



Canada



English	Contactez-nous	Aide	Recherche	Site du Canada
Publications	Activités de recherches	Évaluations de produits	Codes et guides	Site du CNRC
Rejoignez-nous!				Accueil IRC
Liens d'intérêt				Index A-Z

DIGESTE DE LA CONSTRUCTION AU CANADA

[Index](#) ▶

CBD-152-F. Expansion des argiles litées pyriteuses

E. Penner, W.J. Eden et P.E. Grattan-Bellew

L'altération de formations rocheuses pyriteuses, qui est un processus d'oxydation, donne lieu à des accroissements de volume qui provoquent le soulèvement des planchers de sous-sol comme en l'a récemment découvert au Canada. On sait maintenant que l'altération de la pyrite a été reconnue dès 1950 comme l'un des principaux problèmes de soulèvement découverts dans des bâtiments construits aux USA depuis 1920. A titre d'exemple, citons les désordres structuraux de plusieurs millions de dollars qui ont affecté des édifices de la région métropolitaine industrielle de Pittsburgh.

L'altération de la pyrite a des conséquences particulièrement destructrices en raison des accroissements de volume et de contraintes qui accompagnent l'oxydation et les réactions chimiques entre les produits d'oxydation et les autres composants des couches pyriteuses

Les réactions d'oxydation de la pyrite produisent aussi de l'acide sulfurique, qui a la réputation d'être l'un des polluants principaux des cours d'eau recevant les effluents des lits argileux remués lors des opérations d'exploitation de la houille. L'altération de la pyrite peut toutefois être avantageuse; dans le cas de la récupération de métaux comme le cuivre et l'uranium par lessivage des terrils. En fait, presque toutes nos connaissances sur l'altération des pyrites proviennent de recherches sur le perfectionnement des méthodes de récupération des métaux à partir de minerais sulfurés de faible teneur.

Gisements de pyrite

La pyrite est le bisulfure le plus commun dans les roches. On la rencontre dans des roches de toute nature et de tout âge géologique, mais surtout dans les roches métamorphiques et sédimentaires où elle existe soit à l'état primaire soit sous forme d'imprégnation disséminée ultérieurement à travers la roche. La pyrite est souvent associée à des gisements de houille et à des lits argileux. La quantité minimale de pyrite susceptible de créer des problèmes de soulèvement n'est pas connue avec certitude. D'après certains rapports il semble qu'une teneur en poids de 0.1% de pyrite pose déjà des problèmes. Dans la région d'Ottawa il n'y a eu de problèmes de soulèvement que dans des formations rocheuses à teneur de pyrite

beaucoup plus forte, toutefois aucun programme systématique d'échantillonnage n'a encore été réalisé. A un emplacement donné les fissures de la roche sous une partie de sous-sol contenaient de grosses lentilles de pyrite de plusieurs millimètres d'épaisseur, et on trouvait de la pyrite finement disséminée dans tout le gisement.

Accroissement de volume et soulèvement des planchers

Les variations de volume dues à l'altération de la pyrite causent des désordres souvent limités aux dalles des planchers de sous-sols, posées directement sur la roche. Normalement, le soulèvement n'est pas uniforme et des soulèvements différentiels de 12 pouces au plus ont été notés bien qu'au Canada le soulèvement différentiel maximal mesuré du plancher ait été de 5 pouces. Ces soulèvements différentiels ont des effets particulièrement destructeurs sur les cloisons, les accessoires et les portes, et il faut prendre des précautions spéciales pour éviter que les cloisons ne transmettent les déplacements aux planchers situés au-dessus du sous-sol. L'équipement sensible aux défauts d'alignement doit être remis à niveau comme le montre la figure 1.

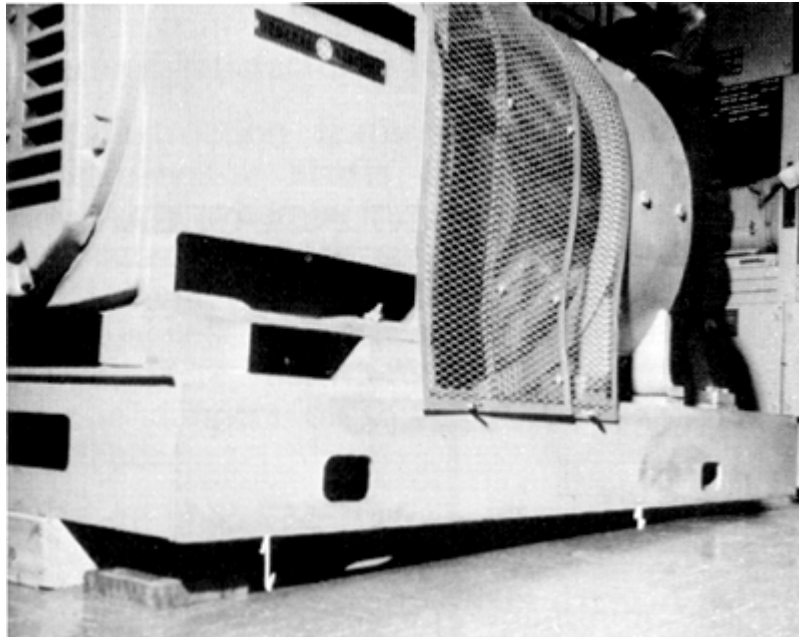


Figure 1. Recalage de générateurs nécessité par le soulèvement du plancher.

Le processus d'altération commence à la surface de l'argile litée et se poursuit dans toute la masse des lits d'argile, provoquant la désintégration presque complète de la zone altérée. Les surfaces verticales des lits d'argile affleurant dans les tranchées, les fissures créées par l'usage de charges explosives, ou les zones de failles qui permettent la pénétration horizontale d'air, ont tendance à accroître la vitesse d'altération et à aggraver très sérieusement les dommages. Les remblais de matériaux pyriteux sont particulièrement sujets à une altération accélérée et au soulèvement.

On a remarqué que des argiles litées pyriteuses qui étaient saines au

départ avaient été altérées sur une profondeur de 3 pieds pendant une période de 10 ans à Ottawa; dans la documentation sur les phénomènes d'altération on trouve le cas d'argiles litées pyriteuses altérées sur une profondeur de 10 pieds pendant la durée de vie d'un bâtiment. Le soulèvement n'apparaît pas immédiatement, ou bien il n'est pas suffisamment sérieux pour poser des problèmes pendant une durée de six mois à deux ans après l'achèvement de la construction. Les bâtiments anciens peuvent être aussi touchés, mais le soulèvement peut passer inaperçu parce qu'il se limite au sous-sol qui est souvent la partie la moins utilisée du bâtiment.

Altération de la pyrite et accroissement de volume

L'altération de la pyrite est un processus d'oxydation chimique et microbiologique; on pense que certaines réactions d'oxydation sont purement chimiques, mais que d'autres sont imputables à une bactérie autotrophe du groupe *Ferrobacillus-Thiobacillus* (figure 2), et que d'autres encore sont à la fois chimiques et microbiologiques.

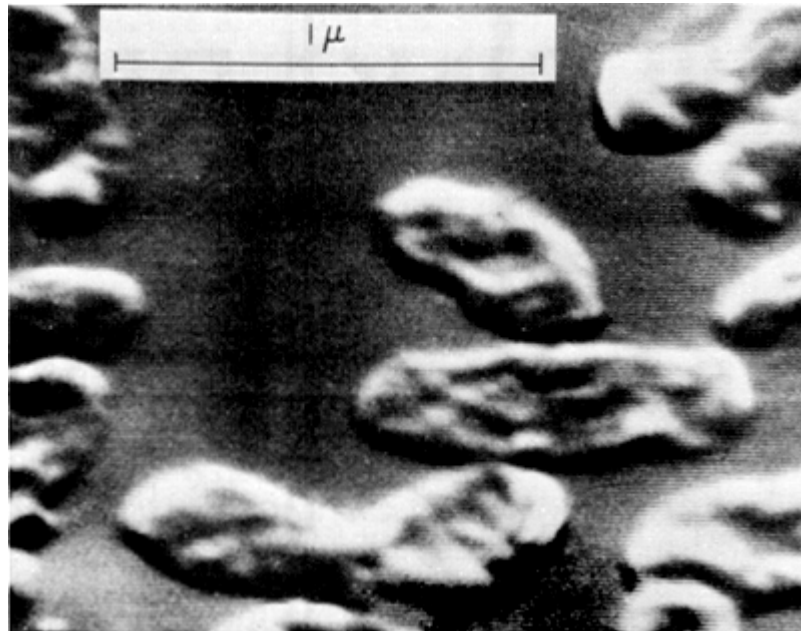
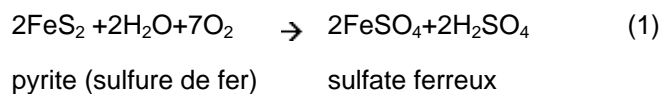


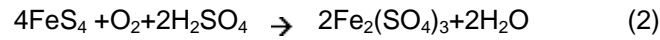
Figure 2. Bactéries du groupe *Ferrobacillus-Thiobacillus*, extraites d'une couche altérée d'argile litée sous-jacente à un plancher soulevé.

La première réaction est l'oxydation du sulfure de fer pour donner du sulfate et on pense qu'elle est facilitée par l'action de bactéries.



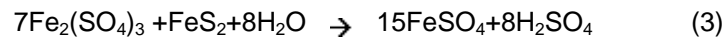
La réaction (2) ne peut pas se produire chimiquement dans un milieu acide et il a été démontré qu'elle est entièrement imputable à l'oxydation des

bactéries.



sulfate ferreux sulfate ferrique

Dans la réaction (3) le sulfate ferrique formé dans la réaction (2) réagit avec de la pyrite inaltérée présente dans le système, et le fer est réduit de l'état ferrique à l'état ferreux.



Tout le fer se trouve maintenant à l'état ferreux, et est de nouveau oxydé par les bactéries. Il est évident que l'oxydation s'accélère rapidement dès qu'elle est amorcée, parce que, d'une certaine manière, elle s'entretient elle-même. Les bactéries qui prennent part à la réaction exigent un milieu acide dont le Ph est compris entre 2 et 4.5 et elles deviennent inactives hors de ces limites. Les matériaux pyriteux deviennent toujours acides, ce qui est une manière de les identifier, sauf si ces matériaux étaient fortement calcaires à l'origine.

Les roches calcaires pyriteuses qui créent des problèmes de soulèvement contiennent fréquemment de la calcite qui entre dans la composition de la roche, comme dans les calcshistes et les calcaires, ou bien qui remplit les fractures traversant des argiles litées ne contenant pas de calcaire. L'oxydation de la pyrite par des bactéries se produit aussi à notre connaissance dans des roches massives non stratifiées et non calcaires. Il est toutefois improbable que l'oxydation de la pyrite par des bactéries puisse créer dans les circonstances ci-dessus des problèmes sérieux de soulèvement des planchers, parce que l'expansion maximale de la roche semble avoir lieu lorsque la force de cristallisation du gypse provoque la séparation des strates (figure 3). La calcite présente réagit avec l'acide sulfurique produit par l'oxydation de la pyrite pour donner du gypse conformément à l'équation (4).

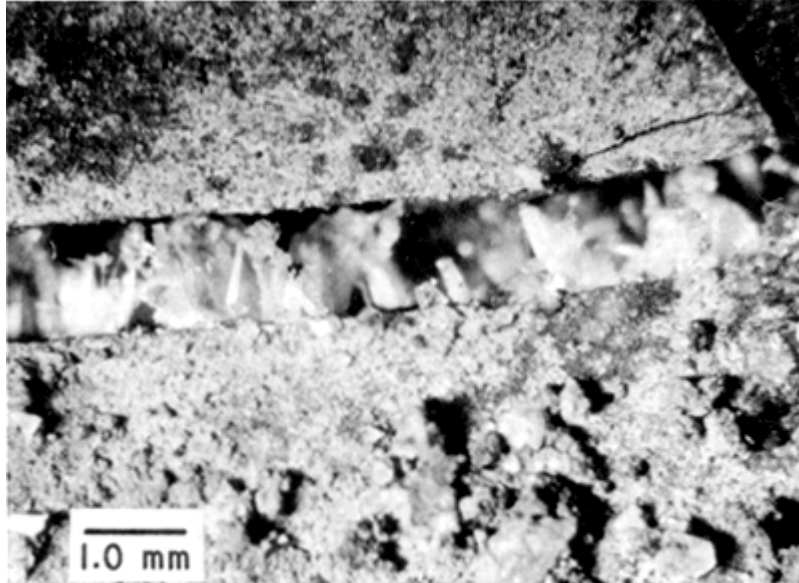
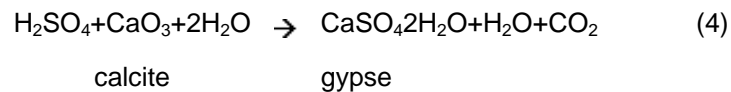


Figure 3. La croissance du gypse force les deux plaques à se séparer. Ce processus est similaire à celui de la formation de lentilles de glace dans le sol.



Il n'a pas été observé de soulèvement des piliers même lorsque le plancher avoisinant était fortement déformé. Cela peut être dû à deux facteurs:

- a. les semelles ont sans doute été placées plus bas que le plancher donc au-dessous de la zone d'altération, ou bien
- b. l'effet de la pression différentielle sur la solubilité du gypse a pu empêcher le soulèvement. En effet la solubilité du gypse augmente avec la pression. La pression est bien plus forte sous des semelles porteuses que sous le plancher et la cristallisation de gypse ne peut donc pas avoir lieu sous les semelles. Il y aura soulèvement dans les zones de moindre pression. Cette hypothèse semble être confirmée par l'observation, par exemple, on n'a pas trouvé de gypse sous une semelle témoin, malgré l'abondance de gypse sur le sol voisinant.

La tendance du gypse à se former et à se cristalliser entre les strates (figure 3) est sans doute un facteur important de soulèvement du plancher. Quand la calcite se convertit en gypse (équation (4)), le volume augmente du simple au double, mais le plus important est la force de cristallisation du gypse. Dans des conditions idéales cette force peut être considérable. Quand le gypse se développe dans la roche sous-jacente à un bâtiment il a tendance à former des cristaux aciculaires qui forcent les strates à s'écarter, et il en résulte un soulèvement bien plus important que celui produit par une simple augmentation de volume due à la formation du gypse.

Un autre constituant chimique présent dans tous les matériaux pyriteux altérés est la jarosite, $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$, que l'on reconnaît aisément à sa couleur brun-jaune. L'accroissement de volume dû à la transformation de pyrite en jarosite est, comme l'indiquent les calculs, de 115 %. Il faut ajouter l'accroissement de volume de 170% dû à la transformation de la pyrite, dans l'équation (1), en sulfate ferrique, dans l'équation (2); mais on pense que, du fait que la jarosite et le gypse sont des produits finaux, ce sont les minéraux auxquels on peut sûrement imputer les accroissements de volume, et qui sans doute contribuent en plus grande partie aux accroissements de volume et au soulèvement.

Les matériaux d'altération résiduels ont une consistance poreuse et tendre qui rappelle celle d'un sol, alors que le matériau original a pu être une argile litée compétente dure. La détérioration de l'argile litée progresse souvent de manière imperceptible, elle est le plus avancée à la surface et se fond avec le matériau inaltéré à mesure qu'on s'éloigne de la surface.

Facteurs favorisant l'altération de la pyrite et le soulèvement

Les expériences documentées sont si peu nombreuses que tous les facteurs individuels ou combinés qui contribuent à l'altération de la pyrite et au soulèvement et au gonflement des planchers de sous-sols avec des effets destructeurs ne sont pas encore précisément connus. Les recherches déjà faites sur des structures endommagées ont démontré l'existence de facteurs communs. Certains de ces facteurs sont évidents lorsqu'on connaît le processus d'oxydation de la pyrite.

Les bactéries autotrophes tirent leur énergie de l'oxydation de composés inorganiques, et ce processus a lieu avec consommation d'oxygène de l'air. Les constituants protéinés sont formés à partir du CO_2 atmosphérique, et des produits de base tels que l'azote sont toujours présents dans les argiles litées pyriteuses pour permettre la croissance et la reproduction des bactéries. Si l'approvisionnement en air est réduit, les réactions d'oxydation chimiques et microbiologiques sont ralenties et la vitesse de soulèvement est par conséquent diminuée. Il faut donc soigneusement étudier les éléments de construction des planchers de sous-sols qui facilitent les infiltrations d'air.

Les dalles des planchers de sous-sols de bâtiments importants sont habituellement placées audessus d'une couche drainante de pierrailles ou de graviers et d'un système de drain agricole. Ces deux éléments permettent à l'air de s'infiltrer dans la roche pyriteuse sous-jacente si le niveau phréatique se trouve nettement plus bas que cette zone. Lorsque la roche est asséchée l'air pénètre profondément dans les fissures et dans les zones de failles où les matériaux sont broyés; et les coupes verticales et les tranchées que l'on creuse pour la plomberie et les autres installations situées au-dessous du niveau principal d'excavation permettent aussi des entrées d'air latérales. Tout ceci est à éviter quand il y a présence de pyrite dans la formation rocheuse et si le niveau de la nappe phréatique est situé à une certaine distance au-dessous des dalles de plancher.

Pour tenir compte de tous ces détails, il faut par conséquent se rappeler que le niveau de nappe phréatique peut être abaissé même quand la construction est terminée du fait de l'installation d'égouts et de canalisations d'eau en profondeur dans les rues avoisinantes. Cet abaissement de la

nappe phréatique peut provoquer l'oxydation et le soulèvement des matériaux de fondation contenant de la pyrite dans des bâtiments dont l'état avait été satisfaisant pendant des années. Il faut éviter de construire des puits profonds sous des cages d'ascenseur, surtout lorsque plusieurs cages d'ascenseur sont situées de part et d'autre d'un couloir au sous-sol, parce que la partie délimitée par les puits est très bien drainée et aérée. Le soulèvement peut y être très sérieux et on en connaît par expérience les dangers.

La température optimale de développement des bactéries autotrophes se situe entre 30 et 35°C. Les sous-sols chauds, comme ceux contenant des locaux techniques, élèvent la température des matériaux sous-jacents, ce qui favorise la multiplication et la prolifération des bactéries, donc accroît les vitesses d'oxydation et de soulèvement. Des expériences décrites dans des ouvrages de référence indiquent que lorsqu'une partie du sous-sol est artificiellement maintenue à une température plus basse que le milieu ambiant elle est beaucoup moins endommagée par les phénomènes de gonflement et de soulèvement.

Du fait de leur état de fragmentation, les remblais pyriteux provenant de mines de charbon s'altèrent rapidement lorsqu'ils sont bien drainés et ne devraient jamais servir de fondation aux sous-sols.

Recommandations pour la pose de dalles de planchers de sous-sols sur de la roche pyriteuse susceptible de soulèvement

Etant donné que le processus d'altération décrit aux paragraphes ci-dessus ne peut avoir lieu qu'en présence d'oxygène, il faut essayer d'exposer le moins possible la roche à l'air. Les détails suivants sont d'une importance primordiale lorsque la nappe phréatique se trouve sensiblement au-dessous du niveau d'excavation:

1. Procéder aux travaux d'excavation de manière à remuer le moins possible les couches d'argile litée au-dessous du niveau du sous-sol, parce que la fragmentation de la roche en place permet à l'air de s'infiltrer facilement dans l'argile litée.
2. Protéger les affleurements d'argile litée par un revêtement de béton ou d'asphalte à tous les endroits où l'argile litée se trouvera exposée à l'air pendant plus de 24 heures, y compris les tranchées et les sites exposés qui recevront le remblai jusqu'au niveau requis.
3. Comblir les rigoles avec du béton.
4. Isoler le plancher de sous-sol sous les espaces où la température est supérieure à la normale. Le processus d'oxydation et l'activité des bactéries s'accroissent à mesure que la température s'élève.
5. Choisir un emplacement approprié, de manière à éviter que les bâtiments ne soient construits sur des couches d'argile litée fortement ébranlées. Quand on ne peut faire autrement, on aura intérêt à utiliser une construction de plancher appropriée afin de

prévenir les dommages dus au soulèvement, toutefois l'action de l'acide produit par altération devrait déterminer le mode de construction.

6. Utiliser des matériaux stables exempts de pyrite, donc ne provenant pas d'excavations voisines ou de terrils de houillères, pour remblayer les fondations de sous-sols.

Réparation des bâtiments anciens

Quand l'érosion et le soulèvement des planchers a endommagé le sous-sol de bâtiments existants, on peut y remédier (a) en relevant artificiellement le niveau phréatique dans la zone d'altération, ou bien (b) en enlevant les dalles soulevées ainsi que l'argile litée altérée, et en les remplaçant par une construction de plancher laissant un vide sanitaire entre la surface fraîche de l'argile litée et le plancher.

L'option (a) est la moins coûteuse, mais elle n'est valable qu'aux endroits où les conditions naturelles de drainage permettent de contrôler le niveau phréatique dans des limites acceptables. Des écrans de mortier peuvent être utiles et constituent une solution de rechange à l'option (b). Un système de puits d'observation est nécessaire pour contrôler le niveau phréatique atteint.

L'option (b) est coûteuse et exige le retrait des dalles soulevées et de toute l'argile litée altérée. Les couches fraîches d'argile litée qui affleurent devraient être protégées pour éviter leur détérioration. On a par exemple tenté d'enduire une surface fraîche d'argile litée d'une couche épaisse de béton pour diminuer les infiltrations d'air et le soulèvement.

Publié à l'origine en mai 1975.

CARC-ARC

construction

Date de publication: 1975-05-01

[Avis importants](#)