

UTILISATION DE SUBSTANCES ORGANIQUES À DES FINS  
DE MISE EN VÉGÉTATION DE REJETS MINIERS ACIDES<sup>1</sup>

Par

Antoine Karam et Louis M. Azzaria<sup>2</sup>

**Abstract.** There are advantages to the revegetation of the tailings of the abandoned East Sullivan mine in Val d'Or, Québec, Canada. However, the tailings constitute a medium that is unfavorable to plant growth. They are highly acid, have a high iron sulphides content, and a low level of organic matter and major nutrients. Greenhouse experiments were carried out in order to evaluate the effect of the addition of septic tank sludge and wood chips on the chemical characteristics of the tailings and the growth of five plant species. A good growth of red fescue, timothy, birdsfoot trefoil, and corn was established on acid mine tailings when a combination of the organic amendments, lime and fertilizer was applied. The organic amendments incorporated to a depth of 10 cm contribute to increasing the pH of the tailings and their effluent.

ADDITIONAL KEY WORDS: Pollution; heavy metals; septic tank sludge; wood chips.

### INTRODUCTION

Le parc à résidus miniers d'East Sullivan Mines Ltd est situé dans le canton de Burlamarque en Abitibi, Québec, à environ 7 kilomètres au sud-est de la ville de Val d'Or. Le parc qui occupe une superficie de 122 hectares, a un potentiel d'acidification et de mise en solution des métaux pouvant affecter certains cours d'eau et lacs du secteur. Les métaux lourds lessivés des résidus miniers acides du site East Sullivan sont par ordre croissant: le fer, le manganèse et le cuivre (le Groupe Conseil Planigram 1987).

Depuis 1984, trois usines déposent des déchets provenant de la transformation du bois sur le parc. La ville de Val d'Or dépose, depuis 1985, les boues de la station municipale d'épuration des eaux usées sur le parc à résidus miniers. De plus, ce dernier reçoit des boues de fosses septiques ainsi que des déchets d'origine industrielle. Les résidus forestiers sont déposés et étendus sur le parc dans le but de l'isoler de l'eau de précipitation et de l'air ambiant tandis que les boues servent à amender la surface des résidus forestiers afin d'y implanter la végétation.

Le succès de l'établissement d'une végétation sur les résidus miniers acides repose sur plusieurs facteurs tels l'ajustement du pH, la disponibilité des éléments nutritifs surtout l'azote et la sélection de plantes rustiques adaptées aux conditions adverses du milieu (Bennett 1977; Lundberg et al. 1977; McNeilly et Johnson 1978; Paquet 1984). Toutefois, l'utilisation de matériaux organiques pourrait constituer un moyen susceptible d'amender la surface des parcs à résidus miniers (Holmberg 1980).

Paper presented at the Conference Reclamation, A Global Perspective, held in Calgary, Alberta, Canada, August 27-31, 1989.

Antoine Karam et Louis M. Azzaria sont professeur adjoint au Département des sols et professeur titulaire au Département de géologie, respectivement, Université Laval, Québec, Canada G1K 7P4.

Le but de la présente étude est d'examiner l'incidence de l'apport aux rejets miniers acides de substances organiques (boues de fosses septiques et sciure de bois) sur: 1) La croissance de la fétuque rouge et de la fléole des prés; 2) Les caractéristiques chimiques des rejets miniers et leur effluent.

### Méthodologie expérimentale

#### Matériaux

Les résidus miniers utilisés dans la présente étude proviennent de douze sites d'échantillonnage couvrant l'ensemble du parc à résidus miniers East Sullivan. Ces échantillons ont été intimement mélangés pour former un échantillon composite.

Les divers amendements organiques utilisés dans la présente étude sont: 1) les boues de fosses septiques de la firme Les Fosses Septiques du N.O. Inc. à Val d'Or, et 2) les résidus forestiers (sciure de bois).

Quatre plantes fourragères ont été sélectionnées pour être implantées dans les résidus miniers acides, ce sont la fétuque rouge traçante, la fléole des prés cv Climax, le lotier corniculé cv Léo et le maïs-ensilage cv Pioneer.

#### Essais de fertilisation

L'échantillon composite de résidus miniers acides a été séché à l'air avant d'être mis dans des pots de plastique.

Le dispositif expérimental pour la fétuque rouge et la fléole des prés comprenait 12 traitements répétés 2 fois pour un total de 24 pots par culture (3 doses de boues de fosses septiques x 4 doses de sciure de bois x 2 répétitions). Le tableau 1 résume les différents traitements.

Les milieux de croissance ont reçu, dans tous les pots, des quantités de chaux (carbonate de calcium, qualité analytique) et de fertilisant commercial (17-17-17) correspondant à 4,77 t/ha et 795 kg/ha, respectivement. La quantité de chaux était très inférieure à celle utilisée par plusieurs chercheurs

(Paquet 1984; Cescas 1987) dans des études semblables.

Tableau 1. Doses de matériaux organiques utilisées lors des essais de fertilisation

| No de traitements | Sciure de bois (SB) (g/pot) | Boues de fosses septiques (BFS) (g/pot) |
|-------------------|-----------------------------|---|
| 1                 | 0                           | 0                                       |
| 2                 | 75                          | 0                                       |
| 3                 | 150                         | 0                                       |
| 4                 | 300                         | 0                                       |
| 5                 | 0                           | 75                                      |
| 6                 | 75                          | 75                                      |
| 7                 | 150                         | 75                                      |
| 8                 | 300                         | 75                                      |
| 9                 | 0                           | 150                                     |
| 10                | 75                          | 150                                     |
| 11                | 150                         | 150                                     |
| 12                | 300                         | 150                                     |

Une semaine après l'addition de matériaux organiques, de chaux et d'engrais, chaque pot a reçu plusieurs graines de fléole de prés ou de fétuque rouge. La période de croissance (environ 19 semaines) a débuté le 18 juillet 1988 et la récolte a eu lieu le 16 novembre 1988. Les répétitions ont été répétées en blocs aléatoires et les traitements distribués au hasard sur des tables dans la serre. La température dans la serre variait de 22° à 25° C, sous un éclairage aux tubes fluorescents de 16 h/jour.

Les parties aériennes des plants ont été récoltées en coupant à 1 cm environ au-dessus du sol; elles ont été séchées à 70° C pendant 72 h et la matière sèche a été obtenue et pesée. Ceci donnait le rendement en matière sèche lequel est l'indice de la croissance des végétaux. Le matériel végétal séché à 70° C a été broyé à 1 mm et le produit broyé fut soumis à la digestion humide en utilisant les acides nitrique et perchlorique concentrés.

Les métaux lourds (Al, Cu, Fe, Mn et Zn) ont été dosés dans les extraits par spectrométrie photométrique d'absorption atomique.

### Essais de lixiviation

Des colonnes de lixiviation de 10 cm de diamètre et 30 cm de longueur furent remplies de 1,96 L de résidus miniers acides (échantillon composite). Les doses d'application et le mode d'incorporation des matériaux organiques apparaissent au tableau 2. On a appliqué et incorporé sur une profondeur de 5 cm l'équivalent de 509 kg/ha d'engrais ayant la formule 10-20-20 pour le lotier corniculé. Les contenus des colonnes réservées à la culture du maïs-ensilage ont reçu des quantités d'engrais à base d'azote, de phosphore et de potassium (46 à 60) selon les doses recommandées par le C.P.V.Q. pour la culture du maïs-ensilage.

Après une semaine d'application de matériaux organiques, de chaux et d'engrais, les colonnes ont été semées avec du lotier corniculé (0,32 g/colonne) ou du maïs-ensilage (2 graines/colonne). La date de semis était le 8 juillet 1988 tandis que les dates de récolte du maïs et du lotier étaient le

Tableau 2. Description des traitements relatifs aux essais de lixiviation de résidus miniers cultivés avec du lotier et du maïs

| Identification des traitements | Dose d'application et mode d'incorporation des matériaux organiques    |
|--------------------------------|--|
| T1                             | 432 cm <sup>3</sup> de BFS + SB ajoutés en surface                     |
| T2                             | 432 cm <sup>3</sup> de BFS + SB incorporés sur une profondeur de 5 cm  |
| T3                             | 432 cm <sup>3</sup> de BFS + SB incorporés sur une profondeur de 10 cm |
| T4                             | 864 cm <sup>3</sup> de BFS + SB incorporés sur une profondeur de 10 cm |

3 septembre 1988 et le 18 novembre 1988, respectivement. Les colonnes ont été soumises durant la période de croissance à un arrosage avec 400 ml d'eau distillée selon les besoins de chaque espèce végétative.

Les rendements en matière sèche des parties aériennes ont été mesurés après séchage à l'étuve à 70° C.

Le contenu en métaux lourds des eaux de lixiviation recueillies après le 1<sup>er</sup> cycle (une semaine après le semis) et le dernier cycle (avant la récolte) de lixiviation a été déterminé par spectrophotométrie d'absorption atomique.

### Résultats et discussion

#### Essais de fertilisation

D'une façon générale, les différentes espèces végétales se sont bien développées dans les milieux de croissance surtout ceux ayant reçu des matériaux organiques. Toutefois, quelques plants de fétuque rouge ou de fléole des prés ont présenté des symptômes de carences nutritives en azote ou en potassium.

Les productions moyennes en matière sèche pour les différentes espèces cultivées sont présentées dans le tableau 3. L'apport de doses croissantes de boues de fosses septiques sans sciure de bois (traitement 1, 5 et 9), a augmenté de façon graduelle les rendements en matière sèche de la fétuque rouge et de la fléole des prés. L'addition de quantités croissantes de sciure de bois (traitements 1, 2, 3 et 4) a aussi contribué à augmenter les rendements en matière sèche des deux espèces. D'autre part, l'effet de l'addition de sciure de bois aux boues de fosses septiques sur le rendement a également été mis en évidence. D'après les résultats obtenus, on peut noter que les apports de BFS seuls, SB seuls ou BFS + SB ont permis l'obtention d'une meilleure production que le traitement sans addition de matériaux organiques (témoin). Les traitements 12 et 11 semblent être ceux qui ont le plus favorisé la production de matière sèche chez la fétuque rouge (maximum atteint 13,10 g/pot) et la fléole des prés (maximum atteint 16,00 g/pot) respectivement. On remarque également que la valeur de pH du milieu

Tableau 3. Rendements et teneurs en métaux lourds de deux graminés cultivés en serres sur des rejets miniers acides amendés avec des boues de fosses septiques et de sciure de bois

| Type de culture | No de traitements <sup>1</sup> | pH des résidus <sup>2</sup> | Rendements en matière sèche (g/pot) | Teneurs (mg/kg) en métaux lourds de la partie aérienne |      |      |       |       |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--|------|------|-------|-------|
|                 |                                |                             |                                     | Fe   | Zn   | Cu   | Mn    | Al    |
| Fétuque rouge   | 1                              | 4,10                        | 6,55                                | 87,5   | 6,5  | 8,6  | 155,6 | 100,4 |
|                 | 2                              | 6,90                        | 6,95                                | 80,2   | 7,1  | 8,9  | 162,8 | 90,5  |
|                 | 3                              | 6,99                        | 6,67                                | 61,4   | 7,6  | 8,8  | 178,1 | 80,7  |
|                 | 4                              | 7,18                        | 8,20                                | 44,6   | 7,5  | 9,9  | 204,5 | 80,6  |
|                 | 5                              | 7,21                        | 8,15                                | 53,1   | 7,8  | 8,1  | 164,7 | 60,4  |
|                 | 6                              | 6,62                        | 9,30                                | 84,5   | 10,9 | 11,2 | 234,8 | 105,3 |
|                 | 7                              | 7,05                        | 11,10                               | 48,6   | 12,4 | 11,3 | 186,3 | 102,3 |
|                 | 8                              | 7,28                        | 10,75                               | 32,4   | 11,6 | 11,0 | 263,5 | 80,4  |
|                 | 9                              | 6,75                        | 9,40                                | 68,3   | 17,0 | 11,0 | 242,6 | 86,2  |
|                 | 10                             | 6,88                        | 9,65                                | 65,4   | 14,7 | 12,7 | 259,7 | 84,1  |
|                 | 11                             | 7,08                        | 12,40                               | 73,4   | 15,4 | 10,7 | 210,8 | 112,8 |
|                 | 12                             | 7,36                        | 13,10                               | 62,5   | 18,2 | 12,4 | 280,1 | 105,7 |
| Fléole des prés | 1                              | 4,30                        | 6,10                                | 62,5   | 6,2  | 8,8  | 150,3 | 80,7  |
|                 | 2                              | 6,56                        | 5,92                                | 54,5   | 8,1  | 9,2  | 140,4 | 120,3 |
|                 | 3                              | 6,83                        | 6,80                                | 57,5   | 9,4  | 14,6 | 170,1 | 160,6 |
|                 | 4                              | 6,90                        | 8,60                                | 53,5   | 8,3  | 13,5 | 184,2 | 100,4 |
|                 | 5                              | 6,71                        | 9,55                                | 81,0   | 9,8  | 9,7  | 140,2 | 130,7 |
|                 | 6                              | 6,85                        | 12,80                               | 98,1   | 12,4 | 11,6 | 127,4 | 162,6 |
|                 | 7                              | 6,99                        | 15,25                               | 74,3   | 13,0 | 12,2 | 144,3 | 130,5 |
|                 | 8                              | 7,20                        | 13,75                               | 59,8   | 13,1 | 11,7 | 148,6 | 110,2 |
|                 | 9                              | 7,08                        | 10,20                               | 70,5   | 12,1 | 7,7  | 122,0 | 100,4 |
|                 | 10                             | 6,97                        | 12,90                               | 93,2   | 15,6 | 11,5 | 128,0 | 160,2 |
|                 | 11                             | 7,41                        | 16,00                               | 91,3   | 16,7 | 13,8 | 128,6 | 160,2 |
|                 | 12                             | 7,48                        | 14,20                               | 86,5   | 16,8 | 13,7 | 182,0 | 140,5 |

1 La description des traitements est rapportée au tableau 1.

2 pH des échantillons miniers après la récolte.

Tableau 4. Rendements en matière sèche du lotier et du maïs cultivés en serre et valeurs de pH des échantillons de rejets miniers prélevés à trois profondeurs dans la colonne de lixiviation après la récolte.

| Type de culture | Identification des traitements <sup>1</sup> | Rendements en matière sèche (g/colonne) | pH des échantillons de rejets miniers après la récolte |                 |                 |
|-----------------|---|---|--|-----------------|-----------------|
|                 |   |   | Couche 0-10 cm   | Couche 10-20 cm | Couche 20-30 cm |
| Lotier          | T1  | 5,52                                    | 6,95   | 3,40            | 3,26            |
|                 | T2  | 6,91                                    | 5,57   | 3,74            | 3,36            |
|                 | T3  | 6,35                                    | 4,74   | 4,23            | 3,38            |
|                 | T4  | 9,29                                    | 5,32   | 5,00            | 4,05            |
| Maïs            | T1  | 11,16                                   | 6,90   | 3,95            | 3,42            |
|                 | T2  | 17,13                                   | 4,89   | 4,00            | 3,67            |
|                 | T3  | 15,99                                   | 4,20   | 4,20            | 3,82            |
|                 | T4  | 21,56                                   | 5,55   | 5,14            | 4,13            |

<sup>1</sup> La description des traitements T1 à T4 est rapportée au tableau 2.

Tableau 5. Concentrations (mg/L) de métaux lourds dans les effluents provenant de résidus miniers recouverts avec des matériaux organiques et cultivés avec deux cultures.

| Type de culture | Identification des traitements <sup>1</sup> | Effluents obtenus après une semaine du semis |    |     | Effluents obtenus avant la récolte |     |     |
|-----------------|---|--|----|-----|------------------------------------|-----|-----|
|                 |   | Fe   | Zn | Cu  | Fe                                 | Zn  | Cu  |
| Lotier          | T1  | 7944   | 34 | 460 | 49,6                               | 1,2 | 4,2 |
|                 | T2  | 6068   | 36 | 327 | 5,3                                | 3,5 | 8,8 |
|                 | T3  | 4435   | 36 | 222 | 2,8                                | 3,0 | 7,2 |
|                 | T4  | 3199   | 22 | 142 | 1,6                                | 2,0 | 1,7 |
| Maïs            | T1  | 6392   | 22 | 282 | 12,8                               | 1,7 | 2,9 |
|                 | T2  | 5848   | 30 | 302 | 10,6                               | 2,8 | 4,5 |
|                 | T3  | 4252   | 33 | 229 | 5,3                                | 2,2 | 3,3 |
|                 | T4  | 2100   | 12 | 165 | 2,8                                | 1,0 | 1,2 |

<sup>1</sup> La description des traitements T1 à T4 est rapportée au tableau 2.

de croissance n'ayant pas reçu de matériaux organiques était très faible; 4,10 pour la fétuque rouge et 4,30 pour la fléole des prés. Par contre, les milieux de croissance ayant reçu des doses croissantes de matériaux organiques avaient des valeurs de pH variant entre 6,56 et 7,48.

Les résultats analytiques concernant les teneurs en métaux lourds des plantes sont présentés dans le tableau 3. Les résultats montrent que le taux de prélèvement de métaux lourds par la fétuque rouge et la fléole des prés augmente dans l'ordre suivant: Cu=Zn Fe Al Mn.

Il est à noter que les quantités de Cu ou de Zn prélevées par pot pour les traitements incluant les apports de matériaux organiques étaient, à quelques exceptions près, plus élevées que celles pour les traitements sans matériaux organiques. Ces résultats corroborent ceux de Cescas (1987) et Fuller et Lanspa (1975).

Les teneurs en métaux lourds des espèces cultivées ne semblent pas causer des effets phytotoxiques. Au pH (4,1), auquel a été faite la mise en végétation, on ne s'attend pas à des différences importantes de l'absorption des métaux lourds dont l'activité est réduite au maximum.

### Essais de lixiviation

D'après les résultats du tableau 4, le pH des résidus miniers amendés baisse de façon graduelle avec la profondeur. Il convient de souligner que les valeurs de pH des échantillons de résidus miniers prélevés dans la couche 20-30 cm sont généralement plus élevées que le pH du résidu minier initial (pH=2,41).

Les résultats d'analyse chimique des effluents sont présentés dans le tableau 5. Nous noterons que la quantité de fer relâché dans l'eau de lixiviation baisse considérablement après plusieurs cycles de lixiviation. Le traitement T8 semble être celui qui a le plus empêché la libération de métaux lourds (Fe, Zn et Cu) dans les eaux de lixiviation. De plus, le traitement T4 a favorisé l'obtention de hauts rendements en matière sèche

chez le lotier et le maïs-ensilage (tableau 4). De façon générale, le lessivage des métaux lourds n'a pas affecté de façon marquée la croissance des plantes. Le lotier s'est bien développé dans les différents milieux de croissance. Toutefois, le traitement T1 a donné un rendement peu élevé. Ceci peut être attribuable au fait que les amendements organiques n'ont pas été intimement mélangés avec les rejets miniers.

### Références

Bennett, O.L. 1977. Strip mining: new solutions to an old but growing problem. *Crops and Soil Magazine* 39:12-14.

Cescas, M.P. 1987. Mise en végétation des résidus miniers acides des mines Solbec Cupra. Le Groupe Conseil Roche Lté Québec, 26 p.

Fuller, W.W. and K. Lanspa. 1975. Uptake of iron and copper by sorghum from mine tailings. *Journal of Environmental Quality* 4:417-422.

<http://dx.doi.org/10.2134/jeq1975.00472425000400030029x>

Holmberg, G.V. 1980. Vegetation establishment on abandoned coal mined lands. *Transactions of the ASAE*. 117-120.

<http://dx.doi.org/10.13031/2013.34536>

Le Groupe Conseil Planigram Inc. 1987. Étude de caractérisation du parc à résidus miniers East Sullivan. 108 p.

Lundberg, P.E., O.L. Bennett and E. Mathias. 1977. Tolerance of bermudagrass selections to acidity. 1. Effect of lime on plant growth and mine spoil material. *Agronomy Journal*, 69: 913-919.

<http://dx.doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900060006x>

McNeilly, T. and M.S. Johnson 1978. Mine spoil nutrition of copper-tolerant brown top metal-contaminated mine spoil. *Journal of Environmental Quality* 7: 483-486.

<http://dx.doi.org/10.2134/jeq1978.00472425000700040004x>

Paquet, A. 1984. Mise en végétation de résidus miniers acides et alcalins. Québec: essais en serre. Thèse de maîtrise, Université Laval, 90 p.