcaire à grain fin non argileux (CGF) doit contenir moins de 1,66 % de Al_2O_3 . Cette valeur est approchée dans les analyses chimiques de l'annexe 2. Nous obtenons 1,55 % de Al_2O_3 pour des granulats de calcaire à grain fin non argileux (CGF) et 1,78 % de Al_2O_3 pour des granulats de dolomie à grain fin non argileux (DGF).

Le faciès pétrographique de calcaire (dolomie) à grain fin non argileux (CGF, DGF) pourrait correspondre aux mudstones calcaires de la classification des roches carbonatées de Dunham (1962) du tableau 5 ou à la micrite de la classification des calcaires de Folk (1959) de la figure 4. Si nous utilisons la limite inférieure à 0,25 mm pour définir ce qui est « à grain fin » et que nous avons présence de micrite alors les packstones et wackestones contenant une prédominance d'allochèmes inférieure à 0,25 mm seraient des équivalents de ce faciès de même que les intramicrites, oomicrites, pelmicrites et biomicrites.

Calcaire cristallin(CC) et dolomie cristalline (DC)

Nous avons mentionné, à la section **Classification des roches carbonatées de Dunham (1962)** que la nomenclature de « *crystalline carbonate* » utilisée par Dunham ne correspond pas au faciès pétrographique décrit ici (CC). Cette définition pourrait toutefois être appliquée à une dolomie qui résulte de la recristallisation d'un calcaire avec destruction complète des allochèmes. Les termes de calcaire et de dolomie sont définis à la section **Roches carbonatées**. Que signifie le qualificatif « cristallin » utilisé dans ce faciès

pétrographique ? Le mot « cristallin » désigne ici des cristaux de calcite (ou de dolomite) de type sparite telle que décrite à la section **Sparite** ou des fossiles (allochèmes) visibles tels que décrits à la section **Allochèmes**. Ce qualificatif est utilisé parce que la sparite ou les fossiles montrent des reflets brillants lorsqu'on les fait miroiter sous un éclairage avec lumière vive (photos 45 et 46 en annexe 1). Un calcaire composé uniquement de fossiles et de sparite peut s'apparenter, pour un observateur non averti, à l'aspect d'une roche composée uniquement de cristaux visibles de calcite. Ce sont les faces cristallines de la calcite (dolomite) et de certains fossiles qui réfléchissent les rayons lumineux.

En macroscopie, un calcaire cristallin (CC) expose des cassures irrégulières et quelconques. Les fragments sont de forme cuboïde à sphéroïde. Les cristaux ou les fossiles (allochèmes) ont une granulométrie supérieure à 0,25 mm. Un calcaire cristallin montre une dureté et une ténacité qui sont équivalentes à celles d'un calcaire à grain fin non argileux (CGF). Il présente une texture grenue facilement observable à la loupe 10x (photo 45 en annexe 1) avec des particules enserrées et compactes (photo 46 en annexe 1). Les teintes sont pâles vu l'absence de micrite ou de minéraux argileux. Le granulat montre des reflets brillants lorsqu'on le fait miroiter. Il est non friable, sans **laminations** ou *fissilité* observables. Le calcaire cristallin (CC) fera effervescence au HCl 10 % v/v sur toutes les surfaces exposées du granulat tandis que la dolomie cristalline (DC) ne réagira pas sauf pour les poudres résultantes du broyage de l'échantillon.

En microscopie un calcaire cristallin (CC), selon la définition suggérée à la section **Calcaire argileux (CA) et dolomie argileuse (DA)**, devrait contenir moins de 5 % de minéraux argileux, mais nos nombreuses observations indiquent plutôt la quasi-absence (< 1,0 %) de ces minéraux. En lame mince (photo 47 en annexe 1), les teintes observées sont très pâles à incolores pour la sparite située entre les fossiles (allochèmes) qui eux sont de teinte légèrement plus foncée. L'étude microscopique, qui montre les macles mécaniques de la calcite, permet d'identifier les fossiles et confirme l'absence de micrite ou de minéraux argileux (photo 48 en annexe 1).

Si, tel que mentionné à la section **Calcaire argileux (CA) et dolomie argileuse (DA)**, nous établissons le « % équivalent de minéraux argileux » en multipliant par 3 le pourcentage de Al_2O_3 déterminé par analyse chimique, alors un calcaire cristallin (CC) ou une dolomie cristalline (DC) doit contenir moins de 1,66 % de Al_2O_3 . Cette valeur est variable selon les analyses chimiques de l'annexe 2. Nous obtenons 0,22 % de Al_2O_3 et 0,20 % de Al_2O_3 pour les deux échantillons de calcaire cristallin (CC), mais, par contre, nous obtenons un pourcentage inattendu de 2,95 % de Al_2O_3 pour le granulat de dolomie cristalline (DC).

Les faciès pétrographiques de calcaire cristallin (CC) et de dolomie cristalline (DC) pourraient correspondre aux grainstones de la classification des roches carbonatées de Dunham (1962) du tableau 5 ou aux intrasparites, oosparites, biosparites et pelsparites de la classification des calcaires de Folk (1959) de la figure 4.

Schiste micacé (SM)

Le faciès pétrographique de schiste micacé (SM) est un faciès de roche métamorphique tandis que tous les faciès décrits précédemment appartiennent aux roches sédimentaires. La nomenclature des roches métamorphiques est essentiellement descriptive et il n'est pas possible ainsi de parler de classification. La nomenclature peut être abordée de trois points de vue selon Kornprobst (2001, p.51) : 1) nature du protolithe (comme une métapélite); 2) structure de la roche (comme la schistosité); et 3) composition minéralogique (comme une amphibolite). Le terme « schiste » est donc fondé sur la présence d'une structure de schistosité dans le granulit (photo 50 en annexe 1). La schistosité est une structure planaire caractérisée par un débit en feuillets acquis sous l'influence de contraintes tectoniques et de recristallisation métamorphique de minéraux. Elle est distincte de la stratification et de la fissilité qui résultent de processus sédimentaires. Toutefois, ces plans de schistosité, comme les plans de délitage, peuvent favoriser l'infiltration d'eau, la cristallisation du gypse et la fracturation du granulit. L'indice pétrographique (IP) de ce faciès est de 0,25 selon le tableau 1. Le terme « micacé » fait intervenir la composition minéralogique de la roche. Celle-ci contient des micas qui font partie des phyllosilicates dont les plus fréquents sont la biotite et la muscovite.

En macroscopie, la forme des granulats varie de plaque à prisme (photo 49 en annexe 1). Les schistes micacés présentent une schistosité marquée, riche en feuillets de mica visibles à l'œil nu avec un débit facile en minces lamelles flexibles de l'ordre du mm (photo 49 en annexe 1). Le granulit montre des surfaces avec des reflets très brillants lorsqu'on le fait miroiter (photo 50 en annexe 1). La ténacité est faible et l'échantillon est friable. Les feuillets se détachent facilement au couteau. La dureté est très faible. La rayure au couteau est facile et donne des sillons sectiles avec peu de poudres résiduelles. Le granulit ne fait généralement pas effervescence au HCl 10 % v/v.

En lame mince, la structure de schistosité est facilement observable (photo 51 en annexe 1) avec des alternances de teintes claires et foncées reliées aux différentes compositions minéralogiques. L'étude microscopique (photo 52 en annexe 1) montre les orientations préférentielles des micas et permet d'identifier la minéralogie spécifique des roches métamorphiques.

Cornéenne (C)

Le faciès pétrographique de cornéenne (C) est un autre faciès de roche métamorphique.

Une cornéenne est une roche du métamorphisme de contact. Ce métamorphisme est essentiellement lié à l'élévation de température à la suite d'une intrusion ignée. Il est localisé en périphérie des roches ignées intrusives avec différents types de roches encaissantes (souvent sédimentaires) qui agissent comme protolithes. Il faut mentionner que ce n'est pas la roche intrusive qui est une cornéenne. Près du contact, la granulométrie des cristaux

de l'intrusion diminue, à cause du refroidissement rapide du magma, et une auréole interne appelée aussi « zone de trempe » se développe. Ce sont les roches encaissantes qui deviennent des cornéennes. Les Basses-Terres du Saint-Laurent et une partie des Appalaches renferment les intrusions montérégiennes qui se sont introduites dans les roches sédimentaires encaissantes. Autour de ces intrusions, on retrouve des roches cornéennes pélitiques qui résultent de la transformation des roches sédimentaires appartenant en majorité au Groupe de Lorraine (Globensky, 1985 et 1987). Ce sont ces roches cornéennes pélitiques que l'on retrouve sous forme de concassés granulaires dans les remblais sous dalles.

En macroscopie, les cornéennes pélitiques sont des roches très dures et difficiles à rayer au couteau. Les granulats forment des fragments plutôt anguleux et d'aspect corné (photo 53 en annexe 1). Ils montrent souvent des bords tranchants avec des arêtes vives (photo 54 en annexe 1). Ils exposent des cassures conchoïdales qui indiquent une granulométrie des particules de la taille des argiles (photo 55 en annexe 1). Les cornéennes ont généralement une très bonne ténacité. Elles peuvent contenir des **laminations** sédimentaires ou non. Elles ne sont pas *fissiles*, mais peuvent montrer une structure de schistosité. Elles ne sont pas friables. Le granulit produit parfois une faible effervescence au HCl 10 % v/v.

L'étude microscopique (photo 56 en annexe 1) des cornéennes pélitiques révèle une abondance de minéraux argileux, de quartz et de feldspaths xénoblastiques ainsi qu'une faible quantité de calcite. Nous observons aussi plusieurs minéraux opaques aux contours irréguliers qui sont identifiés comme de la pyrite et de la pyrrhotite en lumière réfléchie. Les analyses chimiques (annexe 2) confirment cette observation avec 1,23 % de S.

ÉQUIVALENCES ENTRE LES NOMENCLATURES

Nous avons décrit, à la section **NOMENCLATURES CLASSIQUES**, les pélites (*mudrocks*) et les roches carbonatées. À la section **NOMENCLATURE ET DESCRIPTION DES FACIÈS PÉTROGRAPHIQUES**, nous avons détaillé chaque faciès pétrographique (IP) du tableau 1 en ce qui concerne l'observation macroscopique et microscopique. Nous avons suggéré aussi, pour la majorité des faciès pétrographiques, des nomenclatures classiques équivalentes à ces faciès. Dans certains cas, les équivalences entre les faciès pétrographiques et les nomenclatures classiques sont difficilement applicables. Il faut rappeler que les appellations utilisées pour les faciès pétrographiques sont empiriques et basées sur l'observation visuelle dans le but d'attribuer une valeur numérique à chaque faciès. Les nomenclatures classiques

sont essentiellement descriptives en utilisant des paramètres prédéfinis comme la granulométrie des particules et la composition minéralogique.

Le tableau 6 résume les équivalences suggérées dans cette étude entre les faciès pétrographiques (IP), la classification des pélites de Ingram (1953) et les classifications des roches carbonatées de Dunham (1962) et de Folk (1959). Il faut mentionner que ce tableau ne se limite qu'aux roches sédimentaires incluses dans les faciès pétrographiques.

CONCLUSION

L'étude des matériaux granulaires concassés utilisés comme remblai sous dalles de béton est en constante évolution. Le présent texte « NOMENCLATURE ET DESCRIPTION DES FACIÈS DES ROCHES POUR DÉTERMINER L'INDICE PÉTROGRAPHIQUE DU POTENTIEL DE GONFLEMENT (IPPG) » se veut un outil et un guide d'identification d'usage pratique pour tous les professionnels oeuvrant dans le « domaine de la pyrite ». Nous avons caractérisé chaque faciès pétrographique avec des descriptions macroscopiques et microscopiques qui sont illustrées par de nombreuses photographies. Nous espérons

que cette étude sera utile pour uniformiser l'identification des faciès pétrographiques utilisés dans la détermination de l'indice pétrographique du potentiel de gonflement (IPPG).

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier : François Côté de Inspec-Sol, Luc Saint-Pierre de Laboratoire de Construction 2000, Michel Dussault et Michel Moncho de Quéformat, Jean-Léo Guimond et Marcel Plourde de Technisol et Alain Blanchette de Terratech qui nous ont approvisionnés en centaines d'échantillons de granulats que nous avons utilisés dans cette étude. Nous exprimons également notre gratitude au personnel de l'École Polytechnique de Montréal : Christian Dallaire pour les analyses chimiques, Jean-Luc Bastien pour les tests de coloration chimique, André Lacombe pour les figures et Gaston Gélinas, le grand maître, pour la fabrication des lames minces. Un grand remerciement aussi à Marc Tanguay pour nous avoir initiés au « problème de la pyrite ». Cette étude est dédiée à tous les étudiants, membres du personnel, chercheurs et professeurs qui ont, jadis, œuvré au sein du Département de géologie de l'Université de Montréal.

TABLEAU 6 – Équivalences entre la nomenclature des faciès pétrographiques et les classifications classiques.

FACIÈS PÉTROGRAPHIQUES	CLASSIFICATION DES PÉLITES (Ingram, 1953)	CLASSIFICATION DES CALCAIRES (Dunham, 1962)	CLASSIFICATION DES CALCAIRES (Folk, 1959)
Shale (SH)	Siltshale, Mudshale ou Clayshale Siltstone, Mudstone ou Claystone <i>laminés</i>		
Pélite argileuse (PA)	Claystone <i>non laminé</i>		
Micro-grès argileux (MGA)	Siltstone, Mudstone <i>non laminés</i>		
Calcaire argileux (CA) Dolomie argileuse (DA)		Wackestone, Packstone <i>argileux</i> (<i>laminations ou > 5 % argiles</i>)	Intramicrorite, Oömicrite, Biomicrite, Pelmicrite <i>argileuse</i> (<i>laminations ou > 5 % argiles</i>)
Calcaire avec placage argileux (<i>mince</i>) (CPAM) Dolomie avec placage argileux (<i>mince</i>) (DPAM)		Mudstone calcaire, Wackestone, Packstone, Grainstone avec placage argileux (<i>mince</i>)	Intramicrorite, Oömicrite, Biomicrite, Pelmicrite, Intrasparite, Oösparite, Biosparite, Pelsparite avec placage argileux (<i>mince</i>)
Calcaire à grain fin non argileux (CGF) Dolomie à grain fin Non argileux (DGF)		Mudstone calcaire; Packstone, Wackestone avec allochèmes < 0,25 mm	Micrite; Intramicrorite, Oömicrite, Biomicrite, Pelmicrite avec allochèmes < 0,25 mm
Calcaire cristallin (CC) Dolomie cristalline (DC)		Grainstone	Intrasparite, Oösparite, Biosparite, Pelsparite

RÉFÉRENCES

- ADAMS, A.E. – MACKENZIE, W.S. – GUILFORD, C., 1984 – Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Longman Scientific & Technical; 104 pages.
- AÏTCIN, P.C. – JOLICOEUR, G. – MERCIER, M., 1992 – Technologie des granulats – 2^e édition. Les éditions Le Griffon d'argile, Québec; 386 pages.
- BALLIVY, G. – BELLALOU, A., 2000 – Conception d'essais accélérés de gonflement de remblais pyriteux. Rapport final. Laboratoire de mécanique des roches et de géologie appliquée, Université de Sherbrooke; GR 00-12-02, 34 pages.
- BEAULIEU, J., 2001 – Potentiel de gonflement des remblais granulaires et faciès pétrographiques : les problèmes de la nomenclature. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DV 2001-08, pages 14-15.
- BELLALOU, A. – NKURUNZIZA, G. – BALLIVY, G., 2002 – Caractérisation en laboratoire du potentiel expansif de granulats de remblais de fondation. Revue canadienne de géotechnique; volume 39, pages 141-148.
- BENNETT, R.H. – O'BRIEN, N.R. – MATTHEW, H.H., 1991 – Microstructure of Fine-Grained Sediments. Springer-Verlag, New York; 582 pages.
- BÉRUBÉ, M.A., 1997 – Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement : la situation actuelle au Québec. Colloque AEG-RPPG 1997 : Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement, Laval, Québec; comptes rendus, 40 pages.
- BÉRUBÉ, M.A. – LOCAT, J. – GÉLINAS, P. – CHAGNON, J.Y., 1986 – Black shale heaving at Sainte-Foy, Quebec, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 23, pages 1774-1781.
- BÉRUBÉ, M.A. – GAGNÉ, S. – GUAY, R. – BELLALOU, A. – BALLIVY, G. – NKURUNZIZA, G., 2002 – Le développement d'un essai de gonflement. Colloque AEG 2002 : Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement. Bilan technique depuis 1997; comptes rendus, 50 pages.
- BLANCHETTE, A., 1997 – Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement. Colloque du Regroupement Professionnel des Producteurs de Granulats (RPPG) : Évolution technologique dans l'industrie du granulats. Sainte-Foy; comptes-rendus, 12 pages.
- BLANCHETTE, A., 2002 – Révision des protocoles techniques et des normes NQ. Colloque AEG 2002 : Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement. Bilan technique depuis 1997; comptes rendus, 18 pages.
- BLATT, H. – MIDDLETON, G. – MURRAY, R., 1980 – Origin of Sedimentary Rocks. 2nd edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey; 782 pages.
- BOGGS, S., 2001 – Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Prentice Hall, New Jersey; 726 pages.
- CAILLÈRE, S. – HÉNIN, S., 1963 – Minéralogie des argiles. Masson; 355 pages.
- CAROZZI, A., 1953 – Pétrographie des roches sédimentaires. F. Rouge & Cie S.A., Lausanne; 258 pages.
- COJAN, I. – RENARD, M., 1997 – Sédimentologie. Masson; 418 pages.
- CORMIER, M.C., 2000 – LA PYRITE. Analyse statistique de rapports d'expertise CTQ-M200 relevant les dommages structuraux attribuables à la présence de pyrite dans les remblais sous dalles de bâtiments résidentiels. PFE, École Polytechnique de Montréal; 72 pages.
- CORMIER, M.C., 2002 – LA PYRITE. Analyse statistique sur les dommages structuraux attribuables à la présence de pyrite. Colloque AEG 2002 : Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement. Bilan technique depuis 1997; comptes rendus, 15 pages.
- CÔTÉ, F., 1990 – Expansion de shales pyriteux. Mémoire de maîtrise. École Polytechnique de Montréal; 177 pages.
- CTQ-M100, 2000 – Protocole de caractérisation de gonflement des matériaux granulaires – Matériaux DB et procédures d'application. Comité Technique Québécois d'étude des problèmes de gonflement associés à la pyrite; version 1.2, 14 pages.
- DEER, W.A. – HOWIE, R.A. – ZUSSMAN, J., 1992 – An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman; 696 pages.
- DION, A., 2001 – Développement d'un essai chimique pour la mesure du potentiel d'oxydation des granulats. Mémoire de maîtrise. École Polytechnique de Montréal; 143 pages.
- DOUGHERTY, M.T. – BARSOTTI, N.J., 1972 – Structural damage and potentially expansive sulphide minerals. Bulletin of the Association of Engineering Geologists; volume 9, pages 105-125.
- DUNHAM, R.J. 1962 – Classification of carbonate rocks according to depositional textures. American Association of Petroleum Geologists; memoir 1, pages 108-121.
- ELF-AQUITAINE, 1975 – Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés. 1. Éléments d'analyse. Centres de Recherche de Boussens et de Pau; 173 pages.
- EMBRY, A.F. – KLOVAN, J. E., 1972 – Absolute water depth limits of Late Devonian paleoecologic zones. Geologische Rundschau; volume 61, pages 672-686.
- FOLK, R.L., 1959 – Practical petrographic classification of limestone. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists; volume 43, pages 1-38.
- FOLK, R.L., 1961 – Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company, Austin; 154 pages.
- FOLK, R.L., 1974 – Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company, Austin; 182 pages.
- FOUCAULT, A. – RAOULT, J.F., 1988 – Dictionnaire de géologie. 3^e édition. Masson; 352 pages.
- GLOBENSKY, Y., 1985 – Géologie des régions de Saint-Jean (partie nord) et de Beloeil. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM 84-03, 99 pages.
- GLOBENSKY, Y., 1987 – Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM 85-02, 63 pages.
- GRIM, R.E., 1953 – Clay Mineralogy. McGraw-Hill; 384 pages.
- INGRAM, R.L., 1953 – Fissility of mudrocks. Geological Society of America Bulletin; volume 65, pages 869-878.

- HUTCHISON, C.S., 1974 – Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. John Wiley & Sons; 527 pages.
- JUNG, J., 1969 – Précis de Pétrographie. Masson, Paris; 332 pages.
- KLEIN, C. – HURLBUT, C.S., 1993 – Manual of Mineralogy, 21^e édition, after James D. Dana. John Wiley & Sons, Inc.; 681 pages.
- KORNPROBST, J., 2001 – Métamorphisme et roches métamorphiques. 3^e édition. Dunod; 235 pages.
- LANE, E.W., 1947 – Report of the subcommittee on Sediment Terminology. Transactions of American Geophysical Union; volume 28, pages 936-938.
- LEWAN, M.D., 1978 – Laboratory classification of very fine-grained sedimentary rocks. *Geology*; volume 6, pages 745-748.
- LUNDEGARD, P.D. – SAMUELS, N.D., 1980 – Field classification of fine-grained rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*; volume 50, pages 781-786.
- MAJEWSKE, O.P., 1974 – Recognition of invertebrate fossil fragments in rocks and thin sections. Leiden, E.J. Brill, Netherlands; 101 pages.
- NKURUNZIZA, G., 2000 – Problèmes de gonflement de remblais de fondation liés à la pyrite : caractérisation du potentiel expansif en laboratoire. Mémoire de maîtrise. Université de Sherbrooke; 137 pages.
- NQ 2560-500, 2001 – Prénorme. Granulats. Détermination de l'Indice Pétrographique du Potentiel de Gonflement sulfatique des matériaux granulaires. Méthode d'essai pour l'évaluation de l'IPPG. Bureau de Normalisation du Québec; 20 pages.
- PENNER, E. – GILLIOT, J.E. – EDEN, W.J., 1970 – Investigation of heave in Billings shale by mineralogical and biochemical methods. *Canadian Geotechnical Journal*; volume 7, pages 333-338.
- PENNER, E. – EDEN, W.J. – GRATAN-BELLEW, P.E., 1975 – Expansion des argiles litées pyriteuses. Digest de la construction au Canada, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil National de Recherches du Canada; volume 152f, pages 1-5.
- PETTIJOHN, F.J. – POTTER, P.E. – SIEVER, R., 1972 – Sand and Sandstone. Springer-Verlag, New-York; 618 pages.
- PETTIJOHN, F.J., 1975 – Sedimentary Rocks. Third Edition. Harper & Row, New-York; 628 pages.
- PICARD, M.D., 1971 – Classification of fine-grained sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*; volume 41, pages 179-195.
- POTTER, P.E. – MAYNARD, J.B. – PRYOR, W.A., 1980 – Sedimentology of shale. Springer-Verlag, New York; 306 pages.
- QUIGLEY, R. – ZAJIC, J.E. – MCKYES, E. – YONG, R.N., 1973 – Biochemical alteration and heave of black shale: detailed observations and interpretations. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 10, pages 1005-1015.
- REIJERS, T.J.A. – HSÜ, K.J., 1986 – Manual of Carbonate Sedimentology: A Lexicographical Approach. Academic Press, London; 302 pages.
- SHAW, D.B. – WEAVER, C.E., 1965 – The Mineral Composition of Shales. *Journal of Sedimentary Petrology*; volume 35, pages 213-222.
- TOURTELOT, H.A., 1960 – Origin and use of the word « shale ». *American Journal of Science*; volume 258-A, pages 335-343.
- TUCKER, M.E. – WRIGHT, V.P., 1990 – Carbonate Sedimentology. Blackwell Scientific Publication, Oxford; 482 pages.
- UDDEN, J.A., 1914 – Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*; volume 25, pages 655-744.
- WEAVER, C.E., 1989 – Clays, Muds, and Shales. Elsevier; 819 pages.
- WENTWORTH, C.K., 1922 – A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*; volume 30, pages 377-392.
- WILKIN, R.T. – BARNES, H.L., 1997 – Formation processes of framboidal pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; volume 61, pages 323-339.
- WILLIAMS, H. – TURNER, F.J. – GILBERT, C.M., 1982 – Petrography (2nd edition). An Introduction to The Study of Rocks in Thin sections. Freeman, San Francisco; 626 pages.



PHOTO 1 – Matériaux granulaires concassés composés de différents faciès pétrographiques.



PHOTO 2 – Microphotographie d'un amas globulaire de pyrite polyframboïde. Lumière réfléchie.

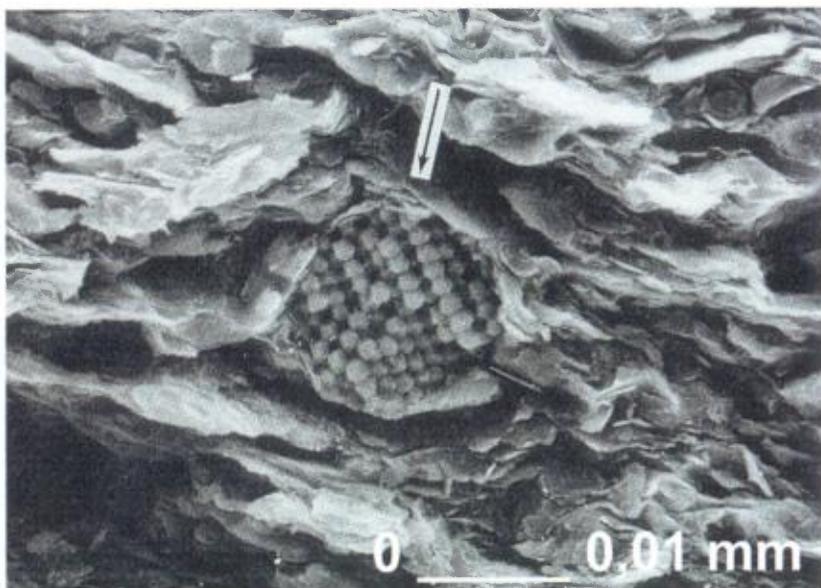


PHOTO 3 – Pyrite polyframboïde (flèche) entre des feuillets de minéraux argileux dans un shale. Microphotographie au microscope électronique à balayage (MEB) (modifiée d'après Bennett *et al.*, 1991, figure 2.19).



PHOTO 4 – Cristaux tabulaires de gypse en rosettes aplaties. Échelle en mm.

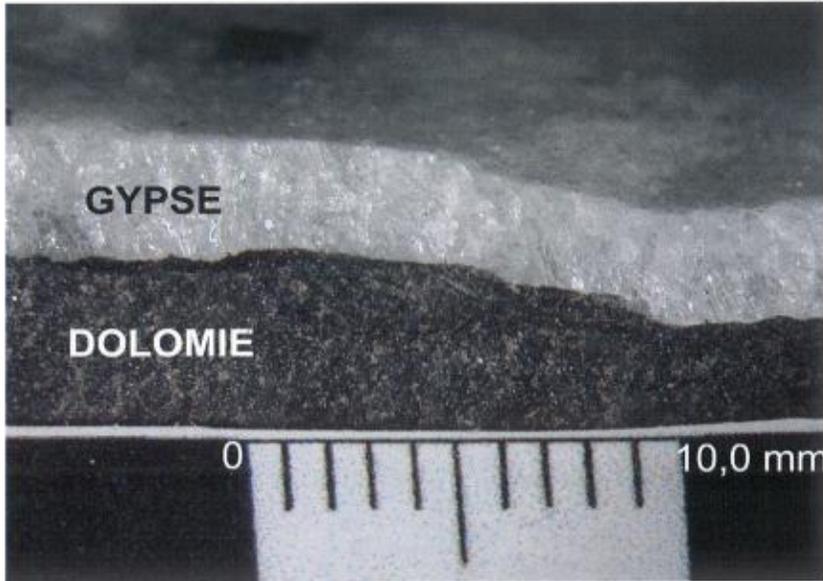


PHOTO 5 – Cristaux prismatiques de gypse bien développés dans une fracture ouverte.

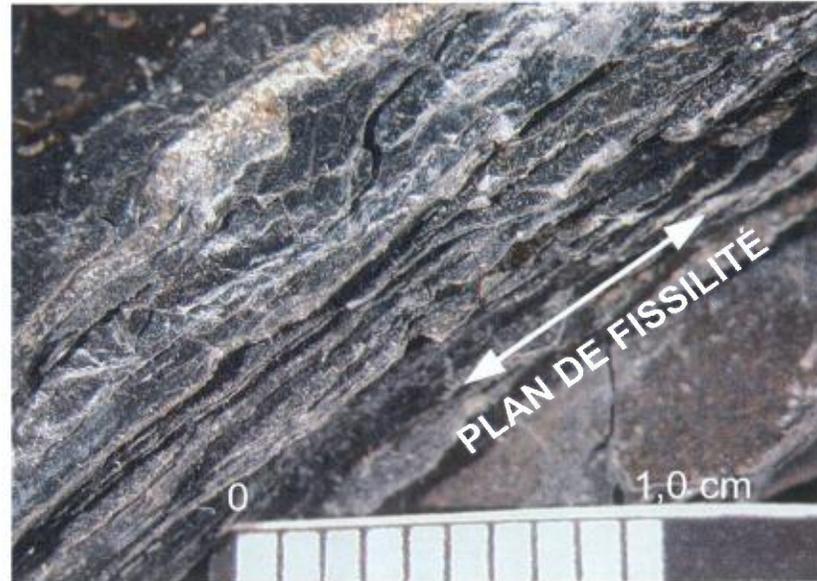


PHOTO 6 – Plans de fissilité observés à la loupe 10x dans un shale.

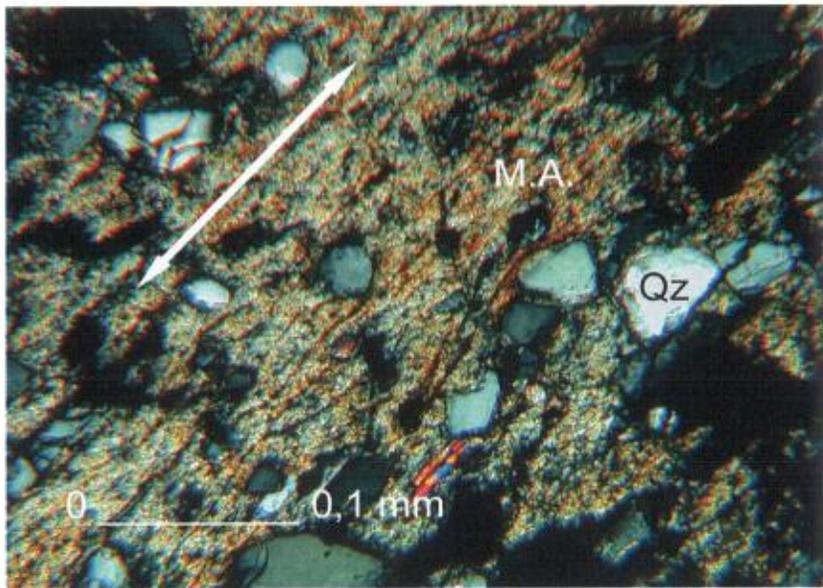


PHOTO 7 – Microphotographie de minéraux argileux (M.A.) orientés selon la fissilité (double flèche) dans un shale avec quartz (Qz). Lumière polarisée.

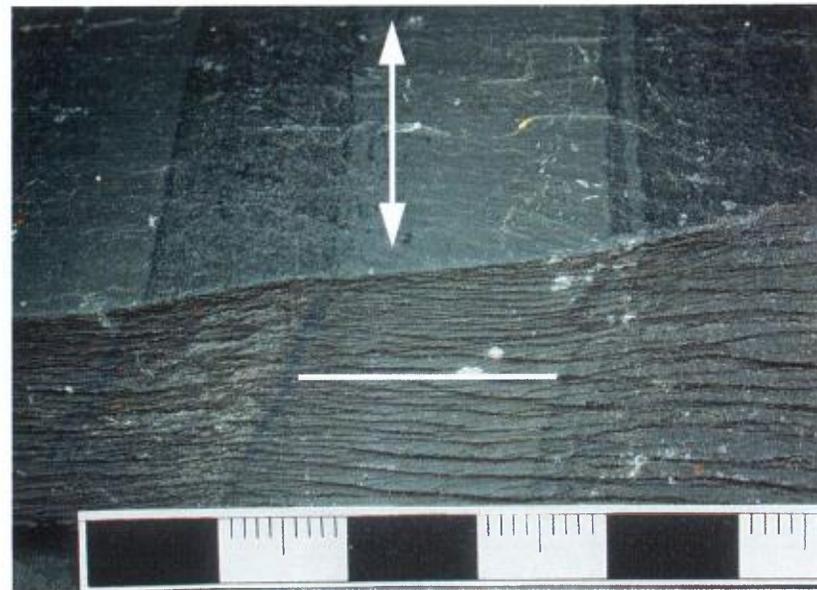


PHOTO 8 – Schistosité ou clivage parallèle à l'échelle (trait plein) et perpendiculaire au litage (double flèche). Il n'y a pas de fissilité dans cette roche. Échelle en cm.

ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES (SUITE)



PHOTO 9 – Granulats de shales. Les fragments ont des formes de plaques allongées. Échelle en cm.



PHOTO 10 – Granulat de shale vu à la loupe 10x. Observez les plans de fissilité. Échelle en cm.

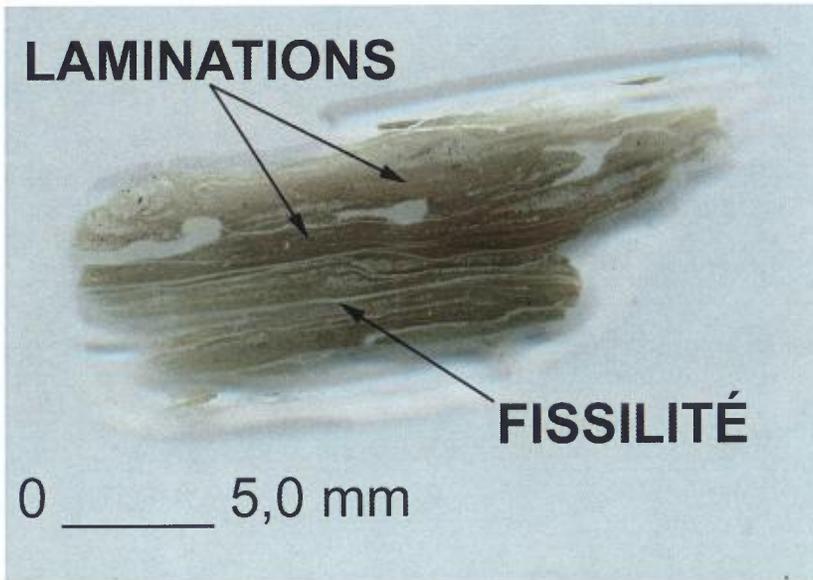


PHOTO 11 – Lame mince de shale. Observez la fissilité (lignes blanches) et les laminations (lignes foncées).

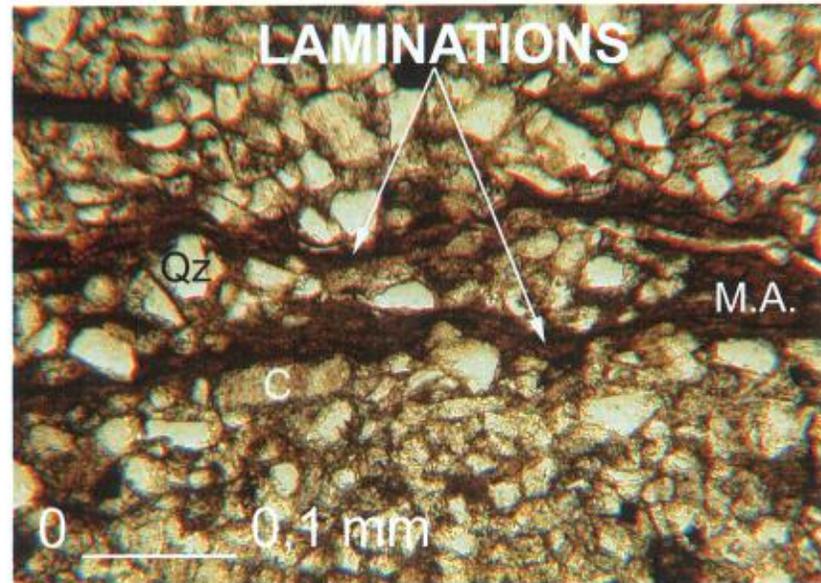


PHOTO 12 – Microphotographie d'un shale avec laminations de minéraux argileux (M.A.), grains de quartz (Qz) et cristaux de calcite (C). Lumière naturelle.



PHOTO 13 – Granulats de shales. Les fragments ont des formes de plaques allongées. Observez sur chaque fragment les plans de fissilité parallèles au plan de la photo (double flèche). La couleur rouge indique l'oxydation de sulfure de fer. Échelle en cm.



PHOTO 14 – Granulat de shale vu à la loupe 10x. Observez les cassures conchoïdales indicatrices de granulométrie fine et les plans de fissilité parallèles au plan de la photo. Échelle en cm.

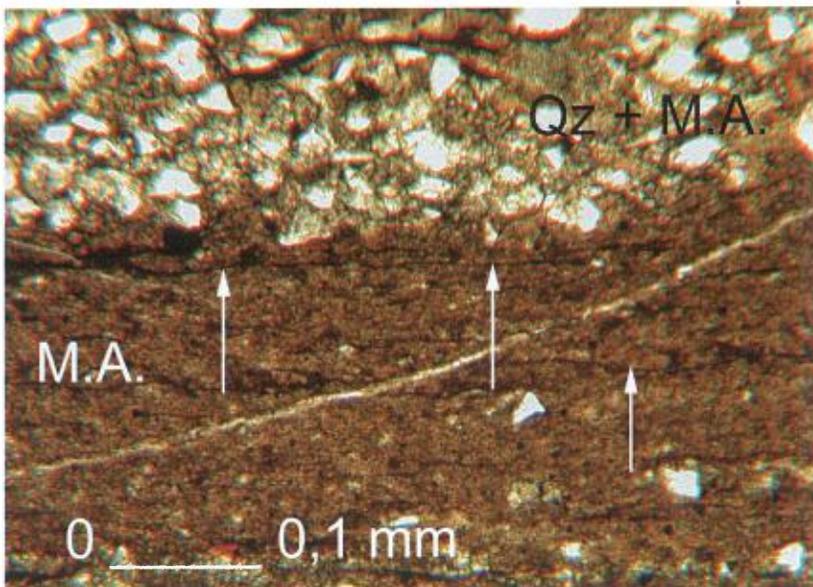


PHOTO 15 – Microphotographie d'un shale : niveau de minéraux argileux (M.A.) avec laminations (flèches) et niveau de quartz (Qz) et minéraux argileux (M.A.) de la taille des silts. Lumière naturelle.

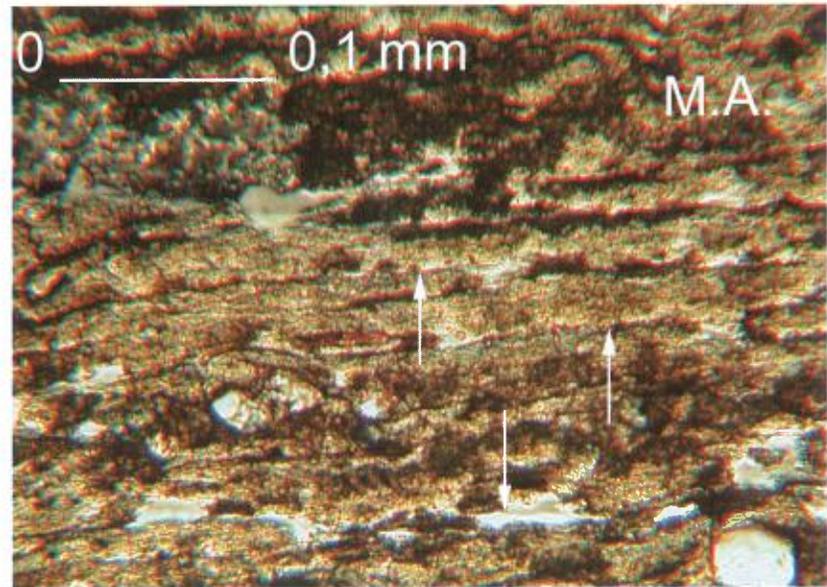


PHOTO 16 – Microphotographie d'un shale avec plans de fissilité (flèches) et minéraux argileux (M.A.). Lumière naturelle.

ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES (SUITE)



PHOTO 17 – Granulats de pélites argileuse. Les fragments ont des formes prismatiques. Échelle en cm.



PHOTO 18 – Granulat de pélite argileuse vu à la loupe 10x. Observez les cassures pseudo-conchoïdales en éventail. Échelle en cm.

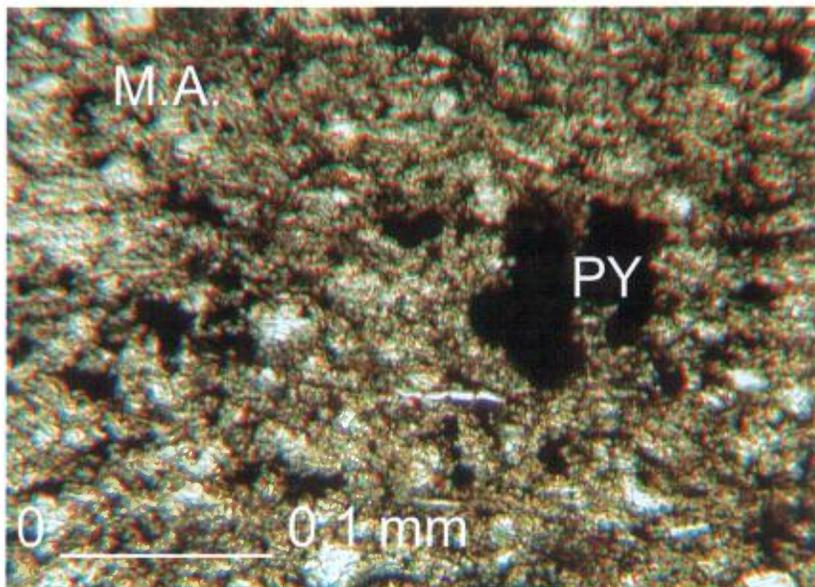


PHOTO 19 – Microphotographie d'une pélite argileuse avec pyrite (PY) et minéraux argileux (M.A.). Notez l'absence de fissilité ou de laminations. Lumière naturelle.

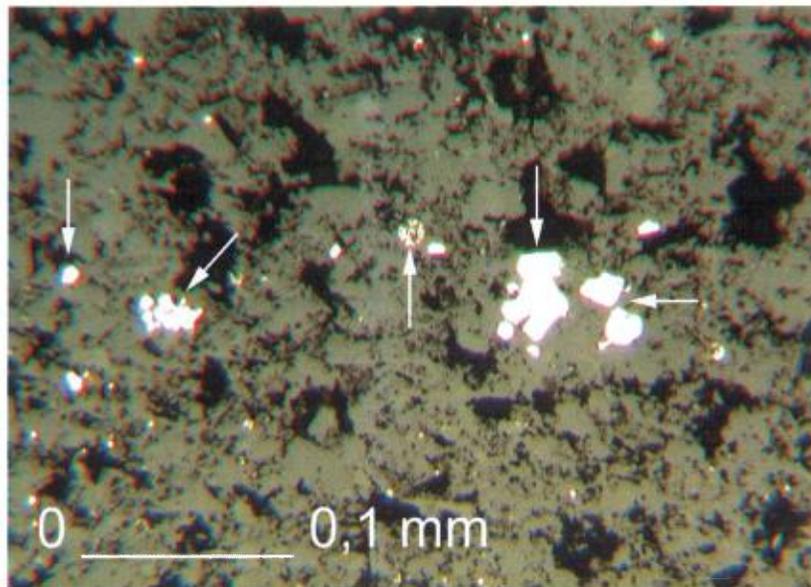


PHOTO 20 – Microphotographie en lumière réfléchie de la pélite argileuse de la photo 19. Les flèches indiquent les pyrites.

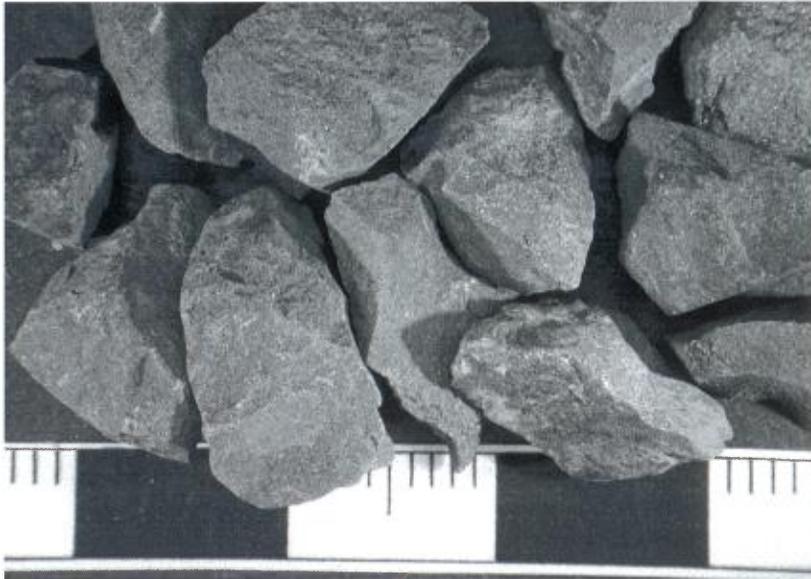


PHOTO 21 – Granulats de microgrès argileux. Les fragments ont des formes cuboïdes. Observez les cassures irrégulières à surface rugueuse. Échelle en cm.



PHOTO 22 – Granulat de microgrès argileux vu à la loupe 10x.

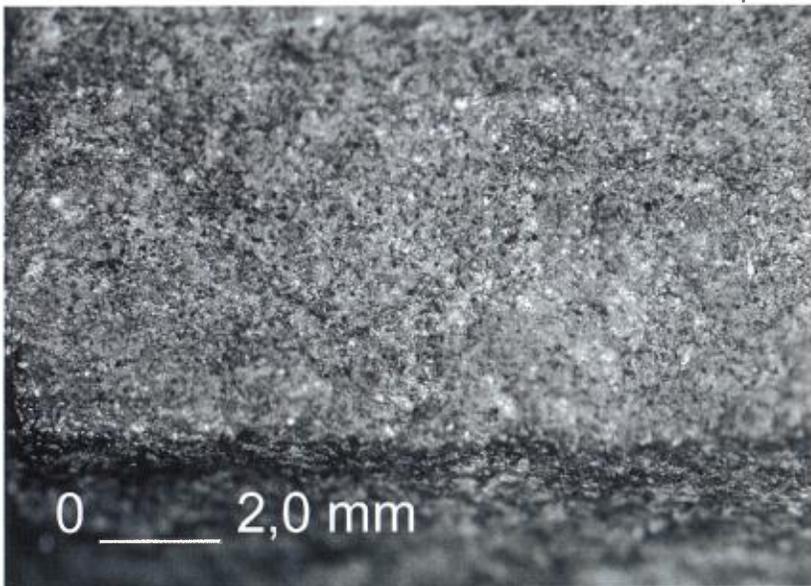


PHOTO 23 – Granulat de microgrès argileux de la photo 22 vu à la loupe binoculaire. Observez la surface rugueuse attribuable aux grains de la taille des silts visibles sur la photo.

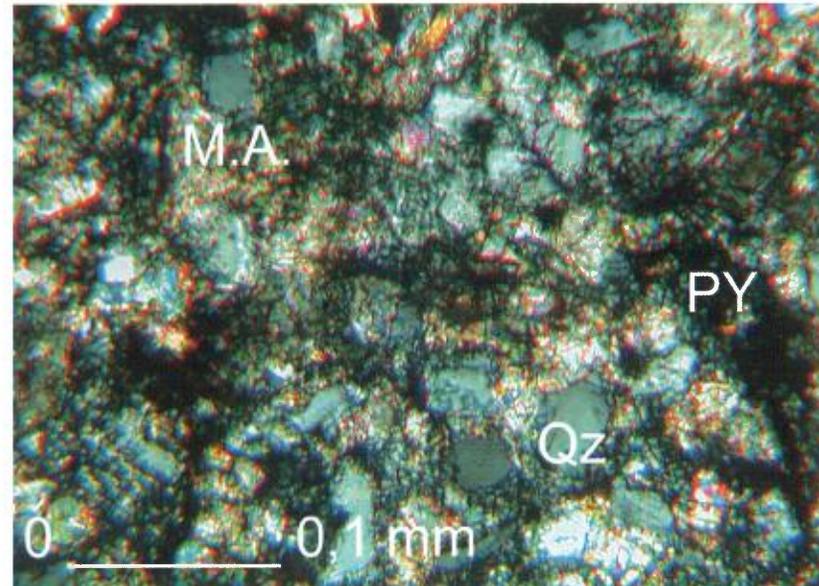


PHOTO 24 – Microphotographie du microgrès argileux de la photo 22. Les grains de quartz (Qz) gris de la taille des silts sont entourés de minéraux argileux (M.A.) jaunes et de pyrite (PY) noire. Lumière polarisée.



PHOTO 25 – Granulats de calcaire argileux. Les fragments ont des formes de plaques. La double flèche indique l'orientation de la fissilité et des laminations. Coloration chimique. Échelle en cm.

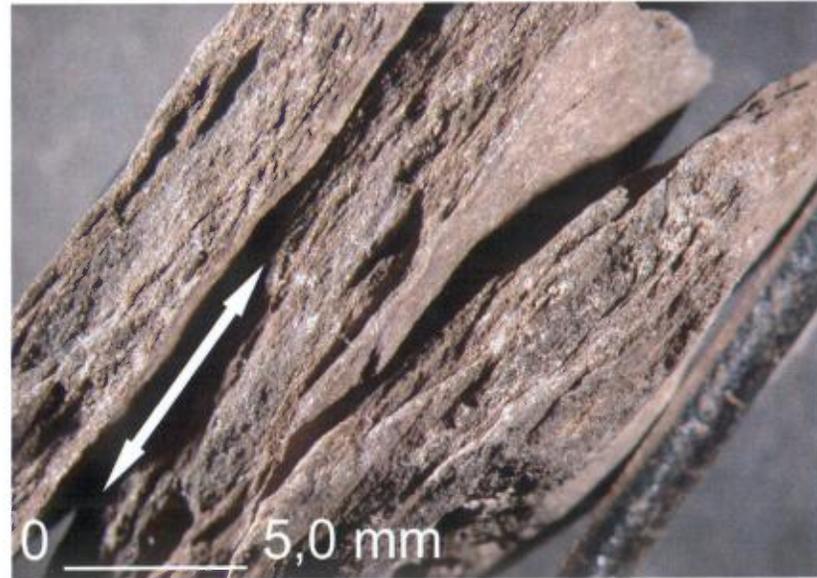


PHOTO 26 – Granulat de calcaire argileux vu à la loupe 10x. La double flèche indique l'orientation de la fissilité et des laminations. Coloration chimique.

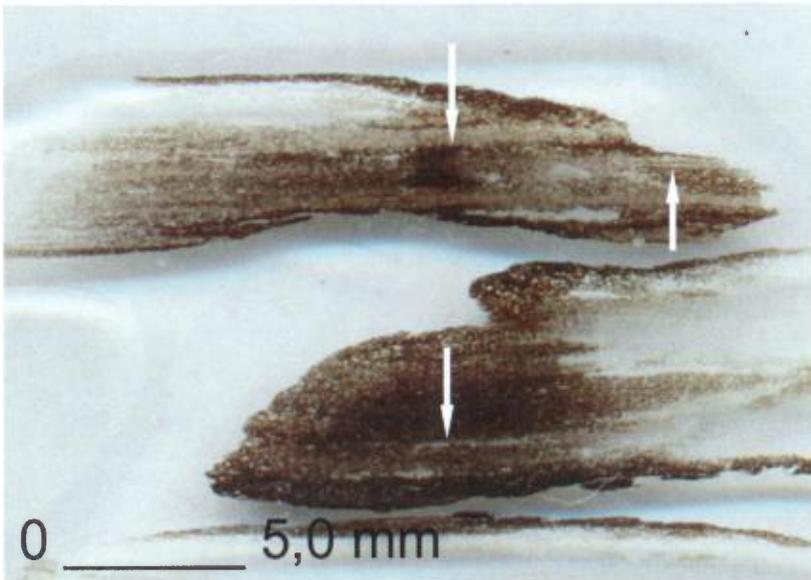


PHOTO 27 – Lame mince des granulats de calcaires argileux des photos 25 et 26. Les flèches indiquent les laminations et la fissilité.

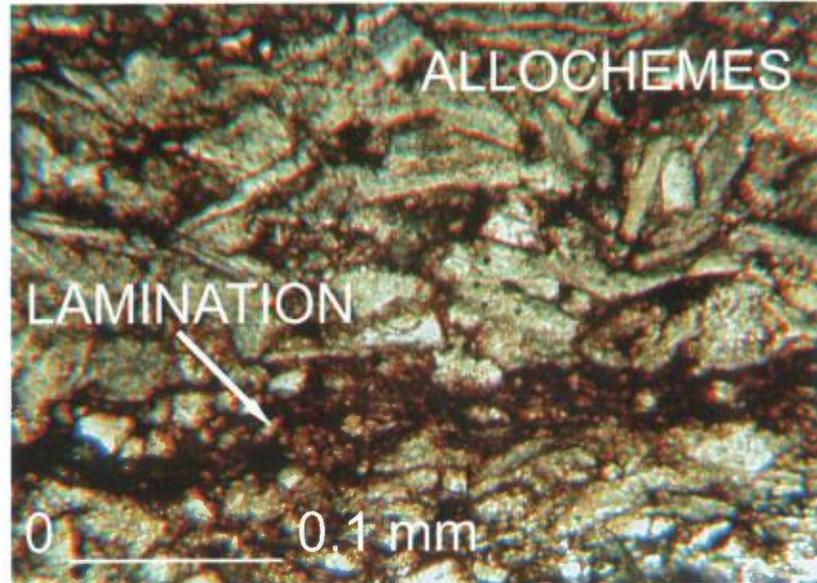


PHOTO 28 – Microphotographie des granulats de calcaires argileux des photos 25 à 27 avec laminations de minéraux argileux. Les allochèmes sont en majorité des débris fossilifères. Lumière naturelle.



PHOTO 29 – Granulats de calcaires argileux. Les fragments ont des formes cuboïdes. Observez les rayures au couteau (flèches) et l'aspect terreux à la surface des échantillons. L'échantillon de gauche correspond à la photo 30. Coloration chimique. Échelle en cm.

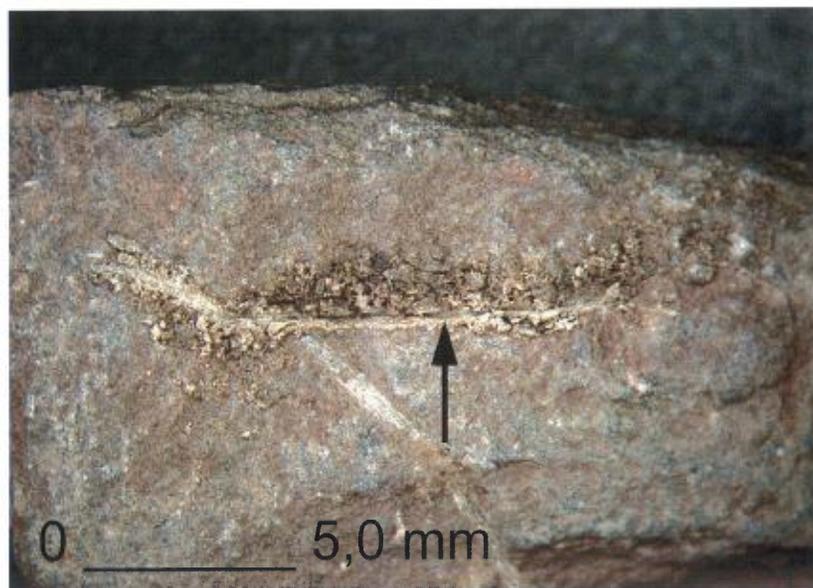


PHOTO 30 – Granulat de calcaire argileux de la photo 29 vu à la loupe 10x. Observez la rayure au couteau (flèche) avec poudres résiduelles. Coloration chimique.

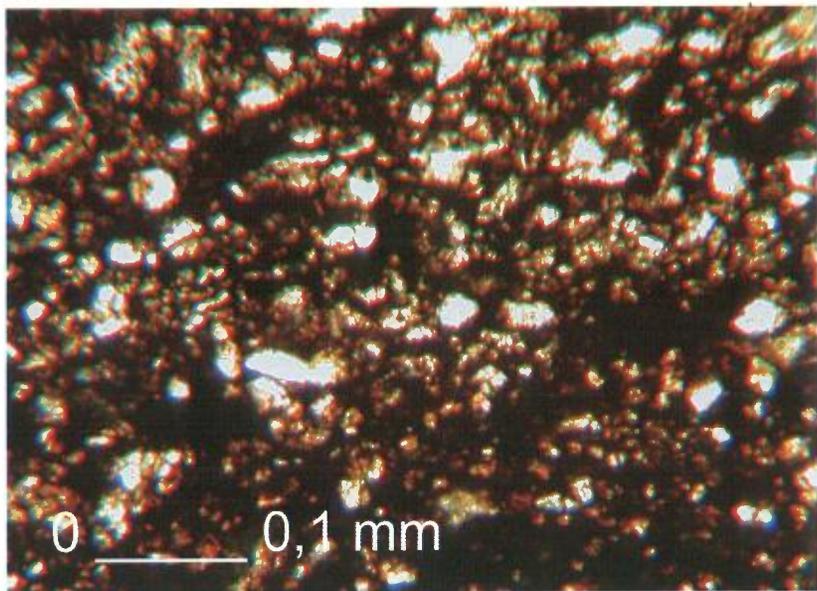


PHOTO 31 – Microphotographie du calcaire argileux de la photo 30. Les teintes foncées qui correspondent aux minéraux argileux, à la matière organique et à la pyrite masquent la calcite sous-jacente et surévaluent le pourcentage de minéraux foncés. Lumière naturelle.

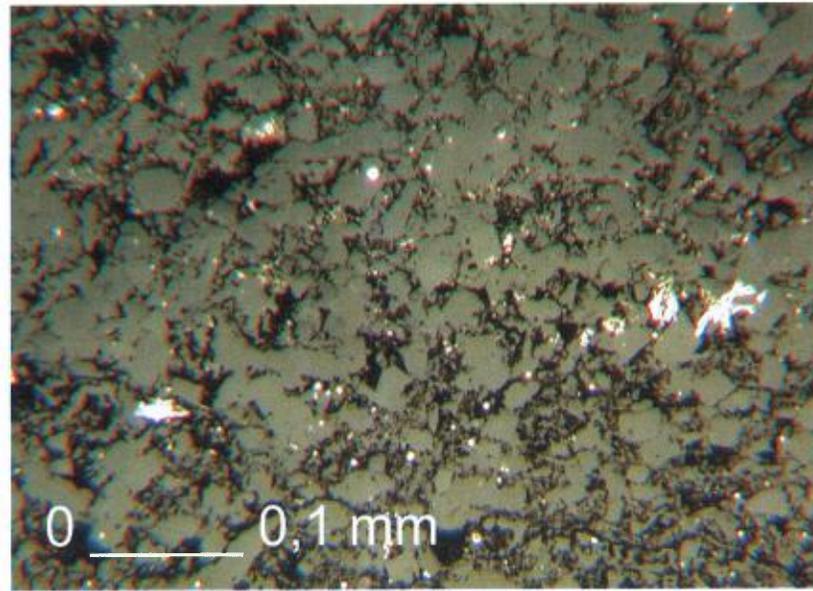


PHOTO 32 – Microphotographie en lumière réfléchie de la photo 31. Les teintes foncées qui correspondent aux minéraux argileux et à la matière organique sont représentatives du pourcentage de minéraux foncés. Les pyrites sont de couleur blanche.

ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES (SUITE)

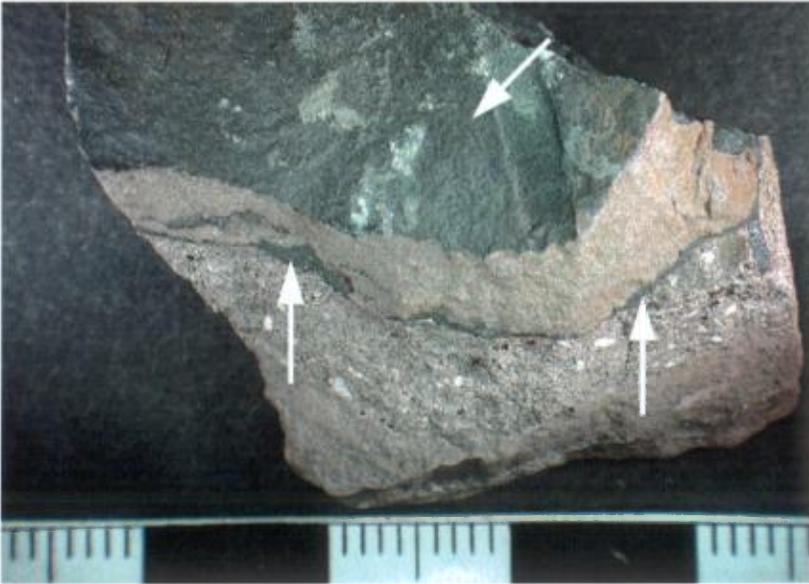


PHOTO 33 – Exemple de calcaire avec placage argileux qui résulte du délitage selon des laminations de minéraux argileux (flèches). Coloration chimique.



PHOTO 34 – Granulat de calcaire avec placage argileux (flèches) vu à la loupe 10x. Échantillon non coloré. Échelle en cm.



PHOTO 35 – Calcaire avec placage argileux vu à la loupe 10x. Le placage argileux a tendance à se séparer en feuillets (flèche). Coloration chimique. Échelle en cm.



PHOTO 36 – Exemple de dolomie avec placage argileux mince qui résulte du délitage selon des laminations de minéraux argileux (flèches). Coloration chimique. Vu à la loupe 10x. Échelle en cm.

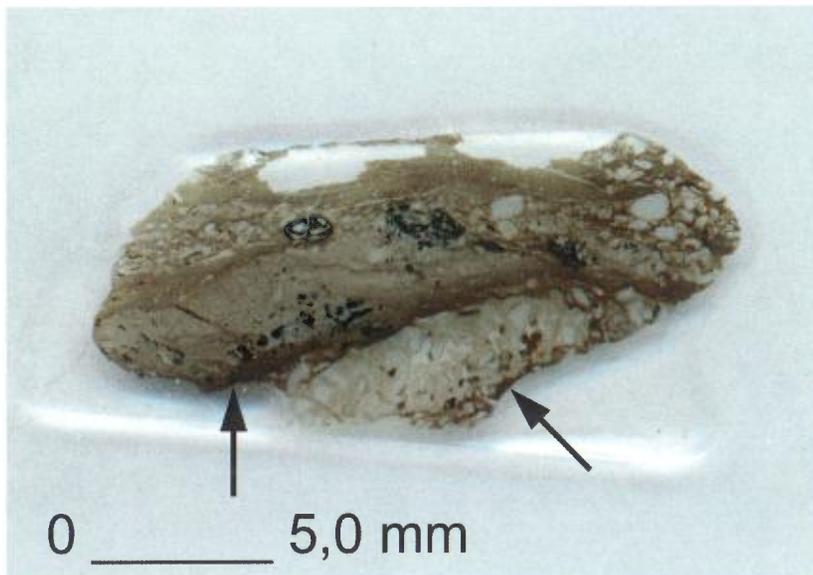


PHOTO 37 – Lame mince de calcaire avec placage argileux. Les flèches noires indiquent les placages argileux à la surface du granulat. La microphotographie 38 est indiquée par la flèche de droite.

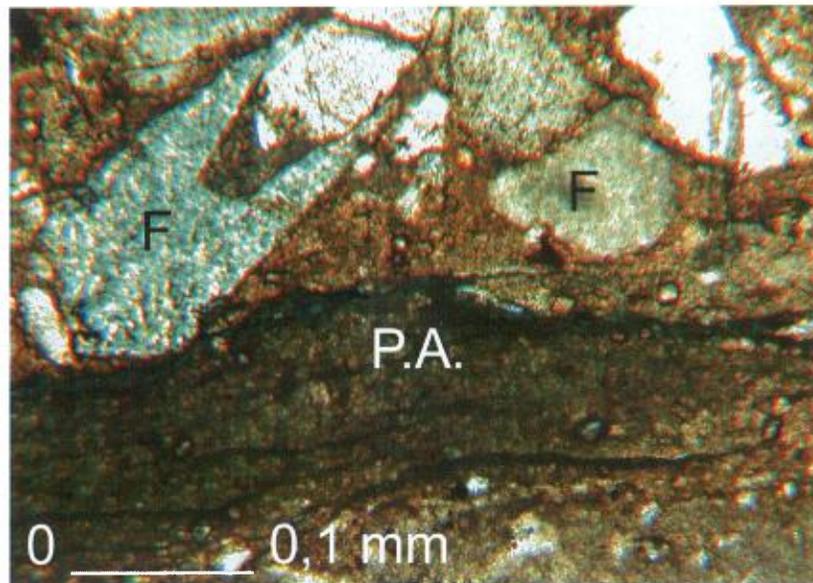


PHOTO 38 – Microphotographie de la photo 37. Le placage argileux (P.A.) est en contact avec le calcaire à fossiles (F). La micrite est la boue calcaire située entre les fossiles. Lumière polarisée.

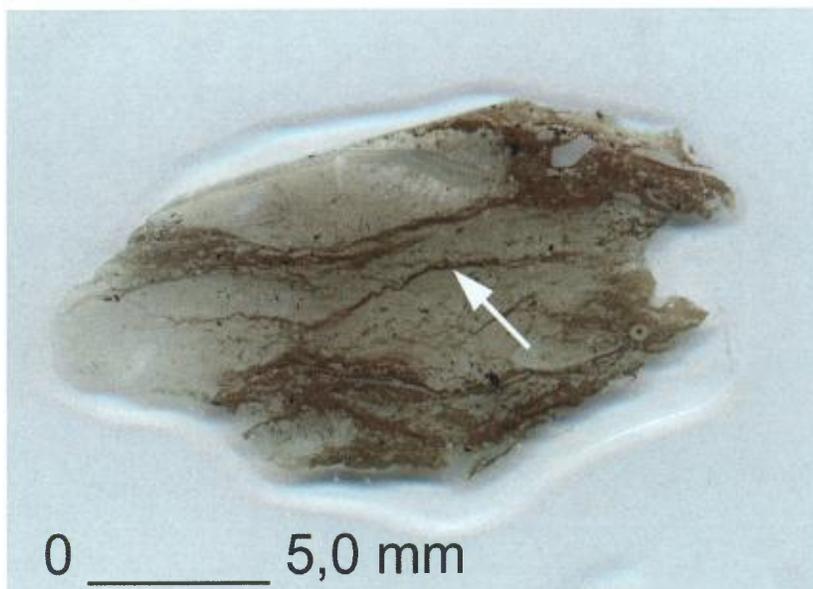


PHOTO 39 – Lame mince de calcaire argileux. La flèche blanche indique une lamination fine de minéraux argileux et de pyrite (voir microphotographie 40) qui est un placage argileux *mince* potentiel s'il y a fracturation du granulat.

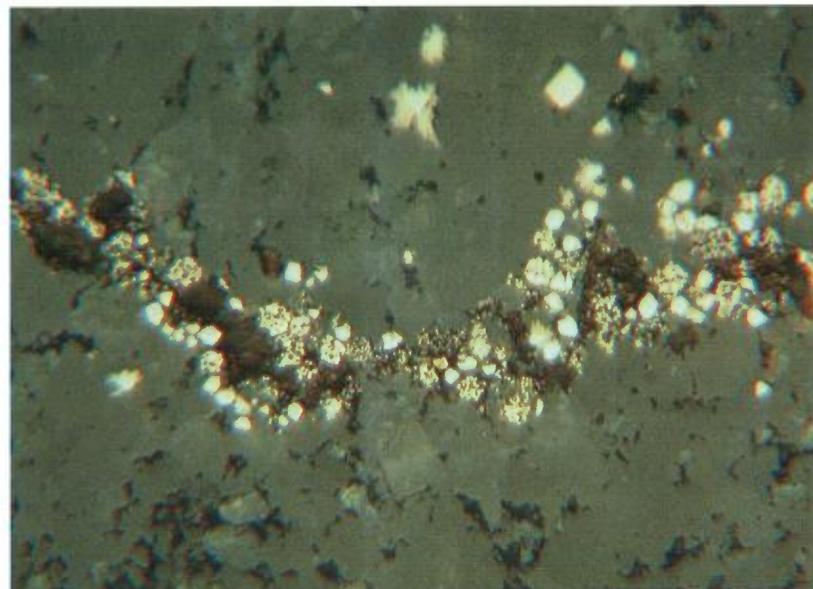


PHOTO 40 – Microphotographie de la lamination fine de minéraux argileux et de pyrite indiquée à la photo 39. Lumière réfléchie.

ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES (SUITE)



PHOTO 41 – Granulat de calcaire à grain fin non argileux. Les surfaces exposées montrent des cassures pseudo conchoïdales. Coloration chimique. Échelle en cm.



PHOTO 42 – Granulat de dolomie à grain fin non argileux vu à la loupe 10x. La flèche indique une surface avec cassures pseudo conchoïdales. Observez la fine texture grenue représentée par les grains noirs. Coloration chimique. Échelle en cm.



PHOTO 43 – Granulat de calcaire à grain fin non argileux vu à la loupe 10x. Les cassures conchoïdales observées sur toute la surface signalent une granulométrie de la taille des argiles. Coloration chimique. Échelle en cm.

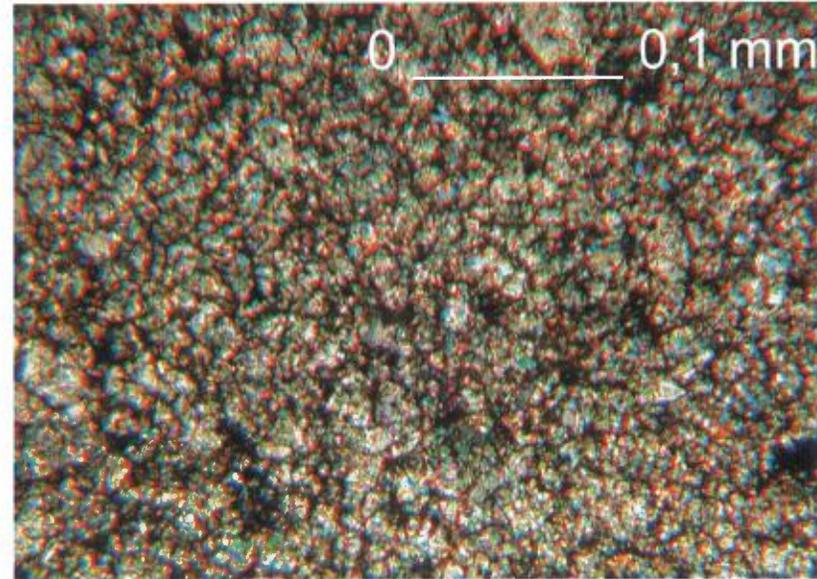


PHOTO 44 – Microphotographie du granulat de calcaire à grain fin non argileux de la photo 41. Les teintes pâles sont de la calcite microcristalline (microsparite). La pyrite est de couleur noire. Lumière naturelle.

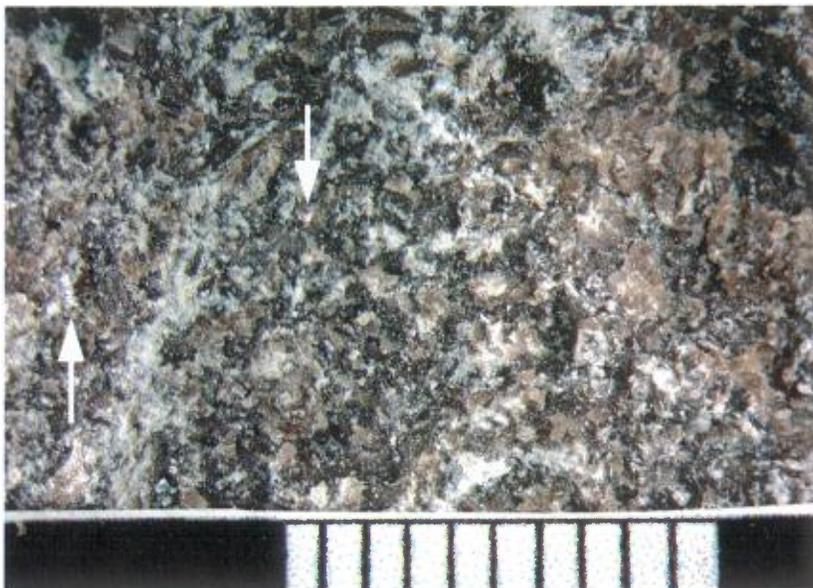


PHOTO 45 – Granulat de calcaire cristallin vu à la loupe 10x. Observez la texture grenue et les reflets des surfaces cristallines (flèches). Échelle en cm.

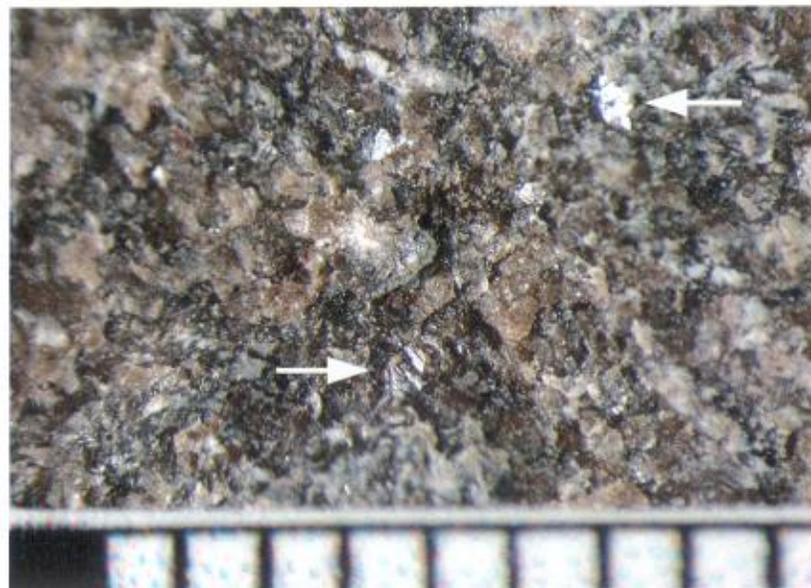


PHOTO 46 – Macrophotographie du calcaire cristallin de la photo 45. Observez les reflets brillants sur les faces cristallines de la calcite (flèches). Échelle en mm.



PHOTO 47 – Lame mince du granulat de calcaire cristallin des photos 45 et 46. Les fossiles sont les éléments figurés foncés. La sparite est interstitielle et incolore. Échelle en mm.

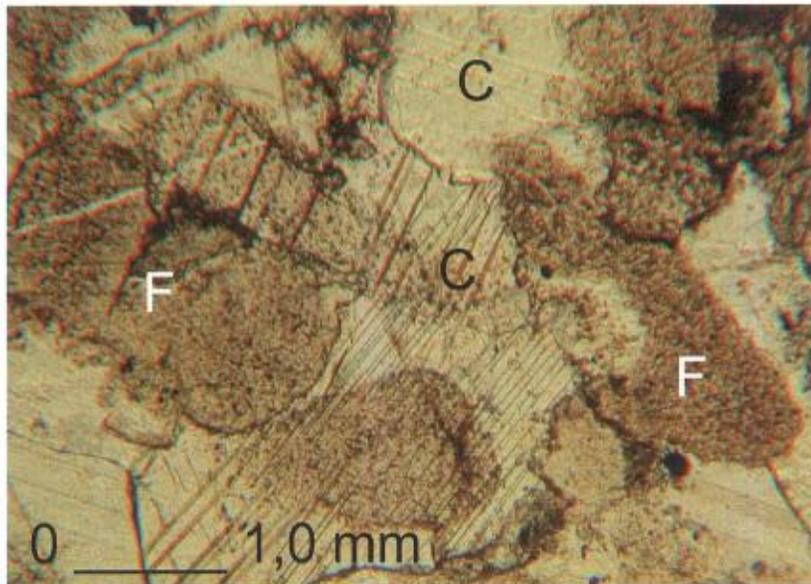


PHOTO 48 – Microphotographie du calcaire cristallin. Observez les macles mécaniques de la calcite (C) et les fossiles (F). Lumière naturelle.



PHOTO 49 – Granulats de schiste micacé. Observez les feuilletés de micas qui forment la schistosité. Échelle en cm.



PHOTO 50 – Granulat de schiste micacé vu à la loupe 10x. Observez les reflets très brillants des faces cristallines des micas. Échelle en cm.

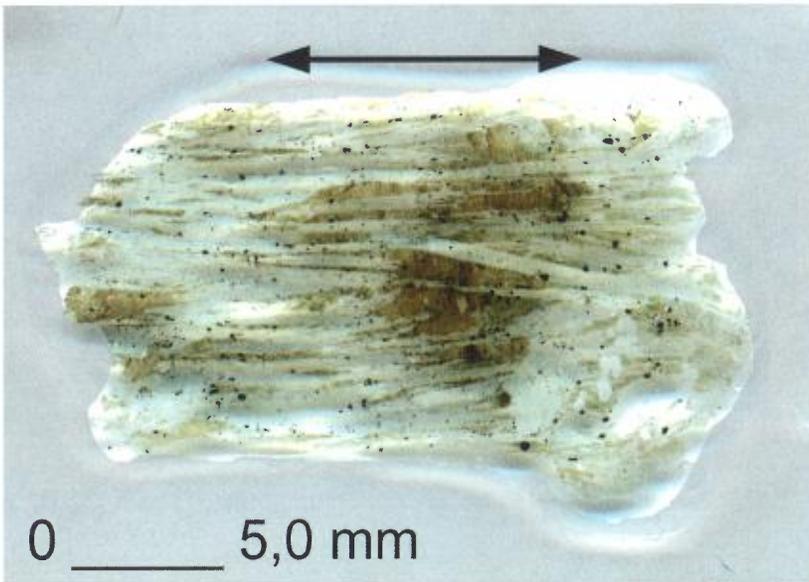


PHOTO 51 – Lamme mince du granulat de schiste micacé de la photo 50. L'orientation de la schistosité est indiquée par la double flèche.

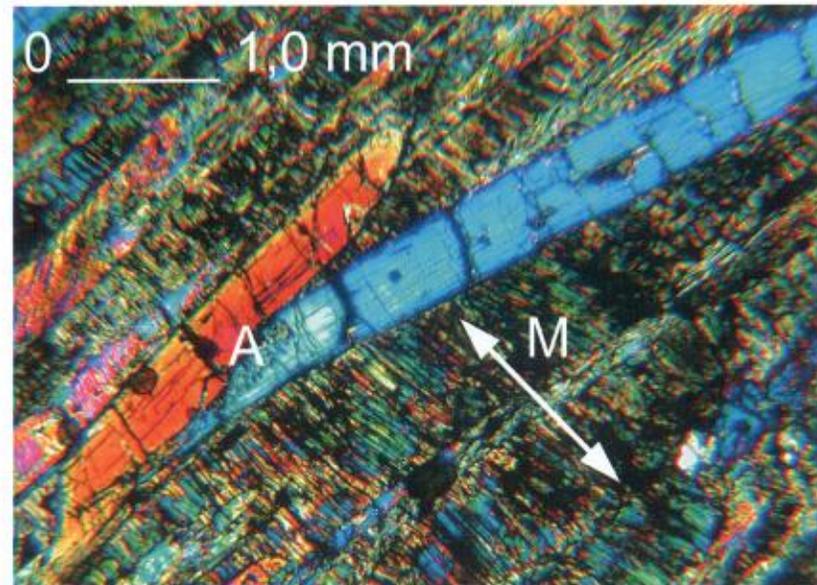


PHOTO 52 – Microphotographie du granulat de schiste micacé de la photo 51. Observez les orientations (double flèche) des micas (M). Les amphiboles (A) sont des trémolites. Lumière polarisée.



PHOTO 53 – Granulats de cornéennes. Les fragments sont anguleux. Échelle en cm.



PHOTO 54 – Granulat de cornéenne. Observez les bords tranchants (flèches) en périphérie du granulat. Échelle en cm.



PHOTO 55 – Granulat de cornéenne vu à la loupe 10x. Observez les cassures conchoïdales (flèche noire) et les bords tranchants (flèche blanche). Échelle en cm.

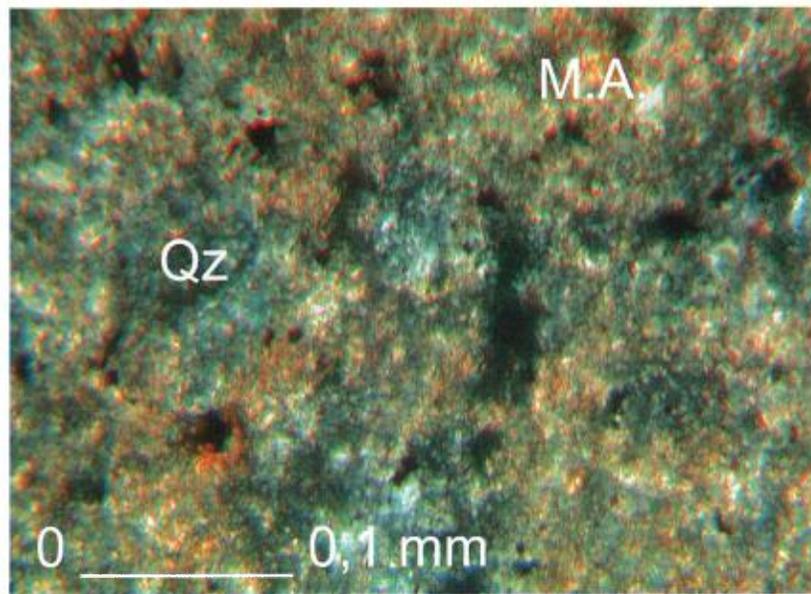


PHOTO 56 – Microphotographie du granulat de cornéenne de la photo 55. Les minéraux argileux (M.A.) sont brunâtres et les quartz (Qz) gris pâles à incolores. Lumière polarisée.

Voici les résultats des analyses chimiques effectuées sur des granulats représentatifs des faciès pétrographiques du tableau 1 (annexe 2). Les faciès sont placés dans le même ordre que dans le tableau 1. Il y a deux analyses chimiques pour les SH, les CPA et les CC. Les différentes méthodes d'analyses chimiques utilisées dans la détermination des éléments sont la spectroscopie d'absorption atomique pour les éléments majeurs, le titrage au dichromate de potassium pour le FeO, la méthode gravimétrique pour la perte au feu à 1100°C (P.A.F.) et le four à induction LECO pour le soufre total (S) et le carbone total (C_{tot}).

SH = shale, PA = pélite argileuse, MGA = microgrès argileux, CA = calcaire argileux, DA = dolomie argileuse, CPA = calcaire avec placage argileux, DPA = dolomie avec placage argileux, CPAM = calcaire avec placage argileux mince, DPAM = dolomie avec placage argileux mince, CGF = calcaire à grain fin non argileux, DGF = dolomie à grain fin non argileux, CC = calcaire cristallin, DC = dolomie cristalline, SM = schiste micacé, C = cornéenne, COT = carbone organique total.

FACIÈS	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	P.A.F.	TOTAL	COT	C _{tot}	S
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SH.1	46,1	0,77	17,2	6,60	3,80	0,35	7,20	1,26	5,24	0,03	10,65	99,20	0,19	1,84	0,93
SH.2	52,3	0,92	20,8	0,83	3,32	0,53	8,00	3,24	3,53	0,03	6,04	99,54	0,09	0,30	0,22
PA	59,0	0,76	16,0	2,05	3,68	1,32	4,30	3,11	2,80	0,06	6,27	99,35	0,34	0,95	0,73
MGA	47,0	1,95	11,6	9,15	5,81	1,91	2,40	6,60	1,79	0,21	11,23	99,66	0,13	2,62	0,33
CA	16,0	0,30	4,94	37,4	4,17	0,21	1,45	0,30	1,41	0,04	33,93	100,14	0,62	9,23	0,32
DA	46,5	0,63	14,1	6,70	6,06	0,08	8,76	0,20	3,47	0,03	13,00	99,55	0,46	3,30	1,30
CPA.1	8,00	0,13	2,60	46,0	2,52	0,16	0,78	0,04	0,70	0,03	39,15	100,11	0,38	10,7	0,13
CPA.2	38,0	0,39	6,84	26,1	1,31	0,93	2,13	1,26	1,40	0,18	20,61	99,15	0,07	5,59	0,42
DPA	13,5	0,19	3,76	28,5	12,9	0,07	2,43	0,77	0,86	0,03	36,18	99,14	0,14	10,0	0,46
CPAM	8,40	0,14	2,65	44,3	3,40	0,18	0,73	0,18	0,84	0,03	38,51	99,36	0,62	10,8	0,31
DPAM	11,6	0,15	3,00	25,5	17,1	0,03	1,75	0,42	0,63	0,06	38,97	99,18	0,12	10,6	0,28
CGF	11,0	0,11	1,55	47,0	1,45	0,14	0,33	0,04	0,47	0,03	38,35	100,46	0,25	10,4	0,08
DGF	9,70	0,09	1,78	27,1	17,8	0,02	1,17	0,28	0,64	0,07	40,82	99,47	0,06	11,0	0,20
CC.1	1,48	0,01	0,22	54,0	0,62	0,02	0,05	0,03	0,19	0,05	43,52	100,19	0,01	11,8	0,05
CC.2	1,53	0,01	0,20	54,2	0,57	0,02	0,08	0,03	0,18	0,03	43,40	100,25	0,00	11,8	0,05
DC	15,0	0,09	2,95	25,1	16,4	0,04	2,06	0,41	0,44	0,05	37,14	99,68	0,02	10,0	0,25
SM	50,2	0,21	5,03	4,07	24,3	0,06	0,42	4,35	4,67	0,12	5,84	99,27	0,06	0,06	0,01
C	62,5	0,56	16,1	2,06	3,80	1,19	4,36	4,42	0,79	0,07	3,24	99,11	0,10	0,20	1,23

Résumé

Depuis quelques années, des centaines de bâtiments résidentiels et commerciaux sont endommagés par des problèmes de gonflement attribuables à des réactions chimiques dans les matériaux granulaires concassés utilisés comme remblais sous les dalles de béton (appelé communément « le problème de la pyrite »). Depuis 1997, une méthodologie d'essai de caractérisation de ces matériaux granulaires, connue sous le nom de « indice pétrographique du potentiel de gonflement (IPPG) », a été établie et utilisée par les géologues et ingénieurs dans le but d'évaluer et de prévenir ces problèmes de gonflement des remblais.

Cette méthodologie est basée sur l'identification des différents faciès pétrographiques (lithologies) qui composent un remblai granulaire. Une valeur absolue qui varie de 0,0 à 1,0 est attribuée à chaque faciès pétrographique en fonction de son potentiel de gonflement. Cette valeur est appelée « indice pétrographique (IP) » et le cumulatif pondéré des valeurs des différents faciès pétrographiques permet d'évaluer le gonflement potentiel (IPPG) d'un remblai.

La méthodologie utilise une nomenclature des faciès pétrographiques qui est empirique et visuelle. L'identification de ces faciès, dont la grande majorité sont des roches sédimentaires, est souvent qualitative et subjective. Cette identification influence donc directement les valeurs des indices pétrographiques (IP) utilisées dans la détermination de l'IPPG.

Nous passons en revue les nomenclatures classiques qui s'appliquent aux roches sédimentaires. Nous caractérisons chaque faciès pétrographique avec des descriptions macroscopiques et microscopiques qui sont illustrées par de nombreuses photographies. Nous suggérons des équivalences entre les nomenclatures classiques utilisées dans le monde scientifique et la nomenclature empirique des faciès pétrographiques. Enfin, cette étude se veut surtout un outil et un guide d'identification d'usage pratique à l'intention de tous les professionnels oeuvrant dans le « domaine de la pyrite ».