

# Restauration des sites miniers

Forum sur le développement minier en Abitibi-  
Témiscamingue, 20 mars 2010

Bruno Bussière, ing., Ph.D.  
Professeur



**Université du Québec  
en Abitibi-Témiscamingue**



Chaire industrielle CRSNG-Polytechnique-UQAT

Environnement et gestion des rejets miniers



Chaire de recherche du Canada

Restauration des sites miniers abandonnés

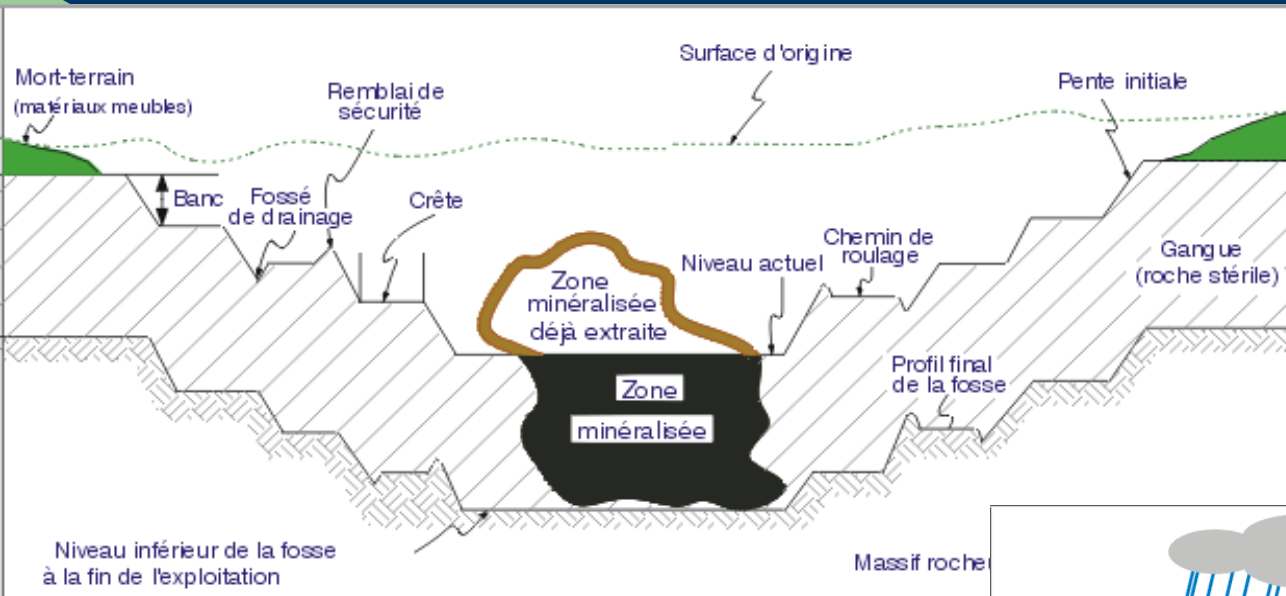
# Objectif de la présentation

Répondre aux questions suivantes :

1. Qu'est-ce qu'un site minier restauré?
2. Comment peut-on restaurer un site minier?
3. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'une mine à ciel ouvert et celle d'une mine souterraine?
4. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'un site minier actif et celle d'un site abandonné?

Note : Dans ce qui suit, l'emphase est mise sur les aires d'entreposage des rejets, sur la stabilité chimique et sur le cas de l'Abitibi

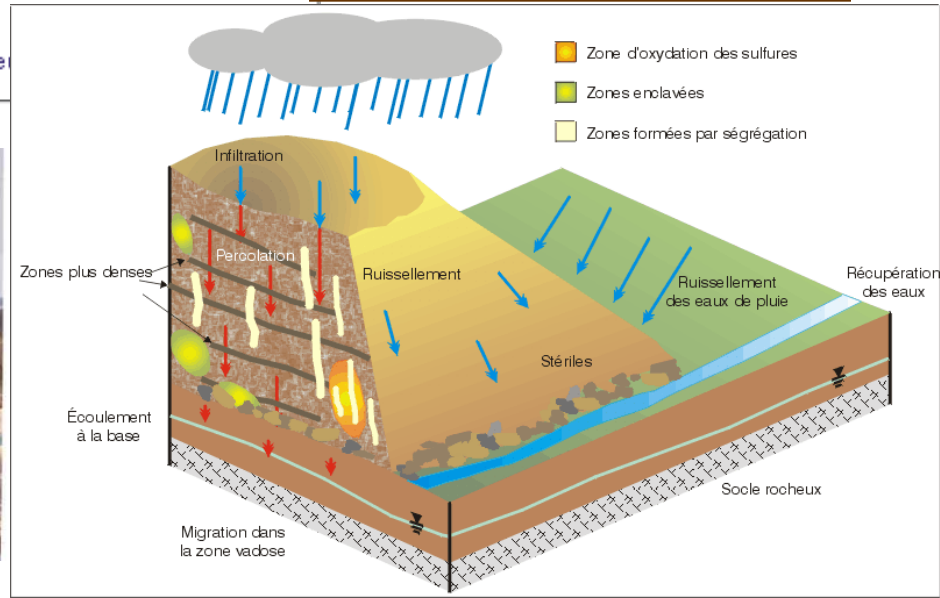
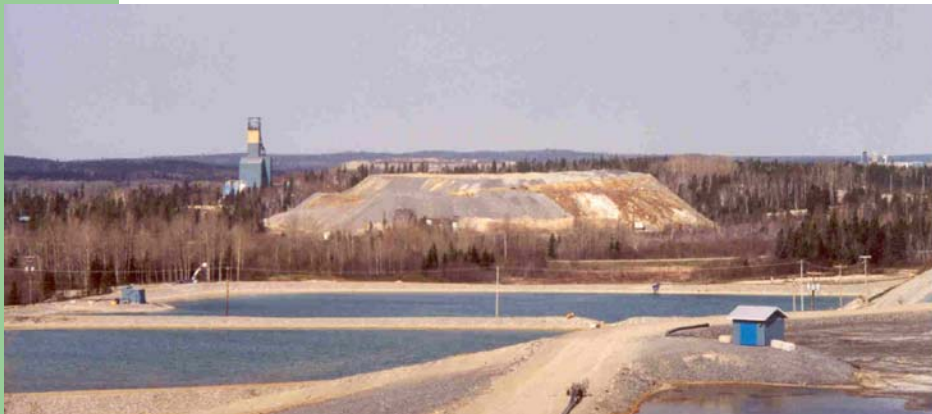
# Terminologie



- Mine à ciel ouvert et halde de stériles

Aubertin *et al.*, 2002

Figure 3.1- Vue en section schématisée d'une mine à ciel ouvert



# Terminologie

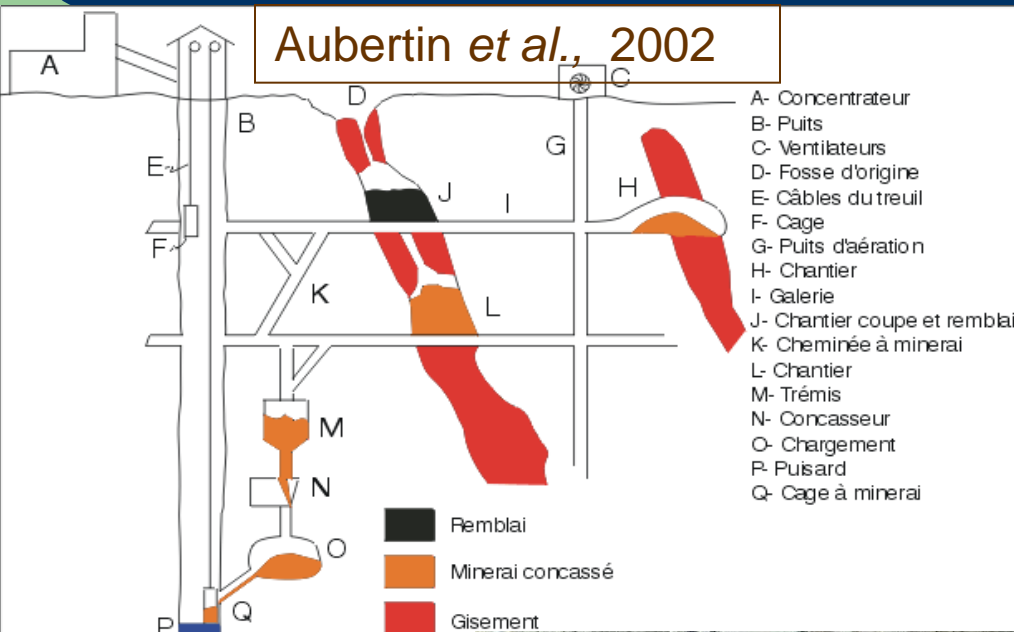


Figure 3.2 - Représentation schématisée d'une

## ● Mine souterraine et parc à résidus miniers



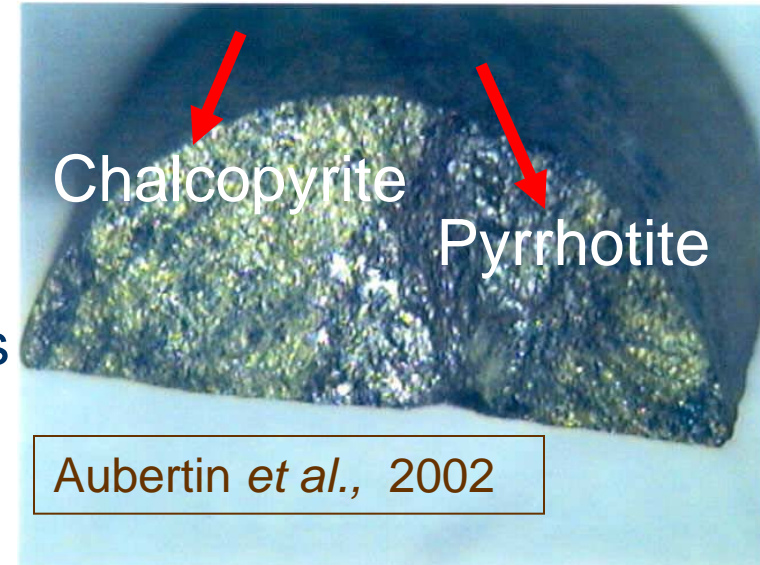
Bussièrè , 2007

Bussièrè *et al.*, 2003



# Terminologie

- Drainage minier acide :
  - Produit de l'oxydation naturelle (chimique, électrochimique ou biologique) de minéraux sulfureux que l'on retrouve dans les matériaux rocheux exposés à l'air et à l'eau
  - DMA = faible pH, concentrations en métaux lourds et en sulfates solubles élevées, grande concentration en solides dissous
  - Peut aussi avoir du drainage neutre contaminé (DNC)



Aubertin *et al.*, 2002



Chaire industrielle Poly-UQAT

# Restauration minière

- La restauration vise à remettre le site dans un état satisfaisant<sup>1</sup>
- État satisfaisant :
  - Éliminer les risques inacceptables pour la santé et assurer la sécurité des personnes
  - Limiter la production et la propagation de substances susceptibles de porter atteinte au milieu récepteur et, à long terme, viser à éliminer toute forme d'entretien et de suivi
  - Remettre le site dans un état visuellement acceptable
  - Remettre le site des infrastructures dans un état compatible avec l'usage futur

<sup>1</sup> Guide et modalités de préparation du plan et exigences générales en matière de restauration des sites miniers au Québec, MRNF, 1997.

# Restauration minière

- Halles à stériles et parcs à résidus miniers :
  - Les ouvrages doivent être stables physiquement à long terme (critères de stabilité présentés dans le Guide)
  - La génération d'acide et des autres contaminants doit être contrôlée de façon à répondre aux exigences en matière d'effluents miniers
  - L'utilisation d'une installation de traitement des effluents ne constitue pas en soit une mesure de restauration (acceptée comme mesure temporaire ou palliative, dans l'attente de développement de méthodes de restauration viables)
- Pour les mines à ciel ouvert, on mentionne que, s'il est techniquement et économiquement possible de le faire, les excavations doivent être remblayées

# Restauration minière

- Autres considérations incluses dans le Guide :
  - Mise en végétation : Tous les terrains affectés par l'activité minière doivent être couverts de végétaux afin de contrôler l'érosion et de redonner au site minier son aspect naturel (exceptions possibles – voir le Guide)
  - La végétation doit être comparable à celle du milieu environnant et doit être autosuffisante 6 ans après son implantation

# Contenu

Objectif de la présentation: répondre aux questions suivantes:

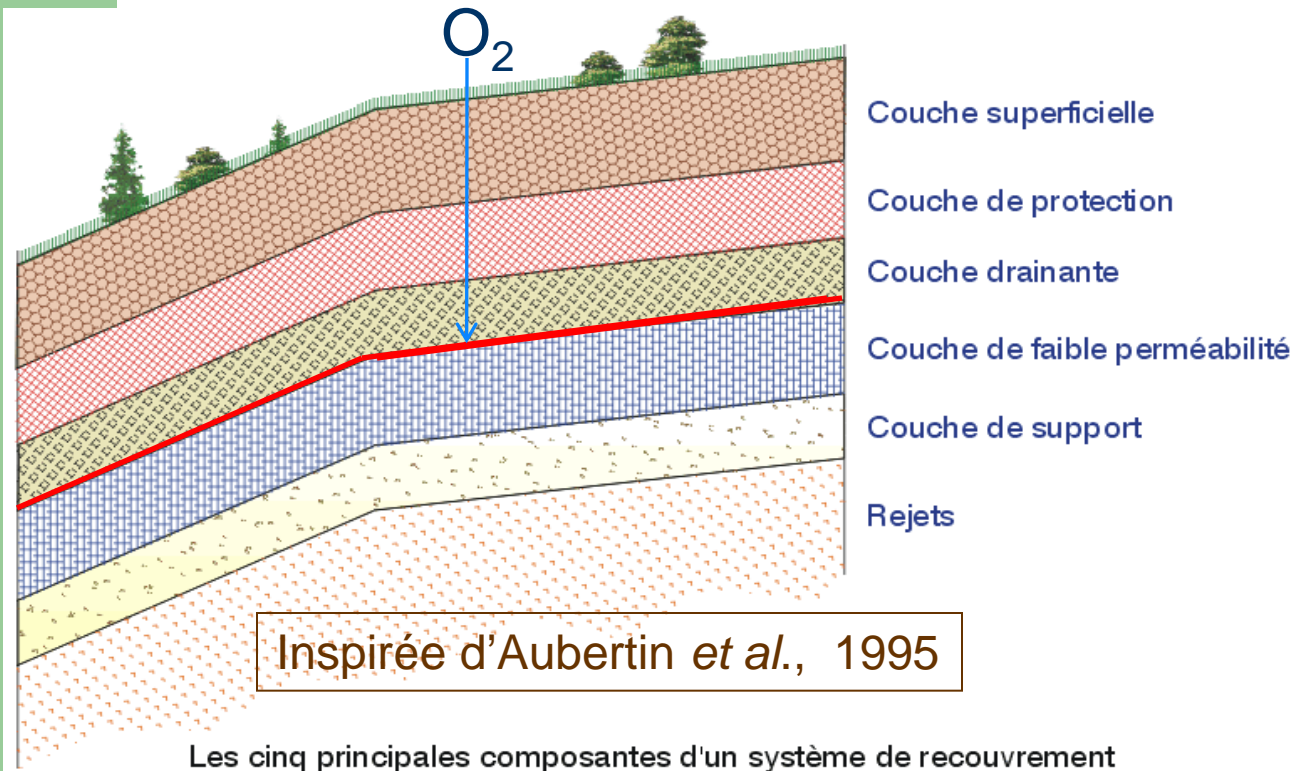
1. Qu'est-ce que la restauration minière?
2. Comment peut-on restaurer un site minier?
3. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'une mine à ciel ouvert et celle d'une mine souterraine?
4. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'un site minier actif et celle d'un site abandonné?

# Méthodes de restauration

- Si pas de DMA ou DNC, simple revégétation
- DMA = 3 ingrédients  $\cancel{2FeS_2} + \cancel{7O_2} + \cancel{2H_2O} \rightarrow 2Fe^{2+} + 4SO_4^{2-} + 4H^+$
- Objectifs des méthodes de restauration : empêcher l'interaction entre les 3 ingrédients
- L'enlèvement des sulfures : approche intéressante de gestion des résidus miniers (mais pas vraiment une méthode de restauration)
- On met l'emphasis dans ce qui suit sur les principales approches applicables en A-T (pour chaque approche, il faut s'assurer de la stabilité physique des ouvrages! – tremblement de terre, cas extrême de pluie ou de sécheresse)
- Ces méthodes pour contrôler la production de DMA ont été développées grâce à la R&D réalisée depuis 1990

# Barrières à l'oxygène

- Utilisation de CEBC pour limiter le DMA

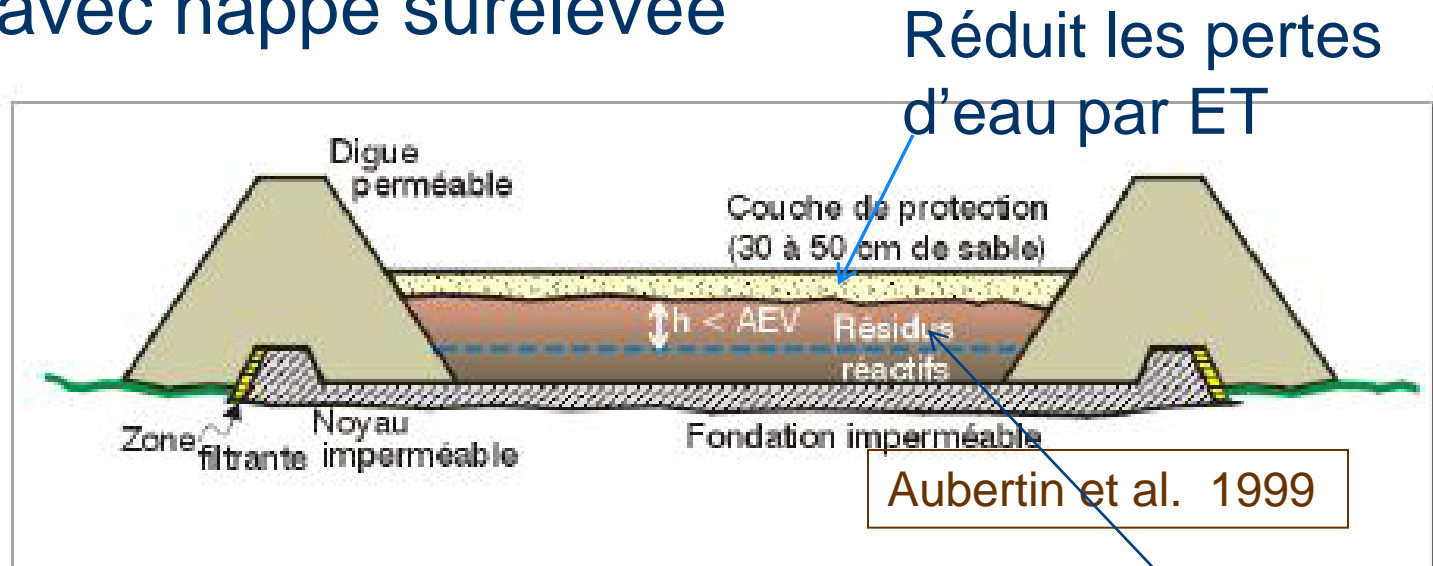


Les cinq principales composantes d'un système de recouvrement

Appliqué avec succès sur deux sites en A-T : LTA (1995-96) et Lorraine (1999); défi : long terme (ex. : végétation)

## Barrières à l'oxygène

- Utilisation d'un recouvrement monocouche avec nappe surélevée



- Objectif : maintenir les rejets générateurs de DMA saturés en tout temps = peu d'O<sub>2</sub>

# Barrières à l'oxygène

- Utilisation d'un recouvrement en eau



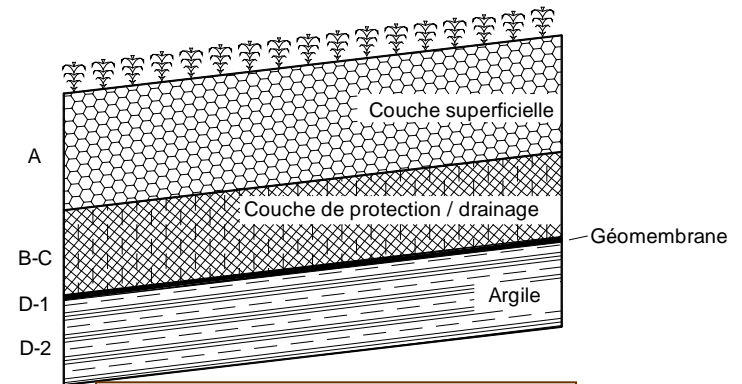
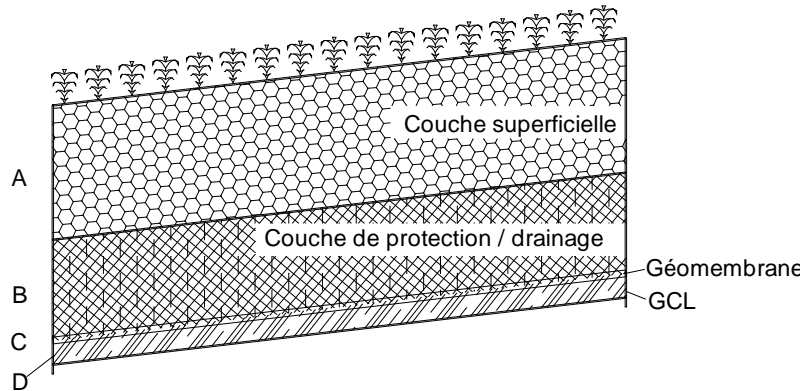
- Objectif : limiter la migration de  $O_2$  – l'eau est une excellente barrière à la migration des gaz

- Défi : maintenir stables à long terme des digues de retenue d'eau

Appliqué avec succès sur deux sites : Louvicourt et Solbec-Cupra

## Barrières à l'eau

- Recouvrements faits de matériaux peu perméables ou géosynthétiques



Aubertin et al. 1995

- Défi : empêcher l'infiltration d'eau à long terme dans un climat humide comme celui du Québec

Appliqué au site Poirier (Joutel) et en cours d'application au site Aldermac (2009)

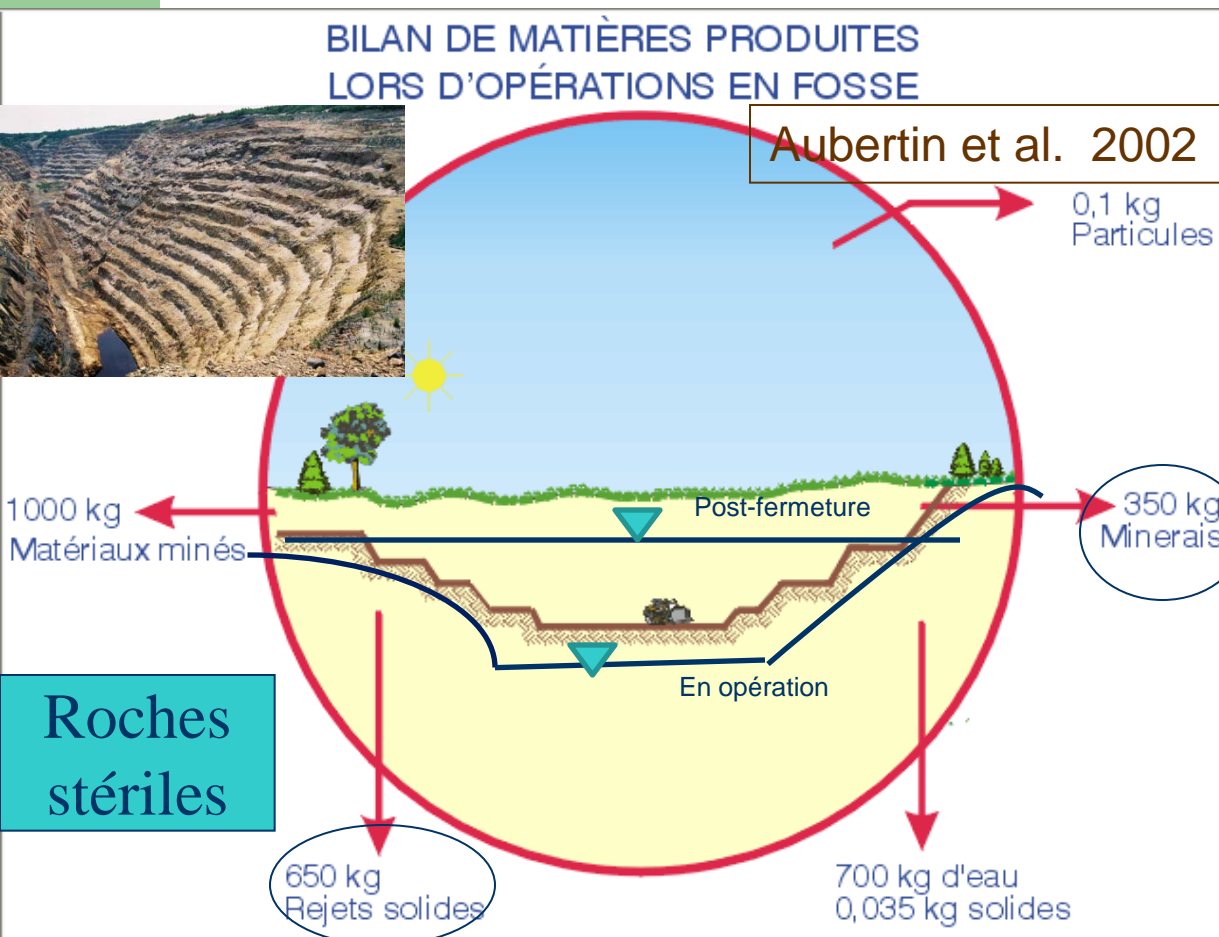
# Contenu

Objectif de la présentation : répondre aux questions suivantes :

1. Qu'est-ce que la restauration minière?
2. Comment peut-on restaurer un site minier?
3. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'une mine à ciel ouvert ou celle d'une mine souterraine?
4. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'un site minier actif et celle d'un site minier abandonné?

Question 3. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'une mine à ciel ouvert et celle d'une mine souterraine?

# Ciel ouvert vs souterrain

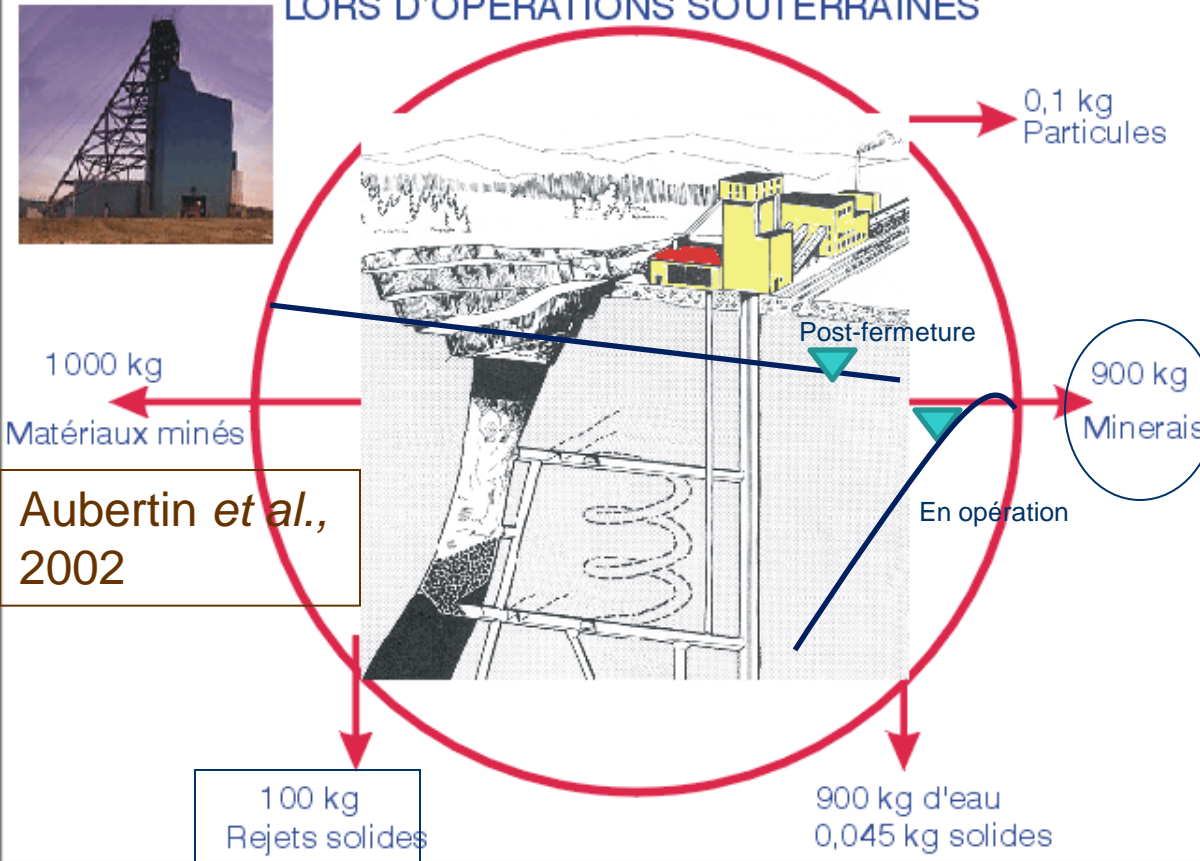


- Plus de stériles à restaurer (varie selon le ratio stérile:minerai)
- Création d'un lac si non remblayée
- Si résidus générateurs de DMA ou DNC, l'ennoiement dans la fosse est une option intéressante
- Le remblaiement des fosses peut ne pas éliminer la présence des haldes (foisonnement)

Question 3. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'une mine à ciel ouvert et celle d'une mine souterraine?

# Ciel ouvert vs souterrain

BILAN DE MATIÈRES PRODUES  
LORS D'OPÉRATIONS SOUTERRAINES



- Plus de résidus miniers que de stériles à restaurer (stériles dans les parcs?)
- Ennoiement des chantiers à la fin
- Le retour des résidus sous terre permet de réduire le risque environnemental
- En raison du foisonnement, il reste toujours une portion des rejets à entreposer en surface

# Contenu

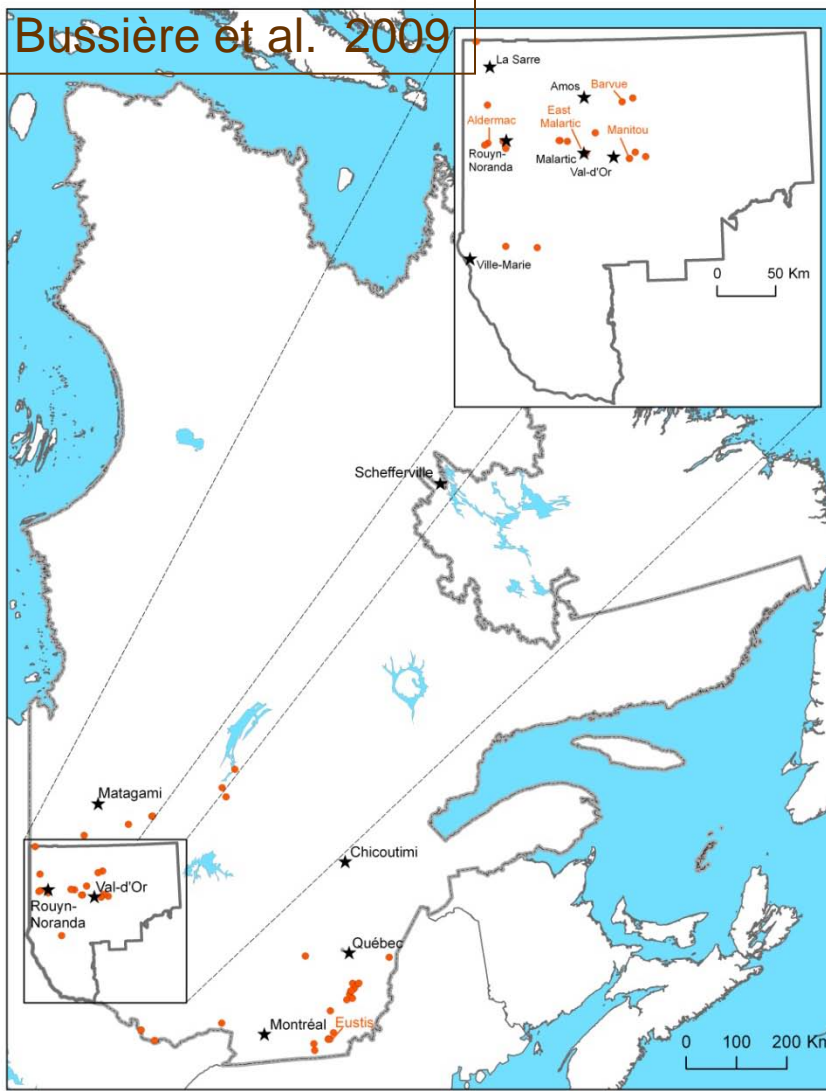
Objectif de la présentation: répondre aux questions suivantes:

1. Qu'est-ce que la restauration minière?
2. Comment peut-on restaurer un site minier?
3. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'une mine à ciel ouvert et celle d'une mine souterraine?
4. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'un site minier actif et celle d'un site abandonné?

Question 4. Quelles sont les principales différences entre la restauration d'un site minier actif et celle d'un site abandonné?

# Sites miniers actifs vs abandonnés

Bussière et al. 2009



## Sites abandonnés – bilan (sites > 1 ha)

Région administrative	Nombre de sites	Superficie (en hectare)
Mauricie-Bois- Francs	1	8
Estrie	7	40
Outaouais	3	220
Chaudière-Appalaches	11	275
Abitibi-Témiscamingue – Nord-du-Québec	28	1420

- On estime à environ 50 % la proportion ayant un potentiel de génération de DMA (DNC?)

# Sites miniers actifs vs abandonnés

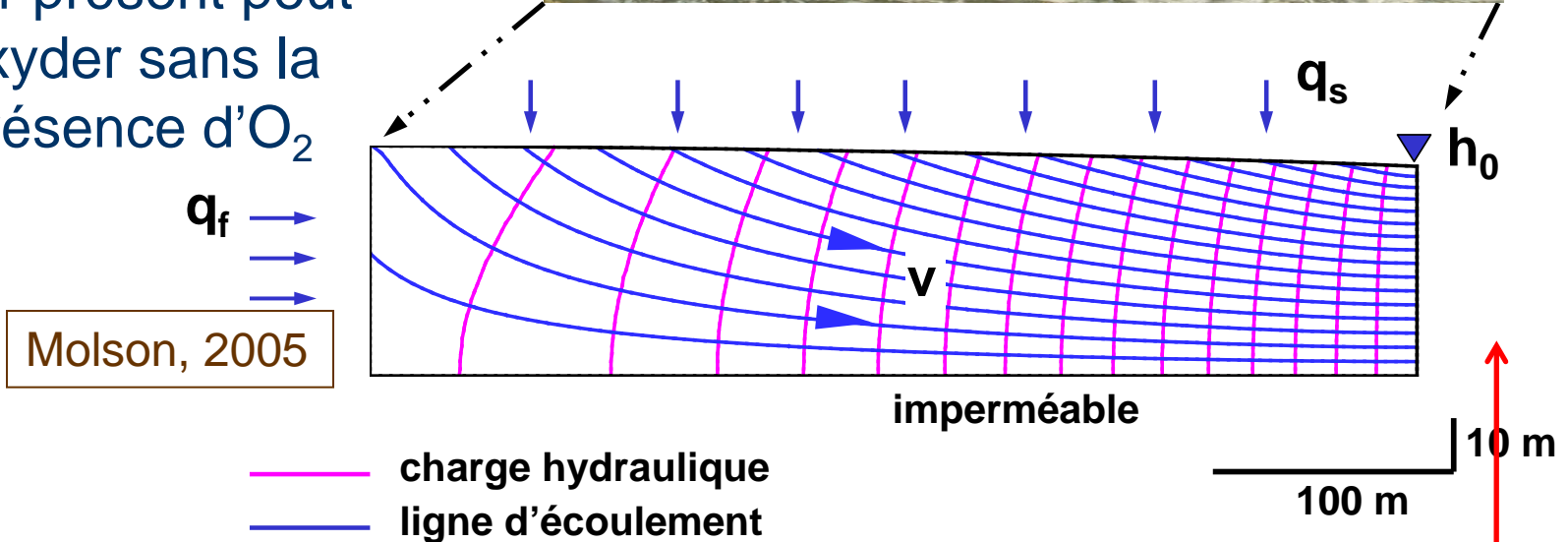
## Sites abandonnés vs sites actifs : même problème?

Caractéristiques	Sites actifs	Sites abandonnés
Contamination de l'eau des pores	Possibilité Faible	Possibilité Élevée
Présence de bactéries acidophiles	Possibilité Faible	Possibilité Élevée
Aires d'entreposage modernes	Oui, en général	Non, dans la plupart des cas
Présence d'un système de traitement d'eau	Oui (si eau contaminée)	Non

Le défi lié à la restauration des sites abandonnés est encore plus grand

# Sites miniers actifs vs abandonnés

- Eaux contaminées : prennent des années à sortir et le fer présent peut oxyder sans la présence d'O<sub>2</sub>



Si l'on veut couper immédiatement le transfert de contaminants dans l'environnement: traitement d'eau (passif si possible) à la sortie

# Restauration des sites abandonnés

- Au Québec, des travaux de restauration qui impliquent plusieurs millions de dollars sont en cours (ou ont été réalisés récemment) :
  - Manitou (en partenariat avec la mine Goldex) près de Val-d'Or,
  - Eustis (Estrie)
  - Aldermac près de Rouyn-Noranda
- D'autres sites abandonnés (rétrocédés) ont été réhabilités depuis les années 1990 (Lorraine, Wood Cadillac)
- Ailleurs au Canada, les gouvernements ont également investi plusieurs centaines de millions de dollars depuis 2000 (ex. C-B: 190M\$; Ontario:138 M\$; Manitoba:110 M\$ - voir Tremblay and Hogan, 2009, pour les détails)

# Conclusion

- La restauration des sites miniers (particulièrement des aires d'entreposage) est un problème complexe (hydrogéologie, géotechnique, géochimie, biologie, etc.)
- Science jeune pour un vieux problème
  - *Further, when the ores are washed, the water which has been used poisons the brooks and streams, and either destroys the fish or drives them away* (Georgius Agricola, 1556)
  - Premiers documents scientifiques canadiens traitant du DMA : début des années 1970 (Hawley and Shikaze 1971; Rivett and Oko 1971; Hawley 1972)

# Conclusion

- La recherche sur la restauration des sites miniers a vraiment commencé dans les années 1980 (programmes RATS et MEND)
- Ces travaux et d'autres qui ont suivi ont permis de développer des technologies qui sont en application aujourd'hui (ex. : ennoisement, CEBC, nappe surélevée, traitement passif, etc.)
- Même si une partie du chemin a été parcourue, il reste encore beaucoup à faire.

# Conclusion

- Il faut mettre au point ou améliorer les méthodes de restauration et les modes de gestion des rejets miniers, afin de minimiser les impacts potentiels sur l'environnement à court, moyen et long termes (il faut s'attaquer autant à la stabilité chimique que physique des ouvrages)
- Pour ce faire, l'industrie minière doit continuer d'être proactive et d'investir dans la R&D