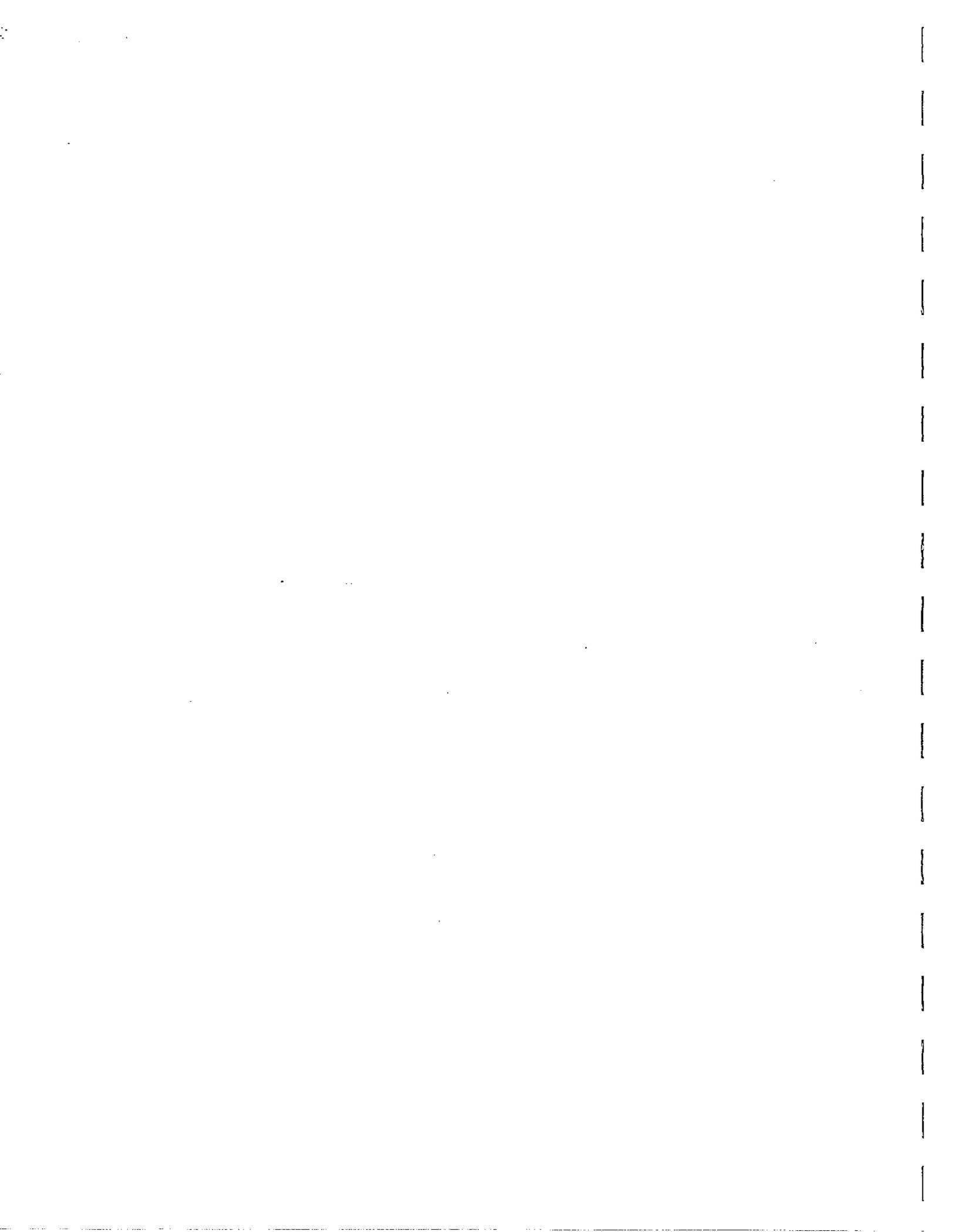


Appendices



PLENARY SESSION and GUEST SPEAKER**Procédures de réhabilitation:
Activités d'exploration pour le pétrole et le gaz;
Programmes d'assistance canadienne aux nations en développement**

A. R. Scheibner

Le gouvernement du Canada avec la Corporation d'Assistance Internationale de Petro-Canada (P.C.I.A.C.) donne une assistance étrangère aux nations en voie de développement pour l'exploration des ressources pétrolières et gazières. Cette aide à l'étranger est donnée seulement qu'aux pays qui n'ont pas déjà une industrie de production de pétrole et de gaz.

Une politique mise de l'avant durant ces programmes d'exploration est le transfert de technologie par un entraînement approprié. Comme résultat du mandat du gouvernement canadien pour la protection globale de l'environnement une forte emphase à l'intérieur de cette politique est placée sur la protection environnementale et le transfert de technologie dans les domaines de planification et de surveillance environnementales dans les pays hôtes.

La méthode principale pour remplir ces objectifs est d'assurer une planification, une supervision et une surveillance nécessaires pour garantir que tous les contracteurs et le personnel canadiens vont mener le projet à terme selon une manière sécuritaire pour l'environnement. Les lignes directrices utilisées comme termes de référence sont généralement les règlements environnementaux des pays hôtes et ce qui est considéré comme de bonnes pratiques dans l'ouest canadien.

Ce texte présentera les procédures de planification et de terrain entreprises par le P.C.I.A.C. en fournissant la planification et la surveillance environnementale pour les projets sismiques et d'exploration au Ghana, à Madagascar, au Botswana et au Costa Rica. Le texte soulignera également les procédures de terrain entreprises par le "Western Oilfield Environmental Services Ltd." en travaillant avec les règlements environnementaux locaux et le développement de programmes de réhabilitation réussis.

Le travail entrepris avec les représentants des compagnie pétrolières et les ingénieurs des pays hôtes pour développer de meilleures procédures de construction et de réhabilitation sera également présenté dans ce texte.

Réhabilitation dans l'industrie sablière de l'Australie

Dennis R. Brooks

L'Australie est le producteur mondial majeur des produits de sablières. La responsabilité pour le contrôle des activités minières en Australie est confié à l'autorité des Etats quoique le gouvernement fédéral a promulgué une législation pour l'analyse environnementale des projets majeurs. Chacun des trois Etats impliqués, New South Wales, Queensland et Western Australia, ont développé des mécanismes différents de régulation. Cependant, en comparaison avec les mécanismes de régulation en Amérique, les procédures australiennes sont moins législatives et plus flexibles. Depuis que les activités minières ont commencée en 1934, l'industrie a extrait et réhabilité des terres variant des dunes de la côte à de vieilles dunes intérieures de plus de 100 mètres de haut. A l'exception de certaines terres agricoles au sud-ouest du Western Australia, la plupart des programmes de réhabilitation ont impliqué une végétation indigène et l'emphase a été donnée à la restauration d'écosystèmes fonctionnels. Les écosystèmes naturels restaurés incluait des prairies et des arbustais du littoral, des terres centrales, des forêts de bois dur, et une variété de terres humides. Les conditions

climatiques rencontrées variaient de sub-tropical en passant par tempéré humide jusqu'à méditerranéen sec. Les principes pour réhabiliter les écosystèmes secs incluent la reconstruction de la forme du terrain, la gestion du sol de surface, la stabilisation des surfaces, l'établissement de végétation et la nutrition, et la surveillance du développement des sères végétales. La réhabilitation des terres humides a des exigences supplémentaires incluant le contrôle des niveaux du sol et de l'eau, une gestion spécifique des exigences pour le sol de surface et une emphase sur le "timing" des opérations. Un certain nombre de sites réhabilités de sablières font maintenant partie des parcs nationaux.

Considérations sur la réhabilitation des terres aux Indes, en Afrique du Sud et en Espagne

Edward M. Watkin

La réhabilitation des terres perturbées par les activités industrielles ou de construction aux Indes, en Afrique du Sud et en Espagne nous fait voir différents contrastes entre ces pays.

En Espagne, la réhabilitation des terres est un concept relativement nouveau, imposé par la récente entrée du pays dans la Communauté Economique Européenne et le besoin de se conformer aux règlements environnementaux de la CEE. En conséquence, il y a actuellement très peu d'exemples de réhabilitation minière ou industrielle. Présentement, le travail en est aux étapes d'évaluation et de planification de la procédure de réhabilitation des terres.

L'Inde reconnaît depuis longtemps le besoin de réhabiliter les terres mais cela a été limité par des contraintes techniques, financières et sociales. Le développement industriel a eu des effets catastrophiques sur le couvert forestier du pays. La législation récente reconnaît cette situation ainsi, par exemple, toutes les nouvelles mines doivent maintenant remplacer les terres forestières perturbées par l'activité minière par une surface équivalente nouvellement reboisée. Le remplacement ayant lieu durant la préparation du site minier et non à un certain moment durant la vie active de la mine.

La réhabilitation en Afrique du Sud a obtenu une reconnaissance mondiale grâce au développement d'une technique pour établir la végétation sur des haldes aurifères acides au moyen d'une irrigation par brumisateurs. Il y a également d'autres techniques qui ont été développées pour revégéter ces dépôts. La réhabilitation d'autres dépôts métallifères et de déblais et stériles d'exploitations charbonnières est une pratique courante. En plus, il y a plusieurs programmes de recherche intensive en réhabilitation qui sont en cours.

Certains problèmes et réussites de réhabilitation de terres aux Indes, en Afrique du Sud et en Espagne seront décrits, avec l'influence des facteurs techniques, sociaux, politiques et économiques.

Projet int. gré d'amélioration du sol et de l'eau en Egypte: Programme d'amélioration du sol

S. El Gayar, L. A. Leskiw et K. Pohjakas

L'Agence Canadienne de Développement International en coopération avec le Gouvernement égyptien conduit un projet d'amélioration des terres de plusieurs millions de dollars. Ce projet, d'une durée de 5 ans, porte sur 30000 ha dans le delta du Nil.

Les sols de la majeure partie de la surface du projet, et d'une bonne part du delta du Nil, ont un niveau d'eau élevé et de graves problèmes de salinité et de sodicité, d'où le besoin de réhabiliter les terres à grande échelle. Afin d'améliorer les sols, ce projet utilise une approche intégrée constituée de plusieurs éléments clé: assemblage de données de base, améliorations du système d'irrigation, du drainage et du sol, services, développement social, formation et gestion de projet. Cette présentation se concentre sur l'amélioration du sol laquelle implique le travail du sous-sol, des applications de gypse, le nivellement des terres, aussi bien que les relations avec les autres éléments. Les conditions des sols et agro-écologiques sont soulignées: les activités planifiées de réhabilitation et les procédures d'évaluation sont présentées avec une emphase sur les aspects intégrés du projet.

Impact du climat sur le succès de la revégétation dans la région des contreforts et des montagnes d'Alberta, Canada

T. M. Macyk, Z. W. Widtman et V. Betts

Depuis 1972, le Conseil de Recherche d'Alberta a dirigé un programme de recherche en revégétation près de Grande Cache, en Alberta conjointement avec les opérations minières de surface de Smoky River Coal Limited. L'utilisation de techniques appropriées de manipulation du matériel et la sélection d'espèces végétales adéquates, combinées avec de bonnes pratiques gestionnaires, ont permis l'établissement de communautés végétales diverses qui autorisent différentes utilisations du territoire. Le climat a été reconnu comme étant le principal facteur limitant le succès de revégétation dans la région. Les enregistrements des précipitations se sont faits depuis le début du programme sur la base de la saison de croissance. Plus récemment, un équipement de contrôle continu a été installé pour mesurer les précipitations, la température de l'air et du sol, la direction et la vitesse du vent et l'humidité relative. La période sans gel s'est échelonnée de 45 à 107 jours durant les 4 dernières années. Dans certaines régions caractérisées par une couverture de graminées et de légumes, on a mesuré des températures du sol à 2 cm de profondeur de plus de 48 °C pendant plusieurs heures pour des journées consécutives. La mesure de la quantité de pluie et de l'intensité des événements pluviaux suggère que la distribution de l'humidité est un peu moins efficace pour un bon établissement et une croissance des plantes. De grandes différences de plus de 100% dans les valeurs de précipitation arrivaient souvent entre des distances courtes de 0.5 km. Des relations entre la température de l'air, du sol et le vent ont été développées. Les données assemblées par le programme de contrôle sont utilisées pour affiner les procédures opérationnelles de revégétation utilisées dans la région.

NORTHERN and HIGH ALTITUDE RECLAMATION

Réhabilitation d'écosystèmes alpins sévèrement perturbés: Nouvelles perspectives

Ray W. Brown et Jeanne C. Chambers

Notre récente recherche sur la revégétation d'écosystèmes alpins sévèrement perturbés dans les montagnes de "Beartooth" au Montana porte sur l'utilisation de densités élevées d'ensemencement d'espèces graminées indigènes et par des taux élevés de fertilisation. Une couche superficielle de paillis de paille est habituellement utilisée et de la chaux hydratée incorporée dans les déchets de mine acide était utilisée lorsque nécessaire. Les résultats

démontrent que ces méthodes tendent à exclure par compétition l'établissement d'autres espèces et de toutes formes de vie dans la communauté. Nous avons trouvé que de fortes applications d'azote en début de traitement n'ont pas augmenté les capacités de rétention des éléments nutritifs à long terme pour les sites perturbés, et que lorsque la fertilisation a été interrompue il y a eu un déclin rapide de la productivité du site, ce qui a davantage retardé l'établissement d'espèces. Lors des dernières années nous avons adopté de nouvelles perspectives en regard de la revégétation alpine qui se concentrent sur des approches plus fondamentales. Notre recherche suggère que les mélanges de graines pour les perturbations sévères devraient inclure, en plus des graminées, des espèces ayant des exigences nutritives faibles et la capacité de fixer l'azote, que les densités d'ensemencement soient réduites, et que des applications modérées de macro-nutriments devraient probablement résulter par une augmentation des taux de succession et par une richesse plus élevée en espèces. Les résultats montrent que les réponses des espèces aux méthodes de revégétation sont contrôlées par différentes caractéristiques physiologiques, par l'assemblage de graines spécifiques et les exigences d'entreposage, et que la viabilité des graines et la germination varient énormément d'une année à l'autre. Cette recherche suggère également que des additions de matière organique à décomposition lente rehaussent les capacités nutritives et de rétention d'eau du sol, qu'un paillis de surface augmente les capacités de retenir les graines et réduit la perte de particules fines du sol par érosion éolienne, et que la rétention des graines peut être améliorée par l'utilisation sélective de différents rugosités de surface pour les sites perturbés.

L'utilisation d'espèces indigènes sélectionnées dans les programmes de revégétation subarctique

Lynn Maslen et G. Peter Kershaw

L'utilisation d'espèces indigènes dans les programmes de revégétation nordique est souvent recommandée mais rarement mise en application. Les raisons habituellement mentionnées incluent l'incapacité des espèces indigènes, par rapport aux espèces agronomiques, à s'établir rapidement, et le manque de disponibilité commerciale pour les graines. Une étude a été commencée afin d'évaluer le potentiel de revégétation d'espèces herbacées et arbustives indigènes aux environnements subarctiques, et de graines sélectionnées produites par des fermes expérimentales couramment en opération dans le Nord. Le site d'étude était une simulation de tracé de pipeline localisé dans la forêt subarctique dominée par Picea mariana, près de Fort Norman dans les Territoires du Nord-Ouest. Le substrat utilisé était dominé par le sol minéral exposé suite à une tranchée de pipeline simulée.

Les traitements de revégétation incluait: des graines amassées localement (Arctagrostis latifolia, Carex membranacea, Ledum groenlandicum, Betula glandulosa, Vaccinium uliginosum, Arctostaphylos rubra, et Empetrum nigrum); des rhizomes amassés localement (Epilobium angustifolium); des graines cultivées obtenues de "The Plant Materials Center" en Alaska (Arctagrostis latifolia, Artemisia Tilesii, Calamagrostis canadensis), et de "Decora Landscaping" au Yukon (mélange de graines: Agropyron violaceum: 82%; Festuca ovina: 10%; Poa alpina: 5%; Poa glauca: 3%).

A la fin de la première saison de croissance, les traitements utilisant les graines cultivées ont produit une couverture plus élevée que pour les traitements utilisant les graines locales ($p < 0.0001$), et l'Arctagrostis latifolia d'Alaska a produit un plus grand pourcentage de couverture que n'importe quel autre traitement. Le mélange d'Artemisia Tilesii et de Calamagrostis canadensis a produit la deuxième couverture la plus dense (16%), suivi par les rhizomes d'Epilobium angustifolium et le mélange de graines du Yukon (9% et 8% respectivement). Arctagrostis latifolia a été la meilleure espèce locale avec une couverture de 6%. Aucune des autres espèces locales n'a donné une couverture de plus de 1%. L'Arctagrostis

latifolia d'Alaska a eu la production aérienne la plus élevée (68 g/m) parmi les autres traitements ($p < 0.0001$). Il n'y a pas eu de différences de phytomasse entre tous les autres traitements ayant donné une couverture de plus de 1%. En dépit de la petite couverture produite par *Ledum groenlandicum* et *Betula glandulosa* (<1%) la germination et l'émergence lors de la première année étaient élevées pour les deux espèces, résultant en des densités moyennes d'ensemencement de 333 m⁻² et 284 m⁻² respectivement. Les autres espèces d'arbustes et *Carex membranacea* avaient des densités d'ensemencement < 3 m⁻², à cause d'une pauvre germination.

Les résultats de la première saison de croissance suggèrent que, selon les caractéristiques du site, des espèces indigènes sélectionnées, particulièrement *Arctagrostis latifolia*, sont pertinentes pour être utilisées dans les programmes de revégétation subarctique et que la culture des espèces indigènes peut améliorer leur pertinence pour l'usage.

La revégétation dans le nord canadien: un survol de 15 ans

W. Younkin et H. Martens

Le développement des ressources dans le nord canadien existe depuis des décennies, cependant, depuis les 15 dernières années sa vitesse s'est augmentée, sous l'influence de la recherche du pétrole et du gaz. Avec cette activité est venu un large éventail de perturbation du terrain et de la surface nécessitant une réhabilitation, c'est-à-dire la stabilisation et la revégétation. L'environnement nordique pose certains problèmes pour la revégétation à cause de la saison de croissance trop courte et le contenu élevé de glace dans le sol. Les terres au nord du 60ième parallèle présentent également une vaste étendue de conditions de site, de sol et de climat. A cause de la dureté de l'environnement nordique et du manque de matériel végétal adapté, l'emphase majeure de la recherche en réhabilitation a été mise en revégétation sur l'établissement d'un couvert végétal protecteur.

Les études de revégétation dans le nord canadien ont commencé au début des années 1970. Depuis, plusieurs études et essais ont été menés sur une large surface géographique. Ces essais portent sur les espèces, les mélanges d'ensemencement, les fertilisants, les paillis et les travaux du sol. Ces études sont revues et les découvertes à long terme résumées, en incluant des discussions sur les taux de développement du couvert végétal, sur la longévité, l'invasion d'espèces et le contrôle de l'érosion en concluant avec des spécifications pour la revégétation du nord canadien.

Défis de réhabilitation à la mine de charbon Usibelli à Healy, Alaska

Larry P. Jackson

La réhabilitation dans un environnement subarctique demande une compréhension profonde de la manière dont les températures en-dessous de zéro peuvent affecter le sol, l'eau et la végétation.

La mine de charbon d'Usibelli est située dans une région qui contient des zones de permafrost. La présence du permafrost nécessite une attention particulière car lorsque le sol est perturbé il dégèlera éventuellement. Le type de matériel dans lequel se trouve le permafrost détermine les options que nous avons dans la stabilisation et le maintien de la végétation sur le matériel.

Alors qu'une analyse des conditions du sol est menée, une étude plus détaillée est faite pour déterminer quel type de mesures de contrôle de l'eau doit être considéré étant donné la

présence d'un sol contenant beaucoup de glace. Les mesures de contrôle de l'eau qui seront utilisées ne sont habituellement pas essayées sur le terrain. Cela conduit autant à des résultats agréables que désagréables.

Le projet de contrôle de l'eau contient aussi un contrôle de l'érosion. Le contrôle de l'érosion est l'un des défis les plus importants dans la réhabilitation de la région de Healy. Le type de drainage représente l'une des régions parmi les plus susceptibles au monde à l'érosion naturelle. Cela présente des défis afin de réduire l'érosion des sites restaurés et de rencontrer les standards de qualité pour l'eau.

Un des éléments importants pour s'assurer du succès d'un programme de réhabilitation est de n'avoir aucune idée préconçue sur ce qui va arriver par la suite. Chaque projet qui est prévu et exécuté est généralement un nouvel essai dans un environnement particulier. A cause du manque de projets semblables cela fait que chaque jour est une aventure.

Eléments affectant la germination de graines herbacées alpines en relation avec leur utilisation potentielle pour la revégétation.

Surya N. Acharya

Des études de germination avec *Poa alpina* L. et *Agropyron latiglume* L. ont été entreprises pour déterminer les conditions optimums de germination, la présence de période de dormance chez les graines et l'étendue de la variabilité parmi les populations pour la vitesse de germination. Les graines de *Poa alpina* ont eu une meilleure germination en obscurité et des cycles de températures de 22/15 °C pour 16 /8 hrs., alors que *A. latiglume* avait besoin d'un régime de 29/22 °C et d'obscurité pour une meilleure germination. Une germination rapide des deux espèces a eu lieu à l'intérieur d'une marge étroite de conditions de température. Des conditions de lumière et de température sous l'optimum ont semblé avoir un effet inhibiteur sur la germination des graines durant la période initiale d'imbibition. L'inhibition de la germination par des facteurs externes (dormance secondaire) et la présence d'une dormance primaire pour les graines de la pépinière peuvent être leur adaptation à des environnements alpins extrêmement difficiles. Cela et la présence de différences parmi les populations pour la germination des graines pour les deux espèces sont encourageants pour notre programme de reproduction qui tente de sélectionner les génotypes avec une capacité de germination améliorée tout en maintenant une adaptation aux environnements difficiles.

Comportement de floraison de populations de *Poa alpina* sous conditions contrôlées

R. Hermesh et S. N. Acharya

Pour déterminer l'existence de populations de *Poa alpina* L. localement adaptées dans les Montagnes Rocheuses d'Alberta, des touffes d'herbes ont été amassées à partir d'environnements alpin et subalpin pour deux latitudes. Des clones de sept touffes, représentant chaque population, ont été testés simultanément dans des chambres de croissance utilisant des régimes de température froide (8/1 °C), moyenne (15/8 °C) et chaude (22/15 °C) avec une photopériode de 16 hrs. Huit caractéristiques de reproduction ont été mesurées pour chaque clone. Après une période de 6 mois, les clones du régime de température froide ont produit des panicules normales. Cependant, la floraison et la maturité des graines étaient considérablement retardées comparativement aux deux autres régimes. Les clones de l'environnement alpin élevé (2700 m) ont eu plus de fleurs et de graines que les clones de

l'environnement subalpin. Au régime de température moyenne, les panicules initiales étaient normales, par la suite plusieurs plants ont produit des panicules anormales et vivipares. La production de bulbilles vivipares peut cependant être renversé en changeant les conditions de croissance. Les clones du régime de température élevée ont produit très peu de panicules et la plupart étaient anormales ou vivipares. En général, les populations alpines et subalpines s'étaient adaptées à des conditions de température froide, cependant l'adaptation spécifique variait parmi les populations. La pertinence de ces observations pour la revégétation sera discutée.

Pourquoi les prairies alpines sont-elles vertes?

S. N. Acharya, R. N. Coleman, M. Neuwirth et M. Dalpe

Des échantillons de sol pris dans la rhizosphère de Poa alpina et Trisetum spicatum à la montagne "Lookout" contenaient des nombres plus élevés de bactéries que le sol éloigné de 3 cm. Les échantillons de rhizosphère pris pour 9 plants différents (pour les deux espèces) et mesurés pendant deux ans, contenaient au moins 10 fois plus de bactéries que les échantillons hors de la rhizosphère. Le nombre de bactéries calculé sur les médium d'azote libre variait de 5 à 56% des espèces hétérotrophiques. Les organismes qui croissaient facilement sur les médiums d'azote libre après 6 transferts successifs ont été identifiés comme étant Xanthobacter flavus, X. autotrophicus, Azotobacter beijerincki, Azomonas macrocytogenes, Flavobacterium multivorum, E. aquatilis et Beijerinckia indica. L'identification de l'espèce de certains Xanthobacter n'était pas possible car ce genre n'a pas été complètement décrit. Plus de bactéries fixatrices d'azote ont été isolées de la rhizosphère de P. alpina comparativement à celle de T. spicatum en dépit de leur proximité (<1m). Les semis de P. alpina inoculés avec des bactéries fixatrices d'azote sont restés verts et en santé pour une période beaucoup plus longue que pour les semis non inoculés croissant dans un médium d'azote libre. La microscopie électronique des racines des semis inoculés et des bulbes plantés dans le sol de la Montagne "Lookout" a révélé leur étroite relation avec la bactérie. La signification d'une relation symbiotique libre en relation avec la revégétation de perturbations alpines sera discutée.

Réhabilitation expérimentale dans les Appalaches: Pratique expérimentale à Amos Ridge, 1984-1988

Carl E. Zipper, W. Lee Daniels et James C. Bell

La compagnie Amos Ridge Coal a fait de l'extraction minière sur des pentes abruptes dans le comté de Wise en Virginie depuis la moitié des années 60. Sur une période s'étendant du 1er janvier 1984 jusqu'en septembre 1988, la compagnie opérait sous un permis permettant une pratique expérimentale différant des règlements de l'industrie minière de surface pour le charbon en Virginie, comme prescrit par la section 711 de la Loi du contrôle de l'industrie minière de surface et de la réhabilitation (Surface Mining Control and Reclamation Act, SMCRA).

Tous les standards de performance environnementale de la SMCRA ont été respectés pendant les opérations minières, à l'exception de ceux mis de côté lors de l'expérimentation. Ceux-ci avaient rapport aux standards de construction en matière de remplissage, et le régalage à une topographie proche de l'originale. Trois sites de remplissage de déblais ont été construits, un en utilisant les pratiques standards et deux en prenant les techniques expérimentales.

Approximativement 10 acres de terrain plat avec des sols profonds ont été produits à partir de la perturbation de 70 acres.

Les données amassées sur le site pour la période de 1984-1988 nous donnent les résultats de la pratique expérimentale. Les données des coûts d'opération indiquent des différences de coûts parmi les méthodes de remplissage, avec une meilleure efficacité économique pour la méthode dite du "rock-core chimney drain" par rapport aux techniques de remplissage dites "durable rock fill" et "underdrain fill". Des piézomètres pneumatiques installés dans les remplissages ne montraient pas de différences en termes d'augmentation d'eau de porosité: tous se drainant librement. Egalement, les données sur la qualité de l'eau indiquent aucune conséquence défavorable pour la qualité de l'eau souterraine ou de surface. Une analyse des coûts d'exploitation minière sur la période de 1985 combinée avec des techniques de modélisation informatique, indique que le coût de l'exploitation minière sous les pratiques expérimentales était moindre que le coût probable, que les pratiques de restauration pour les contours avaient été employées, alors que la récupération du charbon était plus grande. Une analyse comparative du potentiel à l'érosion pour la surface réhabilitée et pour une surface produite par la restauration conventionnelle, a montré que la forme expérimentale était beaucoup moins érosive.

Les résultats de la pratique expérimentale indiquent que, lors qu'adéquatement exécutée sur le terrain approprié, la méthode de restauration expérimentale employée à Amos Ridge peut réduire les impacts environnementaux et les coûts de l'exploitation minière sur les terrains en pentes abruptes tout en augmentant la récupération du charbon et les potentiels d'utilisation du territoire.

FISH & WILDLIFE and RANGELAND RECLAMATION

Utilisation de l'habitat et alimentation de l'orignal et du chevreuil sur une mine réhabilitée dans le centre-ouest de l'Alberta

N. A. Roe et A. J. Kennedy

L'utilisation, par l'orignal et le chevreuil, d'une mine de charbon restaurée et de l'habitat naturel adjacent a été surveillée entre 1978 et 1985 au centre-ouest de l'Alberta. Les objectifs étaient de déterminer l'utilisation de l'habitat, d'évaluer l'utilisation d'arbustes décidus plantés et de documenter les régimes alimentaires de l'orignal et du chevreuil. Le site étudié a été semé au départ avec des graminées, de la luzerne et du trèfle. En 1979, des semis de pin lodgepole et d'épinette blanche ont été plantés à 1250 tiges/ha; de plus 3 îlots de saule ont été plantés. Les habitats adjacents étaient constitués de forêts de conifères et mixtes dominées par le pin lodgepole, l'épinette noire, l'épinette blanche, le peuplier faux-tremble et le peuplier baumier. L'orignal et le chevreuil ont fait une utilisation comparable ou plus grande de la surface restaurée par rapport aux types d'habitat non perturbés. L'utilisation de la surface restaurée a été très variable d'une année à l'autre, sans tendance claire pour une augmentation ou une diminution dans l'utilisation, autant pour l'orignal que pour le chevreuil. La variation dans l'utilisation des habitats adjacents non perturbés a été moins prononcée. Les niveaux moyens d'utilisation du site de la mine étaient plus élevés que pour l'habitat adjacent, mais pas de façon significative pour l'orignal ($p > 0.05$), et à peine significatif pour le chevreuil ($0.05 < p < 0.10$). Le chevreuil a fait une utilisation double du site de la mine comparativement à l'orignal, mais la différence n'était pas significative sur une base année après année. L'analyse des fèces a révélé que le régime alimentaire de l'orignal était composé principalement de saule (88%) et d'épinette (8%). La diète du chevreuil était composée principalement de cornus (31%), légumes (23%), equisetum (15%) et de peuplier (6%).

Les arbustes de saules ont été régulièrement broutés entre 1981 et 1985 (74% de la plantation), alors que le broutage était catégorisé de lourd (26 % des plantations évalués) ou de modéré (20%). Les résultats indiquent que l'original et le chevreuil vont facilement prendre le fourrage dans les surfaces restaurées si des arbustes décidus, des buissons et des légumes sont plantés, mais que les graminées semées pour la stabilisation initiale du sol seront modérément utilisées.

Changements dans l'habitat et les populations de poissons au croisement d'un pipeline réhabilité et de la rivière Raven, Alberta

J. H. Allen et A. Lees

Entre 1964 et 1973, deux pipelines de large diamètre et une ligne de transmission d'énergie ont été construits avec plusieurs droits de passage à travers la rivière Raven dans l'ouest de l'Alberta. Le lit de la rivière à l'intérieur du droit de passage était large et peu profond, avait peu d'abri pour les poissons; les abords manquaient également d'une communauté végétale riveraine stable. Très peu de restauration naturelle de l'habitat des poissons a eu lieu à l'intérieur du lit dérangé depuis la dernière perturbation. En 1984, un projet a été initié afin de réhabiliter le lit et d'évaluer les effets de la restauration sur l'habitat et les populations de poissons. Trois constituants de l'abri; surplomb des rives, rondins, souches et débris et la végétation aquatique, ont été mesurés 5 fois entre août 1984 et août 1987 et les populations de poissons examinées à l'aide de moyens électroniques pour avoir des données sur l'abondance, l'âge, la croissance et l'utilisation de l'habitat. Les mesures de restauration ont augmenté la quantité d'habitats disponibles et les populations de jeunes truites de l'année dans la section restaurée ont augmenté significativement en dépit de l'impact majeur d'une inondation en juillet 1986. Les résultats de l'étude suggèrent également que l'effectif chez la truite brune était dépendant du volume de la décharge du cours d'eau durant la période de frai. A cause de la variabilité des facteurs environnementaux et de leurs effets, cela prendra probablement quelques années avant que les populations de poissons atteignent un état d'équilibre avec le nouvel habitat créé dans la section restaurée.

Distribution saisonnière et spatiale des mouflons à Cardinal River Coals Ltd.

Beth MacCallum

L'activité minière de Cardinal River Coals Ltd. a radicalement changé le paysage en partant d'une forêt dense de conifères pour devenir un terrain ouvert constitué de prairies restaurées à proximité d'amoncellements non restaurés. Une population d'environ 200 mouflons utilise couramment la région une bonne partie de l'année. Des études conduites depuis l'automne 1985 jusqu'à l'hiver 1987 ont identifié des patrons d'utilisation saisonnière et spatiale pour les superficies actives, partiellement et complètement restaurées. Les habitats pour le préru, le rut, les saisons d'hiver et de printemps se retrouvent à différents endroits dans la région, aussi bien que pour les endroits de mise bas et les sites de léchage du minerai. Les hauts murs des excavations épuisées sont utilisés comme terrain de fuite et routes de voyage. Les recommandations au Conseil de conservation et de réhabilitation des terres d'Alberta, pour le maintien des hauts murs et des prairies restaurées comme étant des composantes intégrales de l'habitat du mouflon, ont été acceptées et réalisées dans la réhabilitation finale du paysage.

La création d'un lac de pêche sportive à Cardinal River Coals Ltd.

G. B. Acott

La Cardinal River Coals Ltd. produit annuellement 2 millions de tonnes de charbon cokéfié pour le marché d'exportation. La compagnie opère depuis 1969 et a fait des progrès substantiels dans ses programmes environnementaux et de réhabilitation. L'idée principale en réhabilitation pour la CRC Ltd. est le développement d'un habitat faunique sauvage avec une emphase particulière sur les mouflons. Un deuxième objectif pour le développement récréatif a été la création d'un lac. La formation du contour des berges, la construction de la zone du littoral, l'inoculation de macrophytes et des techniques de mise en valeur de l'habitat en aval ont été utilisés pour tenter d'avoir une pêche sportive viable. Jusqu'à maintenant le progrès a été surveillé par une étude limnologique continue pour déterminer le taux de développement de la chaîne alimentaire conduisant à des recommandations pour le programme d'ensemencement de poissons.

Utilisation de bassins de dragage pour former un habitat propice à la culture du saumon "chinook"

Carl Richards, Phillip J. Cerner et Michael P. Ramey

La rivière Yankee Fork en Idaho était historiquement un endroit pour la migration d'espèces saumonées, principalement pour le saumon de printemps "chinook" et la truite "steelhead". Ces migrations ont été réduites dramatiquement lors des 20-25 dernières années par la présence d'activités minières et les effets de développements hydroélectriques en aval. Les activités minières ont résulté dans le recreusage complet du lit de certaines portions de la rivière et le dépôt des résidus de dragage qui ont dégradé une grande partie de l'habitat de frai et de culture de la rivière Yankee Fork. Les études de pêche indiquaient que la production de saumon chinook dans cette rivière est limitée par la disponibilité d'habitat de culture, ce qui a eu comme résultat de diriger les efforts vers l'augmentation ou l'amélioration des espaces de culture disponibles. La rivière est bordée par plus de 30 bassins variables en dimension, forme et profondeur, ces derniers étant les vestiges des opérations de dragage. La plupart des bassins de dragage sont en dehors du lit de la rivière et n'ont pas de lien direct en surface. Des plans de génie ont été développés afin de raccorder les bassins de dragage à la rivière, de façon à augmenter les habitats de croissance utilisables. Quatre séries de bassins de dragage ont été construits, chacun contenant de 2 à 7 bassins raccordés en série. Les entrées et les sorties des bassins ont été faits pour faciliter l'accès aux jeunes saumons. L'ajout de ces bassins de dragage a augmenté la capacité de croissance de la rivière Yankee Fork de 24 000 individus.

Démonstration de pâturage sur des terres réhabilitées à la mine "Black Thunder" de la compagnie "Thunder Basin Coal", Comté de Campbell, Wyoming

Robert L. Moore Jr., Warren R. Keammerer et Edward J. DePuit

Un des standards dans le succès de revégétation est de démontrer que la communauté végétal ayant servie à la réhabilitation est capable de soutenir une pression de pâturage par les animaux domestiques et la faune sauvage qui soit au moins égale à la pression de pâturage avant l'exploitation minière. A ce jour, les superficies les plus âgées et les plus vastes ayant été restaurées à la mine "Black Thunder" sont localisées à l'excavation nord. Les superficies

qui ont été semées en 1981, 1982 et 1983 ont été utilisées pour préparer et construire un système de deux pâturages rotationnels qui portent sur 183 acres. Le projet à l'étude inclue la surveillance de la végétation pour connaître l'utilisation des pâturages relativement au gain en poids de l'animal et pour déterminer des changements dans la végétation dûs au pâturage.

Des veaux (Black Angus-Hereford) seront utilisés en 1988, la première année de l'étude. Le projet à l'étude demande d'introduire le troupeau dans le pâturage ouest à la mi-mai après que les poids individuels se soient stabilisés. Le troupeau sera alors pesé et déplacé dans le pâturage est à la mi-juillet où il restera jusqu'à la mi-septembre, alors le troupeau sera pesé pour la troisième fois. Les données sur la végétation seront prises à la mi-juillet quand le troupeau est déplacé du premier pâturage au second et encore à la mi-septembre quand il sera enlevé du deuxième pâturage. Des données et de l'information résumant la première année de l'étude seront présentées.

Pâturage complémentaire de terres minières réhabilitées et d'habitats naturels au Montana

Edward J. DePuit et Joe G. Coenenberg

Une étude de trois ans a été faite pour évaluer la pertinence de la revégétation d'une mine de charbon avec des graminées et des légumes introduits comme site de pâturage complémentaire avec des pâtures naturelles. Les objectifs étaient de déterminer les réponses du sol et de la végétation à l'intérieur des pâtures de la mine suite au pâturage du troupeau, et d'évaluer la capacité des pâtures sur les mines pour supporter du bétail. Les traitements incluait un site de contrôle sans pâturage; du pâturage rotationnel pour le printemps, l'été et l'automne pour le site minier exclusivement; du pâturage rotationnel et complémentaire sur le site minier au printemps, sur les pâtures naturelles à l'été et de retour sur le site minier à l'automne. Les traitements ont été appliqués de façon identique chaque année pendant trois ans et l'intensité de pâturage a été modérée (50-65 % d'utilisation du fourrage). Les résultats indiquent que le pâturage de printemps et d'automne améliorent la productivité de la végétation sur le site minier, induisent certains changements dans la composition et la diversité des espèces végétales, et influencent positivement un bon nombre des attributs du sols. En conséquent, les pâtures sur le site minier ne font pas que résister mais bénéficient du régime de pâturage imposé. Les données sur la qualité du fourrage et sur le gain animal pour les pâtures sur le site minier démontrent la plus haute utilité du mélange d'espèces introduites pour le printemps, l'utilité la plus basse durant l'été (quand la performance animale sur les pâtures naturelles dépassait celle du site minier), et une utilité intermédiaire à l'automne. Les gains du troupeau pour la saison entière étaient plus élevés sous le système de pâturage complémentaire (habitat naturel et site minier) que sous le système de pâturage au site minier exclusivement, et étaient aussi généralement plus élevés que les gains atteints normalement pour un pâturage naturel dans la région. Ces résultats suggèrent qu'un pâturage complémentaire peut comprendre une utilisation productive de pâturages dominés par des espèces introduites quand de telles pâtures existent ou sont créés sur des sites miniers.

**Mise sur pied d'un programme de mitigation
des habitats fauniques pour le projet de barrage de la rivière Oldman**

J.E. Green et A.L Nilson

Pour compenser les pertes d'habitats fauniques associés au projet de barrage sur la rivière Oldman au sud de l'Alberta, un programme de mitigation a été mis sur pied afin d'instaurer des habitats alternatifs pour la faune dans la région immédiate du réservoir. Une stratégie spécifique a été élaborée en 1988 qui tient compte des exigences biologiques de la faune en matière de mouvements de migration et d'habitats spécialisés par exemples en relation avec l'utilisation du sol actuelle et future du réservoir et le potentiel pour l'établissement de boisés.

La mise en oeuvre de ce projet de mitigation est maintenant amorcée et implique trois techniques majeures soit la protection des habitats existants, l'amélioration des habitats perturbés et la création de nouveaux habitats. Environ 65 projets distincts sont développés en plus de quelques projets pour l'établissements de nids pour rapaces.

Différentes techniques de mitigation seront décrites avec de nombreux exemples dont (1) la protection des habitats, (2) la construction des barrages, (3) l'établissement de boisés utilisant un système d'irigation souterrain, (4) la création de zones marécageuses et (5) la modification des falaises pour les nids de rapaces et d'ois du Canada.

RECLAMATION and WATER

**Réhabilitation de mines de manganèse abandonnées
en le sud-ouest de Virginie et dans l'est du Tennessee**

Jack A. Muncy

En 1985 la Tennessee Valley Authority (TVA) a initié le plan de réhabilitation du bassin de l'embranchement sud de la rivière Holston. L'objectif du plan est d'identifier et de chercher la résolution de tous les problèmes majeurs de la ressource eau dans la région du bassin par une gestion intégrée.

Une composante majeure du plan est liée aux efforts de la TVA d'amoindrir les impacts de pollution de l'eau par les mines abandonnées de manganèse par une réhabilitation sélective du territoire. Ces mines abandonnées ont opérées avant l'adoption des lois de l'Etat en matière de réhabilitation sur l'exploitation minière pour les minéraux autres que le charbon. La TVA a pris un rôle dominant en identifiant ce problème de qualité des terres et de l'eau parce qu'il n'y a aucun autre moyen disponible pour stabiliser ces terres qui ont des impacts néfastes sur l'eau. Par la coopération des efforts financiers avec le Service Forestier des Etats-Unis et 25 propriétaires terriens, 276 acres couvrant 59 sites miniers différents, dans le comté de Smyth en Virginie et les comtés de Johnson et Carter au Tennessee, ont été traités depuis 1985. Ce texte donne des informations sur les activités du projet impliquées dans la réhabilitation de ces terres sujettes à l'érosion. Le problème restant porte sur une superficie de près de 50 acres.

Régimes hydrologiques souterrains et réhabilitation du paysage des mines charbonnières de surface en Alberta

S.R. Moran, M.R. Trudell, T.M. Macyk

A l'aide d'une étude de huit ans sur l'hydrologie souterraine d'un paysage minier réhabilité nous avons reconnu deux régimes hydrologiques différents: sites des hautes terres et sites des basses terres.

Les sites de hautes terres, qui constituent la majeure partie des surfaces réhabilitées, sont généralement situés au-dessus du niveau du paysage d'avant l'opération minière et sont caractérisés par un terrain plat à ondulant. Plusieurs petites dépressions ovales d'environ 10 m par 20 m et aussi profondes que 0.5 m, qui ont été formées par la subsidence du sol, parsement le paysage. La présence d'eau de surface dans ces dépressions est éphémère et tend à être d'une superficie limitée, avec les bassins non reliés à la nappe phréatique. La recharge de l'eau souterraine arrive seulement sous les dépressions et est un événement peu fréquent relié à la formation éphémère de bassins. Le retour des niveaux d'eau souterraine vers une configuration stable après l'activité minière est lent, demandant au moins plusieurs décennies. La nappe phréatique est à une profondeur considérable sous la surface du terrain, dans la plupart des cas, au moins de 5 m à 10 m sous la surface. Les sols tendent à être bien drainés. Le potentiel à la salinisation du sol est généralement bas et limité à la bordure autour des bassins d'eau éphémères dans les dépressions. Les sols reconstruits évoluent vers la formation de Chernozems sur la plus grande partie du terrain et vers des gleysols luvics dans les dépressions. Un développement limité de sols solonetzics peut arriver autour des dépressions où la roche-mère en-dessous du sous-sol est sodique.

Les sites des basses terres, qui constituent des surfaces restreintes dans les terres réhabilitées, sont généralement situées sous le niveau du paysage d'avant l'opération minière. Les sites des basses terres se développent partout où le sol de surface était mince, généralement moins que 4 à 5 fois l'épaisseur du charbon enlevé, et dans les environs des coupes finales. Les sites des basses terres occupent généralement plus le paysage réhabilité des surfaces minières anciennes que nouvelles. Des petites dépressions, comme celles dans les sites de hautes terres, se forment suite à la subsidence des résidus. En plus, les sites de basses terres sont caractérisés par de larges dépressions qui résultent des opérations minières. Parmi les origines de ces dépressions sont les coupes finales, les rampes d'accès et les routes de camionnage. La formation de bassins d'eau de surface arrive souvent dans les sites de basses terres où les bassins tendent à être permanents ou semi-permanents et sont reliés avec la nappe phréatique. Durant les premières étapes de saturation des résidus, la recharge de l'eau souterraine se fait plus ou moins continuellement par écoulement des bassins permanents. Le retour des niveaux d'eau souterraine vers une configuration stable après l'activité minière est rapide, demandant généralement pas plus de 5 à 10 ans. La nappe phréatique stable est près de la surface du sol sur une grande partie du site et généralement à une profondeur de 1 à 3 m. Une fois que l'équilibre d'après l'activité minière est atteint, les grands bassins sont des sites de décharge pour l'eau souterraine, au moins durant une partie de l'année. Les sols des sites de basses terres tendent à être pauvrement drainés et ont un potentiel élevé pour la salinisation du sol. Avec le temps, les sols reconstruits évoluent vers des Solonetz et des Gleysols salins.

**Réponses géomorphiques de pentes naturelles et restaurées
suite à des événements de précipitation au Wyoming**

Terrence J. Toy

Des données sur le ruissellement et la sédimentation ont été amassées sur les sites de deux pentes naturelles et restaurées de la compagnie "Glenrock Coal". Le ruissellement par unité de surface pour un site nouvellement restauré excédait celui des sites naturels en dépit d'intensités moyennes de précipitation plus faibles; cependant, le ruissellement du site restauré plus ancien était actuellement moins que celui des sites naturels. La production de sédiments par unité de surface pour le site nouvellement restauré était plus élevé que les sites naturels alors que la production de sédiments pour l'ancien site restauré était dans la marge de celle des sites naturels. Les concentrations de sédiments des écoulements du site récemment restauré étaient très élevées, spécialement au début du relevé, et excédaient de beaucoup celles des sites naturels. Encore, les concentrations de sédiments du site anciennement restauré se trouvaient dans la marge des sites naturels. Il y avait des relations statistiques significatives entre le ruissellement par unité de surface et la production de sédiments par unité de surface, et entre le pourcentage de sable et d'argile dans les sédiments et les pourcentages pour les sols de surface. La comparaison de la sédimentation et des distributions des particules du sol suggère un entraînement et un transport sélectifs des éléments du sol. Finalement, l'évidence suggère que les surfaces restaurées peuvent approcher un semblant d'équilibre, analogue aux surfaces naturelles, dans environ cinq années.

**Combinaison de techniques empiriques et géomorphiques de dimension pour la reconstruction
de cours d'eau temporaires au nord-est du Wyoming**

Steve McIntosh

La reconstruction de cours d'eau temporaires doit être limitée à des méthodes pour le choix des dimensions où les prérequis n'excèdent pas ce que le constructeur peut faire en regard de ce qui se rapporte aux matériaux de construction. Le contrôle absolu du matériel demandé par l'élaboration de formules empiriques et la duplication précise de la topographie exigée par les modèles géomorphiques nécessitent une demande de construction matérielle impossible à faire compte tenu des outils et techniques des opérations minières de surface modernes. Le sol, le remblai et la topographie créés par l'exploitation en découverte, et l'évolution imprévisible de chacun, rendent invalides les approches de design arithmétique et géomorphique utilisées comme seuls déterminants des caractéristiques du canal. Les canaux d'inondation majeure peuvent être dimensionnés en utilisant le modèle de Manning. Un canal pour une durée de 2 à 5 ans peut être établi au sol, selon la forme sinueuse du canal d'avant les opérations minières, dans le cours de la crue calculée mathématiquement. Des obstacles en coin stratégiquement placés imitent l'effet des obstacles du canal ellipsoïdal naturel et assurent les méandres pour les eaux retenues. Ce format de design démontre une faisabilité économique et logistique pour faire un canal qui est stable après les opérations minières et qui est l'équivalent en forme et en fonction d'un cours d'eau non perturbé.

**SEDCAD - Modèle informatisé pour aider au design
pour la sédimentation, l'érosion et l'écoulement**

Richard C. Warner et Pamela Schwab

Le modèle SEDCAD a été développé pour aider les ingénieurs dans le design de systèmes de contrôle sur l'érosion, la sédimentation et la gestion des eaux pluviales. Le modèle a été fait selon le concept d'une station de travail en ingénierie de faible coût contenant un ordinateur personnel, un digitaliseur et une imprimante avec une matrice de points. Des utilités autonomes sont démontrées lesquelles donnent au modèle la capacité de dessiner rapidement des déviations, de dimensionner les caniveaux, de développer des valeurs d'écoulement de section pour les tubes d'égouttement et les déversoirs d'urgence; de déterminer les volumes de remblai; et d'incorporer le calcul de l'érosion pour les pentes abruptes selon l'équation USLE. Le modèle prédit et trace également les hydrographes et les sédimentographes pour les bassins de drainage et détermine l'efficacité des trappes de sédimentation.

**Projet de réhabilitation et d'hydrologie sur les plaines (PHRP): Une étude interdisciplinaire
dirigée vers l'optimisation de l'aptitude agricole
après l'activité minière.**

S.R. Moran, M.R. Trudell, T.M. Macyk, D. B. Cheel et Al Howard

Entre 1979 et 1987, le projet de réhabilitation et d'hydrologie sur les plaines a cherché nombre de solutions pour la réhabilitation des mines charbonnières de surface des plaines d'Alberta. Le but général du PHRP était: (1) de prédire le succès à long terme et les impacts hydrologiques des pratiques de réhabilitation courantes, et (2) de développer une technologie de restauration qui permettra la modification nécessaire de la pratique courante pour assurer le succès à long terme et mitiger les conséquences environnementales nuisibles. Le projet implique une approche globale de réhabilitation à travers l'intégration d'études sur la géologie, l'hydrologie et les sols, pas seulement sur la surface proposée pour l'exploitation minière mais aussi pour les régions adjacentes non exploitées.

L'équipe du projet a trouvé que l'aspect chimique de l'eau souterraine dans les déchets de mine est significativement dégradé relativement à celui existant dans les aquifères de charbon non perturbés. La salinité de l'eau souterraine après l'exploitation minière peut être expliquée entièrement en termes de contenu en sels de la gangue avant les opérations minières. Même si une altération limitée des résidus arrive, il n'y a pas d'évidence que l'oxydation des sulfides contribue significativement aux caractéristiques chimiques de l'eau souterraine dans les déchets pour les plaines d'Alberta. Sur la base de ces découvertes, l'équipe du projet PHRP concluait que la manipulation sélective ou le placement des résidus ou des matériaux du sous-sol ne feraient pas diminuer la salinité de l'eau souterraine des résidus.

L'équipe du projet PHRP concluait que l'exploitation charbonnière en surface dans les plaines d'Alberta ne devrait pas avoir d'effets nuisibles sur la qualité de l'eau souterraine ou de surface en dehors des superficies minières. L'évidence suggère que l'eau souterraine provenant des résidus ne se déchargera pas dans les courants de surface à un taux suffisamment rapide pour altérer sensiblement la chimie de l'eau. L'évidence de la migration de l'eau souterraine provenant des résidus vers les aquifères non minières a été observée dans un cas isolé avec une combinaison relativement rare de la stratigraphie de la gangue et de la configuration topographique des résidus. L'activité minière a toutefois des effets nuisibles sur les ressources en eau souterraine à l'intérieur des petites superficies qui sont exploitées. Dans les régions sous lesquelles on trouve du charbon exploitable en surface, les provisions d'eau

pour l'agriculture sont habituellement obtenues de puits faits dans des lits fracturés dans le charbon ou dans des lits sableux au-dessus du charbon. L'exploitation de surface enlève ces aquifères peu profondes. Dans certaines régions, le remplacement des provisions d'eau sera disponible à partir de lits sableux et rocheux sous la zone de charbon "Lower Horseshoe Canyon".

L'implication environnementale la plus significative pour l'eau souterraine des résidus est pour la salinisation du sol des paysages reconstruits. Une telle salinisation peut se développer où la nappe phréatique est maintenue à l'intérieur d'une profondeur d'environ 1.5 m de la surface du sol par des mouvements latéraux ou ascensionnels de l'eau durant la période de croissance. Ces conditions d'une nappe phréatique peu profonde se développent relativement rapidement, à l'intérieur de 10 à 15 ans, dans les basses terres des superficies restaurées. Dans ces régions, des dépressions en bassins facilitent la recharge de l'eau souterraine, qui conduit à un développement rapide des conditions d'une nappe phréatique peu profonde dans les régions adjacentes aux dépressions. Où les hautes terres des superficies restaurées sont plates ou avec une pente très faible, les nombreuses petites dépressions qui se forment en réponse aux dépositions variables des résidus permettent la création de bassins éphémères et la recharge de l'eau souterraine. Où le flux de la recharge est suffisamment grand, l'eau souterraine s'écoule vers les régions plus basses en augmentant davantage la salinisation à ces endroits. L'équipe du projet PHRP concluait que la mise en forme des terres restaurées pour former des pentes avec un drainage intégré minimiserait le potentiel de salinisation du sol en diminuant la recharge en eau souterraine.

L'aptitude agricole des sols reconstruits, qui a été évaluée en utilisant un système développé par le projet PHRP, a été trouvée équivalente à l'aptitude d'avant les opérations minières. La différence principale était que les taux d'aptitude des sols reconstruits étaient plus homogènes que pour les terres non exploitées. Les taux les plus élevés et les plus bas d'avant l'activité minière semblent s'être perdus dans le mélange des matériaux de la gangue qui est survenu durant les activités minières et la réhabilitation. L'évidence suggère que les propriétés physiques et chimiques des sols reconstruits bien drainés s'améliorent avec le temps avec une diminution du contenu en sodium démontrant l'écoulement vers le bas et une diminution de la densité volumétrique. Une autre évidence suggère qu'une dégradation de l'aptitude arrive suite à une augmentation de l'humidité en surface. Les dépressions formées par la subsidence, qui habituellement ne sont pas complètement développées avant plusieurs années après la mise en forme finale, résultent en la création de bassins éphémères.

HERBACEOUS REVEGETATION

Fourrage natif prometteur pour l'ensemencement/ mélange de graines pour déchets de mines

Ardell J. Bjugstad

Trente espèces pérennes de fourrage ont été semées directement sur des déchets de mine de charbon sur une période de deux ans. Celles qui démontraient une excellente émergence des graines et une croissance vigoureuse pour les deux années étaient: Petalostemum candidum, Glycyrrhiza lepidota, Ratibida columnifera, Liatris punctata et Astragalus ceramicus. Les espèces semées les deux années mais ayant une germination acceptable pour seulement une année étaient: Aster ptarmicoides, Echinacea angustifolia, Solidago missouriensis, Astragalus striatus, Petalostemum purpureum et Metzelia decapetala. Les autres espèces ont montré très peu ou aucune germination d'où la difficulté d'établir ces espèces directement par l'ensemencement sur les déchets de mine de charbon.

Diversité et variété saisonnière des espèces indigènes dans les prairies restaurées

K. J. Hirsch et D.J. Nilson

Dans un endroit semé de graminées indigènes, les espèces graminées de saison froide prédominent souvent sur les espèces de saison chaude. Des mesures sur le terrain ont été prises pour évaluer l'effet de traitements utilisés pour redonner la balance saisonnière à un endroit semé de graminées indigènes dominées par les espèces de saison froide. Une prairie restaurée par des espèces indigènes, lourdement dominée par Agropyron intermedium et Agropyron trichophorum, contenait seulement une infime quantité de graminées de saison chaude. Du glyphosate (Roundup) a été pulvérisé par avion en directions perpendiculaires créant un patron d'échiquier avec des taux d'application de 0, 1.75 et 3.50 l/ha. Ces techniques d'application d'herbicide n'étaient pas sans avoir certaines dérivations. Après que l'herbicide ait fait effet, la surface a été brûlée et semée avec un mélange de graminées de saison chaude. Une partie de la surface originellement semée a été retenue comme contrôle. Les traitements appliqués ont eu des effets significatifs sur la balance saisonnière. La proportion de graminées de saison chaude a augmenté sur les surfaces qui ont reçu les plus hauts taux de glyphosate. Les espèces de saison chaude, incluant Bouteloua gracilis, Bouteloua curtipendula et Andropogon scoparius ont remplacé Agropyron intermedium et Agropyron trichophorum. Les surfaces traitées avec 3.50 l/ha de glyphosate avaient plus de 50 % d'espèces de saison chaude. La production totale cependant était réduite pour les taux les plus élevés d'herbicides. Le taux de 0 l/ha de glyphosate combiné avec les traitements de brûlage et d'ensemencement a donné la production la plus élevée. En résumé, l'utilisation de glyphosate suivie de brûlage et d'ensemencement peut accroître réellement la diversité et la variété saisonnière d'un endroit où l'ensemencement est établi.

Productivité de plants agronomiques et indigènes sous des taux variés d'application de graines et de fertilisants sur un corridor de transport simulé, à Fort Norman, Territoires du Nord-Ouest

Kevin Evans et G. Peter Kershaw

Au printemps de 1987 une étude de revégétation a été initiée sur un droit de passage orienté est-ouest sur le site d'étude de la SEEDS avec l'idée de savoir de quelles façons des taux variés de fertilisants et d'application de graines affecteraient la revégétation d'un corridor de transport simulé. La portion du droit de passage pour cette étude a été perturbée par 1800 passages d'un ATC (Honda 200M) de façon à simuler plus exactement un corridor de transport nordique. La surface à l'étude a été semée et fertilisée selon des taux similaires à ceux employés dans les projets de revégétation du Nord. Le mélange de graines était identique à celui utilisé par "Interprovincial Pipe Line Ltd" pour leur pipeline de Norman Wells à Zama Lake. Ce mélange contenait les espèces agronomiques suivantes - Poa pratensis: 5 %; Festuca rubra: 20%; Festuca ovina: 15%; Agropyron trachycaulum: 28%; Alopecurus arundinaceus: 15%; Phalaris arundinacea: 12% et Phleum pratense: 5% semées au taux de 30 kg/ha. Un fertilisant complet (17-25-15) a été appliqué selon six taux (0, 100, 250, 400, 500 et 1000 kg/ha) avec et sans le mélange de graines.

A la fin des saisons de croissance de 1987 et 1988 des estimations de couverture ont été faites sur chacun des douze traitements de graines et fertilisation. Pour achever l'estimation des couvertures, la densité des espèces végétales a été mesurée en plus d'un échantillonnage de la biomasse pour chacun des traitements. La densité des plants dans l'échantillon de contrôle

était de 198.4 individus/m² en 1987 augmentant à 460.8 individus/m² en 1988. L'accroissement en pourcentage pour la densité n'a pas été aussi élevée pour les autres traitements sans graines exception faite pour celui dont la fertilisation était de 400 kg/ha avec comme résultat que le nombre de plants est passé de 178.2/m² à 611.2/m². Cela a été une augmentation de densité de 253% pour une saison de croissance. Comme attendu, les traitements qui ont été semés avaient des valeurs de densité plus élevées. Dans le traitement semé et non fertilisé la densité des plants est passée de 401.6/m² en 1987 à 489.6/m² en 1988. Le traitement dans lequel 400 kg/ha de fertilisant et 30 kg /ha de graines ont été mis avait 520 plants/m² en 1987 et 721.4 plants /m² en 1988.

Le pourcentage d'accroissement pour les valeurs de densité était similaire pour chacun des six taux d'application de fertilisant, autant avec graines que sans graines. Cependant, le nombre d'individus par échantillon augmentait comme résultat de l'application de graines. Des tendances similaires pour la biomasse et la couverture ont été observées pour les traitements.

Utilisation d'une association Rhizobium-trèfle pour la revégétation de déchets d'une mine de lignite

Pamela A. Harris et David A. Zuberer

Les places-échantillons sur le terrain ont été établies sur des déchets de mine de lignite fraîchement nivelés à l'automne de 1986 pour étudier les effets de la fertilisation et de l'inoculation avec Rhizobium leguminosarum trifolii sur l'établissement et la croissance de Trifolium subterraneum et d'évaluer la survie de Rhizobium sur les déchets de mine. En 1987, les rendements en trèfle étaient plus élevés pour les places inoculées quand P et K étaient ajoutés. Les rendements n'étaient pas augmentés par l'addition de N. Des rendements plus faibles ont été trouvés dans les places non fertilisées avec ou sans inoculation. En 1988, des rendements en trèfle plus grands ont été observés pour les places fertilisées avec ou sans inoculation. Les rendements totaux moyens en 1988 étaient approximativement le double de ceux obtenus en 1987, cela provenait du couvert de plants plus dense obtenu par l'ensemencement naturel du trèfle.

Après l'émergence initiale du trèfle en 1986, les populations indigènes de Rhizobium trouvées dans les places non inoculées étaient plus grandes comparativement aux places inoculées. Les rhizobiums indigènes étaient en association efficace avec le trèfle, mais la production de matière sèche était plus basse pour les places non inoculées durant la première année. Autant les places inoculées que non inoculées avaient des populations de 104 à 105 rhizobium /g sol à la sénescence du trèfle. Les places de contrôle n'ayant pas de trèfle avaient approximativement 102 rhizobium/g sol. Les populations de Rhizobium dans les places inoculées et non inoculées avaient approximativement 103 rhizobium/g sol à l'émergence du trèfle lors de la seconde année, et ces populations étaient efficaces pour noduler le trèfle émergent.

L'utilisation du sorgho comme culture d'étude pour la restauration de terres agricoles de premier choix

R.I. Barnhisel et J.L. Powell

Des données seront présentées pour résumer trois expériences ayant les objectifs suivants: 1) Déterminer le potentiel de production de variétés sélectionnées de sorgho. 2) Déterminer l'effet

de la profondeur du sol et l'histoire des récoltes antérieures sur la production du sorgho. 3) Déterminer l'effet, sur la production du sorgho, de fertiliser avec de la chaux le sous-sol avant le remplacement du sol de surface.

En général, le sorgho donne une bonne culture d'étude pour l'évaluation du succès de la restauration (i.e. la productivité) des terres agricoles de premier choix, cependant, de grandes variations se présentent entre les variétés. Le sorgho répondait à une augmentation de la profondeur du sol avec la plus grande production pour les traitements entre 20 et 60 cm de profond et une moindre productivité pour les traitements entre 60 et 100 cm. L'histoire des récoltes antérieures a affecté les productions de sorgho pour les places ayant été cultivées avec de la luzerne et de la fétuque durant les 5 premières années de l'étude, surpassant les places qui avaient une rotation de maïs-blé-soya. L'application de chaux au sous-sol acide a résulté dans une réponse significative pour la productivité.

WOODY PLANT REVEGETATION and SUCCESSION

Détermination des densités optimales de plantation pour la revégétation minière

P. Guy

A ce jour, il n'y a pas d'exigences dans la législation albertaine qui traitent de façon spécifique de la création d'habitat pour la faune sauvage durant la réhabilitation. Parce que les densités et la composition des espèces végétales des habitats fauniques à atteindre pour les surfaces réhabilitées doivent être adaptées à la zone écologique de la région, elles sont faciles à déterminer par comparaison. La détermination des densités végétales et des espèces à être plantées au début de la réhabilitation d'un site vers un habitat faunique est un problème plus complexe. Ce texte décrira les avantages et les désavantages de densités de plantation élevées et basses lors de la revégétation d'une surface minière, et décrit des façons de déterminer les densités de plantation appropriées en utilisant les caractéristiques sylviculturales des espèces arbustives et arborescentes utilisées en revégétation.

Revégétation et surveillance écologique d'une mine de phosphate

P. Soni et N.B. Vasistha

Le développement de pratiques de revégétation écologiques et économiques pour stabiliser les terres d'une mine à ciel ouvert est un défi. Surtout lorsque le site a des pentes abruptes associées avec des problèmes de glissements de terrain, d'érosion et de pollution des cours d'eau.

Ce texte présente les résultats d'un programme de revégétation pour stabiliser une surface minière où du phosphate a été extrait. Le programme met l'emphase sur l'utilisation d'espèces végétales écologiquement, économiquement et socialement intéressantes pour avoir une revégétation du site minier dégradé dans un laps de temps de six années.

De plus, des données ont été présentées sur la diversité de genres et d'espèces et sur la succession de la flore et de la faune en relation aux changements physiques et chimiques du sol suite à la revégétation.

**Réhabilitation successionnelle dans l'ouest canadien:
nouvelles idées sur un vieux sujet**

David F. Polster

La réhabilitation successionnelle est définie comme la mise en valeur des processus naturels de succession pour la réhabilitation de sites fortement perturbés. La formulation de mélanges de graines de légumes et de graminées qui améliorent les processus naturels de succession est décrite. L'utilisation d'espèces ligneuses pionnières majeures et les dynamiques de succession végétale sont discutées dans un contexte de réhabilitation de sites dans l'ouest canadien. Les bénéfices de l'utilisation d'une approche basée sur la succession en termes de performance d'espèces améliorées, de diminution des coûts, et d'amélioration de la stabilité écologique sont discutés. Le développement de techniques de bioingénierie à utiliser sur des sites difficiles est discuté avec des références sur les techniques, les coûts et les bénéfices. Des facteurs clés lors de la planification d'un programme de réhabilitation successionnelle sont détaillés. Des exemples sont démontrés pour des programmes de réhabilitation conduits sur des sites miniers et industriels.

**Première année d'évaluation de tampons protecteurs sur
Pinus taeda L.**

Walter H. Davidson

Au printemps de 1988 nous avons fait une petite étude pour évaluer les effets de tampons protecteurs sur la survie et la croissance du pin loblolly. Deux types de tampons ont été utilisés: Les tampons TREGRO type 100 et type 200 de la compagnie American Excelsior. Des semis de pin loblolly à racines nues 1-0 ont été plantés à la pioche le 14 avril et les tampons protecteurs installés le 15 avril. Le design de l'étude était distribué au hasard avec des semis avec traitement (tampon) et des semis-contrôle (sans tampon). Une évaluation faite le 5 mai a montré une survie inconstante attribuée à la technique de plantation. Il y avait trois personnes qui plantaient les semis. Deux ont eu des taux de survie de 95% alors que le taux de survie pour le troisième planteur était de 77%. L'évaluation à la fin de la saison de croissance montrait que les tampons n'avaient pas eu d'influence apparente sur la survie. La survie était de 72% pour les tampons et de 71% sans tampons. Heureusement, la mortalité initiale était plutôt distribuée également parmi les traitements de sorte que les mesures subséquentes n'étaient pas biaisées. Néanmoins, les semis avec le type 200 de tampons étaient significativement plus grands que pour le contrôle ou les traitements du type 100. Ces résultats montrent: (1) qu'il n'y a pas de substitution possible à une bonne technique de plantation pour assurer la survie des semis, et (2) que les tampons TREGRO de type 200 ont un effet bénéfique sur la croissance des semis même sous les conditions de sécheresse sévère connues en 1988.

**Réhabilitation des terres forestières dans la vallée du Missouri
au centre-ouest du Dakota du Nord**

David J. Nilson

L'extraction minière de surface dans la vallée du Missouri nécessite l'enlèvement des forêts décidues des hautes terres. Ces forêts sont associées à des sites mésiques avec des drainages dendritiques qui coulent de façon intermittente vers le Missouri. Ces espaces forestiers ne sont

pas seulement importants pour une variété d'espèces sauvages, mais aussi comme protection pour les cheptels durant les périodes climatiques extrêmes. Les méthodes utilisées pour rétablir des écosystèmes forestiers climaciques à la mine Glenharold sont discutées en incluant la remise en forme, le remplacement du sol, les mélanges de plantes et les opérations de plantation et de gestion. Des données sur la survie, la diversité et la densité sont également apportées pour les surfaces établies entre 1978 et 1988. Pour fin de comparaison, ces données sont discutées en fonction de données amassées lors d'inventaires des forêts avant les activités minières à la fin des années 70 et début 80. La survie durant l'année de plantation et pour l'année subséquente est dépendante de la recharge en eau dans le sol durant l'hiver et pour les pluies de printemps et du début de l'été. Dans le même ordre d'idées, la préservation de l'humidité du sol par des pratiques de gestion appropriées est nécessaire pour promouvoir une revégétation réussie. Les données amassées à partir de surfaces avec de grands arbustes établis entre 1982 et 1984 montrent une survie initiale totale variant de 54 à 78%. La densité de tiges a augmenté de 150 à 375% à la fin de la troisième année de croissance. Les données amassées durant la saison de 1988 montrent des densités moyennes de tiges dans les terres forestières réhabilitées qui étaient de 60 à 70% des densités moyennes pour les communautés indigènes non perturbées.

Une évaluation économique de la technique de bioingénierie pour restaurer des communautés végétales indigènes

David G. Walker

Des techniques de bioingénierie (utilisation de matériel végétal vivant et indigène à des fins de revégétation et comme élément structural ont été évaluées à trois sites dans la région montagneuse de l'Alberta. Les diverses techniques de bioingénierie produisent un mélange de résultats variant d'un insuccès total à une réussite complète. L'humidité du sol, le temps d'installation (l'automne étant plus efficace que le printemps), la qualité du sol, les conditions climatiques, et la qualité du matériel végétal semblent tous des facteurs significatifs. Pour assurer le succès, la bioingénierie demande des travailleurs expérimentés, une inspection soigneuse, et des spécifications précises. Les techniques qui incluaient des plants déjà développés donnent un meilleur rendement économique pour l'établissement d'une végétation indigène.

INDUSTRIAL and URBAN SITES

Revégétation des haldes d'une usine de fertilisants phosphatés

Wendy E. Roberts Thorne et Richard D. Revel

Les usines de fertilisants phosphatés produisent des quantités énormes de résidus - cinq kilogrammes pour chaque kilogramme de fertilisant phosphaté produit. Un facteur majeur limitant la revégétation de ces haldes de gypse phosphoré est le pauvre succès des programmes de revégétation, et le lent taux de revégétation naturelle. Cette étude présente les conclusions concernant les propriétés physiques et chimiques des haldes qui inhibent le plus la revégétation, et les résultats d'une étude en serre qui testait différents amendements et leur influence sur la croissance des plants. Des recommandations sont faites pour établir un ensemble d'amendements et de traitements physiques pour permettre l'établissement d'espèces végétales sur les haldes.

La reconversion des sites industriels et leur réhabilitation

D. Graveland et E. Osborne

Monenco Consultants travaille activement depuis près de 10 ans sur des projets de reconversion de sites industriels. Durant cette période, Monenco a publié un guide sur les aspects environnementaux de reconversion qui identifie le champs des activités impliquées dans la planification et l'exécution de reconversion d'un site industriel, sur la remise en ordre et la réhabilitation. Le guide montre dans ses grandes lignes une approche pas à pas qui nécessite l'implication et l'expertise d'une grande variété de disciplines. Ce texte souligne les problèmes, les questions d'intérêt et les défis auxquels les gens pratiquant la science du sol sont exposés à l'intérieur d'un cadre interdisciplinaire de projets de reconversion d'un site industriel.

Une évaluation technique et économique de la restauration des sites contaminés par les sulfures

S.A. Leggett, Jim Lore et S.L. Graves

La récupération des sites contaminés par le soufre est chose courante en Alberta depuis le début des années 80. Une variété de techniques sur la disposition hors-site ont été largement utilisées. Les techniques de récupération vont d'une utilisation importante du remplissage pour disposer du matériel contaminé par les sulfures jusqu'à des tentatives pour neutraliser et réhabiliter le matériel sur place. Les problèmes et les coûts de réhabilitation d'un site varient selon la localisation du site, ses conditions, et les techniques de récupération. Alors que la localisation et la condition du site sont des variables fixes, les choix des techniques de récupération peuvent influencer le succès des programmes de réhabilitation retenus. Ce texte fait l'examen des techniques actuelles utilisées pour la récupération et la réhabilitation, s'interroge sur les problèmes et les coûts associés avec chacune et donne des suggestions sur des alternatives disponibles pour de futurs projets de réhabilitation des sites contaminés par les sulfures.

Réhabilitation d'un bassin d'épandage industriel

C.B. Powter, L. Kryviak et G. Balko

En juin 1985, le Comté de Leduc en Alberta a approché la division de la réhabilitation du territoire d'Environnement Alberta pour réhabiliter un bassin d'épandage industriel à l'aide d'un programme de réhabilitation du territoire avec un fonds pour la conservation. Le bassin d'épandage a été utilisé depuis 1976/77. La déposition de sous-produits industriels ou de déchets chimiques dans le bassin n'était pas permise, cependant le rejet n'était pas surveillé. Comme résultat, une accumulation de produits pétroliers a commencé à devenir problématique. Des échantillons de boues ont été soumis pour analyse des phénols et hydrocarbures polycycliques aromatiques, pour la production de composés volatiles, de métaux et de polluants prioritaires.

Les données ont indiqué que les boues contenaient des niveaux faibles de contaminants considérés comme modérément dangereux. Environnement Alberta a décidé de procéder en utilisant de nombreuses précautions pour protéger les travailleurs d'une exposition possible avec le contenu du bassin. Les travailleurs portaient des bottes de caoutchouc, des gants, des habits jetables, des masques respiratoires contre les poussières toxiques et la protection des yeux était assurée si il y avait de la poussière. Il n'y avait aucune prise de nourriture ou de boisson sur le site et aucun droit de fumer, et tous les véhicules étaient complètement lavés avant de quitter le site. Le site a également été entouré d'une clôture pour prévenir les entrées non autorisées.

La réhabilitation a débuté en novembre 1987. Une utilisation agricole a été sélectionnée comme la méthode économique la plus intéressante pour rendre les boues non dangereuses. Le Comté a apporté de l'aide en fournissant la main d'oeuvre et l'équipement pour les opérations agricoles. Les boues ont été étendues en surface sur les 3 ha du site et ce dernier a été mis en forme pour permettre le drainage dans un puisard. En mai 1988, après le gel et la subsidence du printemps, le site a été remodelé, cependant l'eau continuait encore à former un bassin en surface. En juillet, le site a été hersé pour faciliter le séchage du matériel en surface. Comme cela ne fonctionnait pas, un tracteur a été amené sur le site pour réétendre les boues. Le site a alors été fertilisé et cultivé. Une deuxième fertilisation et culture ont été faites à la fin d'août. Le site a été recultivé à la fin de septembre et les sols ont été échantillonnés pour une caractérisation chimique. Si les niveaux de substances organiques et de métaux sont encore inacceptables, le site aura encore une fertilisation et une culture durant 1989.

Dans la phase de planification, les caractéristiques chimiques des boues, et les précautions requises pour protéger les travailleurs, ont été considérées comme les obstacles majeurs au succès. Cependant, ce sont les caractéristiques physiques du sol créées par les boues qui ont causé les problèmes de réhabilitation les plus importants.

Relations entre les patrons de déposition, le sol et le développement de la végétation, et les concentrations en métaux lourds sur des haldes abandonnées

Jeanne C. Chambers, Roy C. Sidle et C. Val Grant

Les relations entre les patrons de déposition, le sol et le développement de la végétation, et les concentrations en métaux lourds ont été étudiées sur un bassin de résidus abandonné depuis 50 ans et localisé à 7200 pi. (2195m) dans les montagnes sud de Sangre De Cristo au Nouveau-Mexique. Les sédiments originaux proviennent d'opération de raffinerie de zinc et de plomb et sont caractérisés par de hautes concentrations en composés sulfuriques et un pH acide (2.2). Ils ont des quantités élevées en zinc, plomb, cadmium et cuivre. Depuis l'abandon, la déposition de sol au-dessus des résidus a suivi des patrons distincts. Des alluvions déposés à la base du bassin par un petit cours d'eau éphémère sont relativement humides et ont une biomasse végétale élevée. La végétation de cette région alluvionnaire inclue Salix spp. et Juncus balticus et est classée comme une prairie semi-humide. Ces sols d'alluvions ont des concentrations potentiellement phytotoxiques en zinc, plomb, cadmium et cuivre. Probablement, ces éléments ont été concentrés dans cette région par la végétation et par l'arrivée d'eau sur les sédiments originaux. Les matériaux alluvionnaires et éoliens déposés en amont de la base du bassin sont physiquement semblables à ceux des pentes adjacentes - sableux et faible en matière organique. La végétation sur cette surface est clairsemée et constituée d'espèces de site sec comme Bouteloua gracilis. Ces sols ont des niveaux de zinc, plomb, cadmium et cuivre qui sont plus élevés que ceux des sols environnants, mais qui sont plus faibles que ceux de la région de prairie semi-humide. Ils sont rarement phytotoxiques. Les résultats de cette étude indiquent que l'utilisation de prairies comme filtres pour les métaux lourds est grandement remise en question pour la réhabilitation de bassins de types

semblables à cause de la concentration à long terme des métaux lourds dans les sols de surface.

La revégétation des pentes de dépotoir

Tom Hilditch

L'érosion des pentes de dépotoir ne provoque pas seulement la perte de sol, mais aussi un dommage potentiel de la surface de recouvrement au-dessus des détritiques. Ce phénomène peut conduire à différents problèmes tels que;

- l'augmentation de l'infiltration de la pluie accélérant la percolation dans les détritiques;
- l'augmentation de la mobilité des gaz et des filtrats du dépotoir;
- l'exposition des détritiques; une attraction pour les animaux nuisibles;
- la réduction de l'esthétique et
- l'augmentation des coûts pour les travaux de réparation.

Dans une étude de trois années complétée pour le Ministère de l'Environnement ontarien (OMOE), tous ces problèmes ont été rencontrés. Ce programme de recherche incluait un travail en trois étapes;

- un survol de l'érosion des dépotoirs dans la province;
- l'identification des meilleures techniques de revégétation et
- l'établissement de lots de démonstration.

Ce texte se concentrera sur la présentation du produit final de l'étude de trois années, soit un manuel de revégétation. Le besoin pour un tel manuel a été renforcé durant des discussions avec les propriétaires de dépotoirs et les opérateurs et superviseurs à travers la province.

Les techniques existantes pour la revégétation de dépotoirs fermés diffèrent d'une place à l'autre. Il n'y avait aucune tentative pour donner une direction constante ou une application de labourage, de correction de sol, d'ensemencement et de techniques de maintenance. C'était l'état existant en dépit de l'observation de 88% des dépotoirs avec des problèmes d'érosion. De plus il n'y avait aucun effort de revégétation sur les deux tiers des sites rapportés par les responsables de l'OMOE. Sur le tiers restant, il y avait très peu de renseignements sur des applications autres que l'ensemencement hydraulique (sans labourage, tests de sol et maintenance ultérieure).

Ce texte présente les résultats du manuel de revégétation produit dans la dernière année de l'étude. Il est entendu de donner une référence facilement compréhensible et applicable pour n'importe quelle personne qui est impliquée dans la création et la maintenance de couverts végétaux sur des dépotoirs. Le profil du texte suit la table des matières du manuel d'assez près pour démontrer l'importance de la structure et de la composition d'un tel manuel pour la compréhension du matériel par l'utilisateur.

"Biorestauration": applications innovatrices d'une technologie établie

J. Bogart et J. League

L'utilisation agricole du territoire, longtemps un élément de base lors de projets de réhabilitation de raffineries et de terrains pétroliers, a été à l'origine de la biorestauration. La biorestauration a été étendue pour englober la réhabilitation des boues et de l'eau souterraine.

L'agriculture traditionnelle a subi des améliorations significatives qui ont produit des taux de mouvement qui ont des magnitudes plus grandes que celles atteintes antérieurement.

MoTec Inc., un contracteur en biorestauration, a produit des développements innovateurs en biotechnologie. Ceux-ci ont étendu la variété de composés utilisables en biotechnologie et les taux de dégradation réalisés. Ils incluent une technologie brevetée, une digestion de contact liquides-solides, des techniques agricoles améliorées, et l'utilisation de matériel dans la réparation de sol et d'eau souterraine contaminés.

MoTec a restauré des milieux contaminés contenant de l'huile et des graisses, des hydrocarbures de pétrole, du créosote, du pentachlorophénol, des pesticides, des BPC et des rejets industriels. Les candidats idéals pour la restauration incluent les boues de forage, les résidus de production et d'huile de shale. Des sites de déversement ont également été restaurés avec succès.

La biorestauration est pratique pour les boues, les sols contaminés, l'eau souterraine contaminée; l'eau de transformation, et les boues de transformation des systèmes de traitement des eaux usées industrielles. La biorestauration a été démontrée comme étant techniquement faisable. Elle a été approuvée par plusieurs agences de réglementation. Elle est économiquement efficace, avec des prix unitaires souvent à moitié plus bas que les méthodes alternatives.

PROBLEMS and SOLUTIONS

Design et performance de canaux et déversoirs incorporant un renforcement par des revêtements.

G. I. Dodson

Les nattes des produits Enkamat ont apporté un renforcement à la végétation pour le contrôle de l'érosion depuis 1975. La sparterie a donné ses preuves dans les designs de canaux, déversoirs, pentes et berges.

Le design des déversoirs fait l'objet d'un intérêt récent dû à un besoin important apporté par l'ingénierie des barrages. Des déversoirs incorporant les produits Enkamat ont été largement évalués par des gouvernements indépendants et des groupes de recherche privés aux Etats-Unis, au Canada et en Europe. Le système Akzo Industrial a pu bénéficier de ces études.

Par ces efforts de recherche fortement corrélés, Akzo a été capable de développer un standard de performance pour le design des déversoirs d'Enkamat. Les produits Enkamat donnent une alternative plus économique aux revêtements des déversoirs plus rigides et moins esthétiques.

Le facteur de design primaire à considérer pour un déversoir Enkamat est le stress maximum de cisaillement que le revêtement peut supporter. Pour une natte végétale Enkamat 7010 le cisaillement maximum devrait être de 5 lbs/pi², alors que pour l'Enkamat 7020, il est de 8.0 lbs/pi². L'équation pour le stress de cisaillement est:

Stress de cisaillement = (poids unitaire de l'eau >62.4 lbs/pi.3<) x (rayon hydraulique du canal) x (la pente du canal).

Dans les conditions où la largeur du canal serait 5 fois plus grande que la profondeur de l'écoulement, la profondeur devrait être substituée au rayon hydraulique dans le calcul.

En plus des caractéristiques hydrauliques du déversoir, le concepteur du système devra aussi considérer le type de sol et le couvert végétal spécifique. Les services locaux de conservation du sol sont historiquement de bonnes sources pour de telles informations.

Système de disposition des résidus d'enrichissement à la mine de bauxite de Trombetas

Reginaldo Pedreira Lapa et Fernando Valentim Carraresi

Mineracao Rio do Norte (MNR) est une compagnie créée en 1967 dont les actionnaires sont CVRD (46%), ALCAN (24%), CBA (10%), BILLITON (10%), NORSK HYDRO (5%), et Reynolds Aluminium (5%).

Son opération, localisée dans la région de l'Amazone, a commencé en 1979. Depuis ce temps, les résidus d'enrichissement ont été disposés près du lac Batata. Le volume annuel de résidus est de près de 18 millions m³ avec un contenu solide de 7-9%. Cela a causé un problème écologique très important. Dès le début de l'opération, la MNR et les autorités de protection environnementale ont décidé qu'une méthode plus écologique pour la disposition des résidus devrait être établie.

En 1982, les consultants Bromwell and Carrier Inc (Lakeland - Florida), ont commencé des tests d'épaississement et de pompage sur les résidus déposés dans le lac Batata. Des tests pilote dans un petit bassin de déposition ont été commencés en 1984.

Comme résultat à ces tests, il a été proposé de déposer les résidus épaissis dans les endroits déjà exploités. Ce texte décrit les équipements industriels, leur impact environnemental sur la région amazonienne, les études pour la disposition des résidus dans les endroits déjà exploités, la construction de fossés par l'utilisation de dragage, le plan de disposition des résidus et finalement la réhabilitation des surfaces de disposition.

Ce projet a été réalisé depuis septembre 1986 et le nouveau système de disposition des résidus deviendra opérationnel durant la seconde moitié de 1989.

Tendances récentes dans la réhabilitation des mines de phosphate aux Etats-Unis

Wayne R. Marion

L'extraction minière du phosphate a lieu dans plusieurs régions des Etats-Unis, incluant des portions de la Floride, de la Caroline du Nord, du Tennessee, de l'Idaho, du Montana, de l'Utah, du Wyoming et de la Californie. La Floride et la Caroline du Nord combinées comptent pour environ 85%, les états de l'ouest pour 10%, et le Tennessee pour 5% en matière de production totale de phosphates aux Etats-Unis. Comme prévu, le phosphate est extrait selon différentes conditions écologiques et physiques dans chaque état et cela conduit à des différences dans les exigences de réhabilitation et dans les attentes. Egalement, le climat politique associé à l'extraction du phosphate est extrêmement variable d'un état à l'autre et cela s'est reflété dans les règlements de réhabilitation. La Floride a les standards environnementaux et les règlements de réhabilitation les plus rigoureux de tous les états mentionnés, avec la Caroline du Nord, les états de l'ouest et le Tennessee ayant respectivement des restrictions moins rigoureuses et moins de règlements de réhabilitation. Ce texte compare et met en contraste les règlements de réhabilitation et indique les changements dans les tendances de réhabilitation pour chacun des états sur une période de cinq ans, 1983-88. En Floride, des revisions des règlements de réhabilitation pendant cet intervalle ont résulté en des changements d'une emphase première où le focus était dirigé sur le ré-établissement des sites humides vers une emphase plus récente sur le redéveloppement des patrons de drainage et sur la réhabilitation des forêts des hautes terres. Les changements de réhabilitation dans les autres états ont été plus subtils, avec des utilisations subséquentes du

territoire dictant souvent les exigences de réhabilitation. Aussi, la discussion portera sur des implications et des recommandations sur les habitats de la faune sauvage et sur la réhabilitation des systèmes naturels dans chaque état.

**Exploitation minière et réhabilitation de terres agricoles de premier choix
à l'ouest du Dakota du Nord**

Joe Friedlander

La réhabilitation de terres agricoles est exigée par la Loi de 1977 sur le contrôle des opérations minières de surface et de la réhabilitation. La compagnie "The Coteau Properties" opère une mine de lignite dans l'ouest du Dakota du Nord, et est la seule compagnie dans l'ouest semi-aride à faire de l'exploitation minière et à réhabiliter des larges superficies de terres agricoles de premier choix. Les caractéristiques des terres agricoles de premier choix dans l'ouest du Dakota du Nord ne sont pas adressées par les exigences réglementaires fédérales, et s'opposent avec les exigences d'Etat pour la réhabilitation de toutes terres de cultures au Dakota du Nord. Ce conflit résulte en une perturbation environnementale additionnelle non nécessaire durant l'opération minière, et augmente les coûts de réhabilitation pour l'opérateur de la mine. Les opérations de réhabilitation à la mine "Freedom" sont décrites. Des changements recommandés pour les règlements sur les terres agricoles de premier choix et sur les interprétations des règlements existants mettront en valeur la réhabilitation pour toutes les terres de culture de l'ouest du Dakota du Nord, autant celles de premier choix que les autres.

**Geological and environmental considerations in abandoned underground mine
re-use and rehabilitation**

Daniel J. Boivin

Much attention worldwide has been devoted to the restoration of abandoned surface mine sites, emphasizing reclamation and revegetation techniques to restore the land to environmentally acceptable standards. This paper documents various possibilities for conversion of abandoned underground mines. Creative re-use could be made of cavities remaining after mining operations are complete. The possibilities and constraints offered by these excavations are discussed, with specific attention to geological and environmental considerations. Among the options used around the world are: the conversion of old mines as water or oil reservoirs; dry goods storage; plant nurseries; underground farms for vegetables and mushrooms; tourist attractions; and conversion to other industrial uses.

**Un survol de deux décennies de règlements sur l'extraction charbonnière
de surface et la réhabilitation au Dakota du Nord**

William E. Dodd, James R. Deutsch, Edward J. Englerth, Nirander M. Safaya

Au Dakota du Nord, la production de charbon (lignite) et l'utilisation de méthodes ont changées considérablement depuis l'ouverture de la première mine commerciale en 1873. L'extraction de surface a débuté en 1919 et est devenue la méthode exclusive de récupération du charbon jusqu'en 1966. Le nombre de mines de charbon, principalement pour les petites

extractions souterraines, a décliné de 320 en 1941 jusqu'à 10 mines de surface actuellement actives. Mais la production de charbon a augmenté continuellement, atteignant 28 millions de tonnes en 1988. Aujourd'hui, 78% de la lignite du Dakota du Nord est utilisée pour la production d'électricité, 20% pour la production de gaz synthétique, et le restant comme combustible domestique et commercial.

La réglementation environnementale de l'industrie de la lignite du Dakota du Nord a commencé en 1969 quand l'état a passé sa première loi sur l'extraction minière et la réhabilitation. Les exigences de réhabilitation étaient limitées au revêtement et à l'ensemencement des buttes de résidus. Depuis ce temps, les lois de réhabilitation et les règlements ont augmenté significativement leur visée et leur rigueur, principalement à cause des changements de la loi de 1975 et de la promulgation de l'acte fédéral sur le contrôle et la réhabilitation des opérations minières de surface en 1977 (P.L. 95-87). Le propos de ce texte est de démontrer les impacts sur la qualité de l'environnement et l'avenir de l'industrie charbonnière du Dakota du Nord.

Considérations économiques affectant la restauration d'habitat dans l'industrie minière du phosphate en Floride

Timothy P. King et Wayne R. Marion

L'exploitation minière du phosphate constitue une proportion relativement petite de l'activité minière au monde, mais les produits phosphatés sont nécessaires comme fertilisants, produits chimiques industriels et suppléments alimentaires pour les animaux. Où l'activité minière a lieu, l'excavation de surface cause une perturbation majeure des sols, des patrons de drainage, des communautés végétales et animales. Les standards de restauration et de revégétation sont extrêmement variables de part le monde; la situation en Floride représente probablement un des systèmes de réhabilitation au monde parmi les plus restrictifs et progressifs. En Floride, la réhabilitation de chaque acre de terre perturbé par l'activité minière est exigée depuis 1975 et plusieurs options se sont développées suite à l'amélioration du système depuis les 13 dernières années. Les aspects économiques du marché mondial pour le phosphate, la variation des exigences pour réhabiliter le territoire, et les coûts relatifs pour plusieurs techniques de réhabilitation ont fréquemment imposé un design au paysage subséquent, une composition de la communauté végétale et une utilisation anticipée du territoire. Typiquement, le moins cher a été considéré comme la meilleure option; cela peut ne pas être adéquat quand des éléments et des fonctions uniques sont considérés pour ces écosystèmes restaurés. Ce texte apporte une détermination et une évaluation de l'information existant en regard des aspects économiques de la réhabilitation reliée au phosphate et de l'apparence finale de ces paysages miniers. Les incitations au règlement et l'opportunité de faire un gain financier au delà des coûts de restauration sont vues comme les principaux déterminants pour l'utilisation post-restauration du territoire. La possibilité d'augmenter la restauration des habitats par la promotion d'une utilisation récréative du territoire comme motivation financière est soulignée. Plusieurs exemples sont donnés montrant des options pour augmenter la valeur des habitats avec très peu ou pas de coût additionnel de restauration.

Réhabilitation du site minier de Rum Jungle

J.W. Bennett, D.K. Gibson, J.R. Harries, G. Pantelis,
A.I.M. Ritchie, T.J. Verhoeven et J. Alcock

L'oxydation des résidus de pyrite de la mine d'uranium et de cuivre de Rum Jungle dans le territoire Nord de l'Australie, a causé une pollution de la rivière locale par l'acidité et les métaux lourds. L'extraction minière et la transformation du minerai ont débuté sur le site minier en 1952 et se sont poursuivies jusqu'en 1971 lors de l'abandon. Un projet de réhabilitation a été initié en 1982 avec des travaux sur le site terminés en 1986, et avec un programme de surveillance et de maintien jusqu'en juin 1988. Le projet était géré par le gouvernement du territoire du Nord et les fonds donnés par le gouvernement du commonwealth australien.

La réhabilitation incluait:

- le traitement de l'eau dans deux tranchées d'inondation et la redirection d'une portion du flux de la rivière locale dans celles-ci;
- l'enterrement des résidus et du matériel d'un amoncellement expérimental dans une troisième tranchée, et;
- la remise en forme, le recouvrement et la revégétation des dépôts de la gangue.

Les coûts du projet jusqu'à juin 1986 étaient de \$(AUD) 18.6 millions avec un budget supplémentaire de \$(AUD) 350,000 pour la surveillance et la maintenance.

La surveillance a montré que la réhabilitation a réduit l'infiltration d'eau dans les dépôts de débris rocheux à 3% des précipitations et le taux d'oxydation de la pyrite à un niveau en-dessous du seuil de la détection. Les quantités et les concentrations de cuivre dans l'eau de la rivière ont été réduites. Par exemple, la concentration maximale quotidienne de cuivre pendant la saison humide en 1986-87 est descendue à 3.4 mg/L comparativement à 182 mg/L en 1982 et une quantité de 6 à 23 tonnes même si la décharge totale d'eau en 1986-87 était plus élevée d'environ 30%.

Il n'y a eu aucun changement observable dans la qualité de l'eau souterraine. Nous avons développé des modèles de flux d'eau souterraine et de transport des contaminants qui montrent que cela prendra des décennies avant d'avoir des changements significatifs dans la qualité de l'eau souterraine.

SODIC and SALINE MATERIALS

Les effets de l'épaisseur du sous-sol sur la productivité et l'eau du sol lors de la revégétation de déchets miniers sodiques.

T. Oddie, E. Osborne, D. Graveland et L. Panek

Les déchets miniers sodiques perturbent la croissance des plantes et empêchent les chances de revégétation des surfaces minières. Une expérience conjointe entre le gouvernement et l'industrie charbonnière a été faite près de Highvale en Alberta pour déterminer des épaisseurs de sous-sol qui conviennent (0, 55, 95, 135, 185 et 345 cm sous 15 cm de sol de surface) pour revégéter des déchets miniers sodiques et maximiser la production d'une récolte céréalière (*Hordeum vulgare* L.) ou d'un mélange fourrager composé de *Medicago sativa* L. et *Bromus inermis* Leyss.

Les productions d'orge et de fourrage étaient plus basses pour le traitement de 0 cm de sous-sol par rapport aux autres traitements. Les productions pour les deux récoltes ont augmenté lors

que l'épaisseur du sous-sol augmentait à 55 cm. Il y avait une tendance vers des productions optimales pour le traitement de 95 cm, mais la différence entre 55 et 95 cm n'était pas significative. Le placement de 55 à 95 cm de sous-sol avec 15 cm de sol de surface semble suffisant pour redonner à la productivité post-minière un potentiel équivalent aux terres agricoles environnantes.

La profondeur des racines pour le mélange fourrager augmentait comme l'épaisseur du sol augmentait, alors que les accroissements pour la récolte céréalière n'étaient généralement pas significatifs. La zone racinaire moyenne s'étendait à environ 85 cm sous l'orge et 185 cm pour le mélange luzerne et brome. La moyenne saisonnière de l'eau du sol dans la partie racinaire effective augmentait généralement sous l'orge et diminuait sous la luzerne et le brome avec le temps. Une utilisation plus faible de l'eau du sol par la zone racinaire de l'orge contribuait à des accumulations de l'eau au-dessus de l'interface sous-sol et déchets miniers. Des fourrages permanents semblent plus efficaces pour réduire les accumulations d'eau au-dessus de l'interface et apportent des chances de revégétation pour les déchets miniers sodiques.

Utilisation de la cendre comme amendement sur des déchets sodiques

S. Landsburg

Le but de ce projet était d'évaluer l'utilisation de la cendre comme amendement physique sur des déchets sodiques. Le dépôt sodique était localisé à la mine Vesta près de la ville de Halkirk au centre-est de l'Alberta. Les objectifs de cette étude étaient de déterminer les meilleurs taux et méthode d'application de la cendre sur le déchet sodique de façon à réduire les effets d'un excès de sodium et de permettre la croissance végétale.

Les places-échantillons ont été établies selon un design au hasard. Les trois profondeurs de cendres testées étaient de 10, 20, et 30 cm. La cendre a été appliquée à la surface des déchets en utilisant un tracteur D8 et était incorporée avec du matériel spécialisé (disque laboureur, sous-solage etc.). Une quatrième méthode laissait la cendre en surface comme une couverture.

Chaque année les sols des sites ont été échantillonnés par sauts de 15 cm jusqu'à une profondeur maximum de 90 cm. L'humidité du sol a été mesurée par sauts de 15 cm jusqu'à une profondeur de 120 cm. Des mesures de productivité et de résistance de sol ont également été prises. Les variables du sol mesurées sur une période de trois ans (1983 à 1985) incluaient le pH, la conductivité électrique, le pourcentage de saturation, le calcium soluble, le magnésium, le sodium et les sulfates, la matière organique et le bore. Les variables de plantes mesurées incluaient les pourcentages d'azote, de phosphore, de potassium, de calcium, de magnésium et de bore.

Les résultats montraient que le meilleur taux de cendres était de 30 cm et que la meilleure méthode d'incorporation était le sous-solage. Les deux ont augmenté les mouvements d'humidité vers le bas et diminué les valeurs de résistance du sol ce qui permet l'écoulement, la germination et la croissance racinaire. Le taux de 30 cm a également amélioré l'aspect chimique des 15 cm en surface des déchets et a augmenté la productivité. Les productivités utilisant les taux de 10 et 20 cm étaient en-dessous de celles reportées par les propriétaires locaux, alors que les productivités pour le 30 cm étaient supérieures.

Toutes les méthodes plus les taux de 20 et 30 cm ont produit des niveaux toxiques de bore disponible dans le sol. Les concentrations du sol n'étaient pas visibles dans aucun des symptômes de toxicité des plantes.

**Réponse du maïs à un labour profond sur une surface minière transformée
en terre agricole de première qualité en Illinois.**

R.E. Dunker, I.J. Jansen et S.L. Vance

L'effet de l'utilisation d'un appareil de labourage profond (Kaeble-Gmeinder TLG-12) sur la croissance du maïs sur des sols miniers reconstitués a été évalué à la mine Norris de la Consolidation Coal Company au centre-ouest de l'Illinois durant les années 1985-86. Deux sols miniers, un étant fait de 45 cm de sol de surface replacé sur les déblais régalez et l'autre étant composé des déblais seulement, ont été évalués avec et sans le traitement du TLG-12. Un sol dit "Sable" a été utilisé comme élément de comparaison pour une surface non minière. L'utilisation du TGL-12, qui a une profondeur effective de labourage d'environ 75 cm, était efficace en diminuant significativement la résistance au pénétromètre dans les segments de 23-46 et 46-68 cm comparativement aux traitements sans labourage pour les deux sols miniers. La réponse de la productivité du maïs au TGL-12 était significative autant en 1985 et 1986 quoique l'ampleur de la réponse était plus grande en 1985, une année de stress climatique élevé. Des différences significatives pour les dates de pollinisation, les % de tiges stériles, et les niveaux de tension d'humidité du sol à certaines profondeurs, étaient observées entre les traitements labourés et non labourés. Les productivités moyennes du maïs pour les deux années pour le traitement avec sol de surface et le traitement de déblais seulement avec le TGL-12 étaient comparables aux productivités pour le sol "Sable" non minier alors que les sols miniers non labourés ne l'étaient pas. Aucune réponse de productivité suite au remplacement de sol de surface pour chacun des traitements de labourage n'ont eu lieu autant en 1985 que 1986.

**Projet de reconstitution du sol "Battle River":
Résultats de cinq années de l'expérience de sol Torlea**

L.A. Leskiw et N.M. Finlayson

Le projet de reconstitution du sol de la rivière Battle, comportant 4 expériences, a été surveillé intensivement pendant 5 ans, de 1982 à 1986. Les buts étaient de déterminer les méthodes les plus efficaces pour réhabiliter des terres minières en utilisant différentes profondeurs et qualités de matériaux du sol.

Ce texte porte spécialement sur l'expérience de sol Torlea qui était fait pour évaluer les méthodes d'amélioration de la sodicité suivantes:

1. enlèvement de l'horizon sodique B;
2. mélange de l'horizon sodique B et de l'horizon C avec calcium;
3. application de gypse;
4. application de cendres riche en calcium.

En respect des rendements agricoles il n'y avait pas de croissance sans la présence de sol de surface ou de sous-sol au-dessus des déblais; une pauvre croissance avec le sol de surface sur le déblai; une bonne croissance avec le sol de surface sur le sous-sol sur le déblai. Des mélanges de l'horizon de sous-sol et des variations en profondeur n'ont pas donné de différences de productivité statistiquement significatives; cependant, des sous-sols plus profonds tendent à donner un meilleur rendement. Des amendements se sont avérés très bénéfiques; la cendre a surpassé le gypse et les places de contrôle. Les places traitées au gypse donnaient des rendements presque plus élevés que pour les places de contrôle. Les rendements ont décliné avec le temps à cause du vieillissement du labourage et des différences de précipitations.

La qualité du sol exprimée par la salinité et la sodicité étaient plus ou moins corrélée avec les rendements selon que les meilleurs rendements s'identifiaient aux meilleures qualités de sol. Le sol de surface au-dessus du sous-sol est mieux mais les niveaux de salinité et de sodicité restent modérés à élevés dans le sol de surface, respectivement. Les sols de surface et les sous-sols les plus élevés se sont améliorés depuis la reconstitution et les sous-sols les plus bas se sont dégradés indiquant ainsi un écoulement dans le profil supérieur et une accumulation de sels en profondeur. Ces changements étaient plus prononcés durant les premières années que pour les dernières, indiquant que les conditions peuvent se stabiliser, au moins durant les sécheresses plutôt que lors de la température normale. L'addition de cendre au sol de surface a été très bénéfique pour améliorer la qualité du sol.

Revégétation de déblais sodiques au nord-ouest du Dakota du Nord

Louis A. Ogaard

Des sites miniers abandonnés de charbon ont été revégétés dans les Comtés de Burke, Divide et Williams au coin nord-ouest du Dakota du Nord. Aucun matériel de croissance adéquat était disponible. Des échantillons des déblais indiquaient des ratios d'absorption de sodium dans une amplitude de 21 à 38 et des valeurs de conductivité électrique entre 5 et 8. Les sites ont été fertilisés à un taux de 70 lbs/acre d'azote et de 20 lbs/acre de phosphore. Le mélange de graines était composé de Agropyron smithii, Agropyron trachycaulum, Agropyron dasystachyum et Melilotus officinalis. Un paillis de paille a été appliqué à trois tonnes par acre et attaché à la surface des déblais. La germination au site du Comté de Williams, qui a été semé en juillet, a été excellente. Les sites des Comté de Burke et Divide ont été semés trop tard dans l'année pour un établissement végétatif. Les trois sites seront examinés durant la saison de croissance de 1989 pour le recouvrement au sol, la productivité et la composition spécifique.

Résidus salins - Le défi ultime en réhabilitation de milieux salins

Bob Hart

Le potassium, un des trois éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes est fourni comme fertilisant par la transformation et l'enrichissement d'évaporites riches en potassium comme la potasse. Le Canada, principalement la Saskatchewan, produit environ 20% de la production mondiale et a presque 70% du minerai récupérable dans le monde. Des 80 opérations à travers le monde, la plupart reposent sur des techniques minières standards et disposent leurs résidus en surface. Les boues d'enrichissement qui comprennent au moins 60% de minerai de meilleure qualité comme en Saskatchewan, sont dominées par NaCl.

La contamination de surface et de l'eau souterraine par l'eau salée, originant de l'entreposage en surface des résidus et la précipitation des sels, est le problème environnemental principal auquel fait face l'industrie. Quoique chargée de problèmes, l'industrie a eu certains succès pour retenir l'eau salée et limiter l'impact environnemental. Des tentatives de réduction seront discutées.

Malheureusement, peu de considération a été donnée à l'abandon et à la réaffectation des amoncellements de résidus de potasse. Si les techniques minières demeurent les mêmes, durant le temps où les réserves de la Saskatchewan seront utilisées, les 10 amoncellements de résidus actuels comprenant 250 millions de tonnes de sel augmenteront au nombre de 200 avec 20 000 millions de tonnes pour une superficie de 1600 km². L'impact sur la ressource en eau

souterraine de la Saskatchewan sera désastreux à moins que des méthodes alternatives de disposition des résidus ne soient développées ou que les résidus puissent être isolés de l'environnement.

A la lumière des expériences de réhabilitation des résidus de potasse à travers le monde, des options de réhabilitation et de réaffectation, et des besoins en recherche seront considérés.

Les effets d'amendements en gypse phosphaté et en chlorure de magnésium sur des résidus miniers abandonnés de bentonite

S.C. Smith et D.J. Dollhopf

La réhabilitation de déchets miniers abandonnés de bentonite est difficile à cause de la salinité et de la sodicité élevées, et d'un haut contenu d'argile smectique. Ces résidus qui se dispersent facilement quand ils sont mouillés donnent une infiltration réduite de l'eau et la formation de croûtes de surface imperméables. Des amendements chimiques se sont avérés efficaces pour améliorer les propriétés physicochimiques inhérentes à ces résidus abandonnés. Des places-échantillons ont été mises sur le terrain pour vérifier l'efficacité d'une eau salée de gypse phosphaté et de chlorure de magnésium comme amendements aux résidus. Ces matières sont des sous-produits industriels de faible coût.

L'analyse des constituents chimiques des amendements indiquait que le gypse phosphaté contenait 82.1% de $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ et que le chlorure de magnésium avait 40.8% de MgCl_2 . Le gypse phosphaté était enrichi d'argent, de cadmium et de sélénium. Cependant, l'incorporation de l'amendement a résulté dans une dilution de 110:1 pour prévenir les accumulations d'éléments traces.

Après deux saisons de croissance, l'application de ces amendements a résulté dans une réduction des mesures de salinité (SAR et % de saturation) et une amélioration de l'infiltration d'eau. L'amélioration des paramètres physicochimiques du sol minier indique qu'un médium de croissance plus désirable pour les plantes est en train de se développer.

Comparaison de résidus miniers sodiques et non sodiques en regard de la résistance du sol en fonction d'une humidité du sol variable

D.J. Thacker et R.L. Johnson

Les résidus miniers de la formation géologique de Luscar dans les montagnes rocheuses de l'Alberta ont été analysés en matière de résistance du sol à des tensions d'humidité de 1/3, 1, 3 et 15 bars. Les résidus miniers de cette formation géologique incluent des matériaux non salins à texture grossière et des matériaux salins à texture fine. Les résidus miniers utilisés dans l'expérience ont été sélectionnés pour inclure une grande variété de textures.

Des sous-échantillons de chacun des résidus sodiques ont été délavés de façon à évaluer l'effet du sel et du sodium sur la résistance du sol dans des échantillons semblables. Les filtrats des résidus salins ont été utilisés pour saliniser les sous-échantillons de résidus non salins afin de permettre une détermination similaire. Après cinq cycles de mouillage et de séchage les résistances des résidus ont été mesurés à des tensions d'humidité de 1/3, 1, 3 et 15 bars avec un pénétromètre en cône. Trois répétitions ont été utilisées pour chaque série de mesures. Les résultats sont présentés.

Améliorations en matière de restauration des sites de cendres

H. Insam

Un projet de restauration a été conduit sur le dépôt de cendres de Braunschweigische Kohlebergwerke situé à Helmstedt en Allemagne de l'Ouest. Les problèmes rencontrés étaient un pH élevé et des concentrations en sels élevés en relation avec une mauvaise stabilité physique du substrat. Plusieurs combinaisons de fertilisants, composts et amendements divers ont été testés en vue d'améliorer la croissance végétale et les conditions microbiologiques (biomasse et activité biologique). Plus particulièrement, l'usage de compost dérivé d'écorce et d'un produit fabriqué à partir de mycelium mort a été très performant. L'addition de divers amendements contenant des minéraux argileux et certains composés à base de sucre a considérablement amélioré les paramètres étudiés. Ces effets sont peut être liés à une réduction de la disponibilité de certains composés toxiques ou à une réduction locale du pH.

SOILS and OVERBURDEN

Variabilité des propriétés chimiques et physiques de déchets miniers remis en forme

Gary A. Halvorson

La variabilité des propriétés chimiques et physiques de déchets miniers remis en forme a été mesurée sur quatre sites dans l'ouest du Dakota du Nord. L'objectif principal de cette étude est de prédire les propriétés d'une surface remise en forme à partir de données sur la gangue originale. Les échantillons ont été pris selon un patron carré étendu de façon à ce que la variabilité dans une petite région puisse être comparée à celle d'une grande surface. Les dimensions d'une surface échantillonnée variaient de 10 m² à 55 ha. Les propriétés des déchets mesurées incluaient le pH, la conductivité électrique, le calcium, le magnésium et le sodium solubles, le ratio d'adsorption en sodium et le pourcentage en sable, silt et argile. La variabilité dans les propriétés du sol mesurée par un coefficient de variation pour la plus petite surface était de 50-70% de la plus grande surface. Des difficultés ont été rencontrées pour assortir la gangue originale avec les propriétés des déchets remis en forme parce que le degré de remise en forme de la surface après l'extraction minière n'était pas prévisible.

Caractéristiques physiques et chimiques des résidus d'une usine de charbon au sud-ouest de la Virginie

B.R. Stewart et W.L. Daniels

Les résidus du charbon sont difficiles à revégéter à cause de leur potentiel élevé d'acidité, de leur contenu en fragments grossiers, de leur faible capacité de rétention d'eau, de leur basse fertilité et d'autres problèmes. Peu est connu au sujet de leurs propriétés, particulièrement en regard du potentiel de revégétation. Il y a actuellement plus de 4000 ha d'amoncements de résidus charbonniers abandonnés, et plusieurs milliers d'hectares de dépôts de résidus actifs dans le sud-ouest de la Virginie seulement. Cette étude a été entreprise pour déterminer les propriétés physiques et chimiques de ces matériaux. Des échantillons de 27 amoncements de résidus, variant en âge de 1920 jusqu'à maintenant ont été amassés pour en faire la

caractérisation. Les propriétés physiques et chimiques sélectionnées variaient largement parmi les échantillons. Les valeurs de pH variaient de 8.3 à 3.0, et les amoncellements les plus âgés avaient les valeurs de pH les plus basses comparativement aux plus récents. Les saturations en bases s'étendaient de 100% à 1% et comme prévu, étaient fortement corrélées avec les valeurs de pH. La conductivité électrique était plus élevée dans les résidus plus jeunes. La valeur de conductivité électrique la plus élevée observée était de 5.8 mmho/cm ce qui est suffisant pour affecter la croissance des plantes sensibles aux sels. La moyenne des fragments grossiers (>2mm) de ces matériaux était de 60%. La texture moyenne des particules fines (<2mm) était un loam sableux avec 15% d'argile. La différence moyenne de rétention en eau, entre 0.1 bar et 15.0 bar de tension d'humidité, sur la fraction des particules fines était de 0.136 g d'eau/g de sol. Ces valeurs de rétention d'humidité sont très basses comparativement à celles des sols naturels, particulièrement en regard du contenu élevé en fragments grossiers. D'autres propriétés physiques, chimiques et minéralogiques importantes pour les résidus seront discutées, et reliées au potentiel de réhabilitation de ces matériaux.

Altération de la sidérite (FeCO₃) d'une halde de lignite

N.M. Frisbee et L.R. Hossner

Lors des déterminations de la balance acide/base pour du matériel de remblai, il y a des erreurs substantielles par l'utilisation de procédures analytiques courantes pour détecter la production d'acide par les haldes. Il semble y avoir une corrélation entre la présence de sidérite et les interférences lors de la détermination du potentiel de neutralisation (PN) et du potentiel d'acidité (PA) du matériel des haldes.

Nous avons étudié l'altération de la sidérite d'une halde de lignite du Texas. Les effets du gaz carbonique et de l'air sur la vitesse d'altération de la sidérite ont été déterminés.

Des nodules de sidérite altérée ont été placés dans des contenants et couverts avec de l'eau déionisée ou avec un tampon de pH=3. Un courant continu de gaz carbonique, d'oxygène, ou d'air était envoyé dans les échantillons.

Des tranches d'échantillons ont été prises et examinées au microscope électronique et pétrographique. Les tranches étaient prises à des intervalles mensuels et examinées pour détecter la croissance ou le changement dans les anneaux d'oxydation couvrant les nodules.

De la sidérite fraîche a été utilisée pour les titrages du pH pour déterminer les taux de réaction des particules de dimensions spécifiques. La sidérite était écrasée puis tamisée dans des passoires de plusieurs dimensions, puis congelée à sec et emmagasinée jusqu'à l'utilisation. L'échantillon était titré avec de l'acide sulfurique pour maintenir un pH de 3.

Potentiel de revégétation pour le matériel de la gangue des mines de charbon de Kittanning

J.C. Sencindiver, N.C. Thurman et R.J. Fugill

Les filons de charbon de Kittanning en Virginie ont généralement des gangues produisant de l'acidité. L'extraction minière de ces filons produit généralement un drainage acide et des problèmes avec la revégétation à moins qu'un sol de surface soit remplacé. Même si les matériaux acides sont communs, des matériaux de gangue non acides ou alcalins peuvent être

présents à certains sites. Certains de ces matériaux peuvent être meilleurs pour la revégétation que le sol de surface original. Deux études ont été conduites pour évaluer le potentiel de revégétation des matériaux de la gangue à Kittanning. Dans la première étude, des colonnes mesurant 30 cm de diamètre par 91 cm de long ont été remplies avec les résidus seulement, avec les résidus et le sol de surface, et avec un mélange des résidus en plus du sol de surface et de pierres concassées. Tous les matériaux ont été chaulés et fertilisés au besoin, semés avec *Festuca arundinacea* et *Lotus corniculatus*, et placés à l'extérieur. La croissance végétative et le couvert de surface ont été évalués après deux saisons de croissance. Les résidus recouverts de sol de surface avaient un couvert de surface moindre que pour tous les autres traitements. Les propriétés chimiques du sol de surface étaient généralement inférieures que pour les autres matériaux. La seconde étude était conduite sur une surface minière où un tissu PVC a été placé au-dessus du matériel acide. Le tissu était recouvert d'un sol de surface de 35 à 100 cm ou par un substitut au sol de surface (roche-mère concassée). Le tout a été chaulé, fertilisé et semé avec *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium hybridum* et *Trifolium pratense*. Le couvert de surface pour le sol et le substitut de sol était évalué pour deux saisons de croissance. Le couvert de surface était substantiellement mieux sur le sol que sur le substitut. Cette différence était reliée aux propriétés acides de la roche-mère utilisée comme substitut. Ces études indiquent une certaine variabilité dans les matériaux de la gangue à Kittanning. Un bon programme d'analyse de la gangue avant les opérations minières est requis pour déterminer quels matériaux de la gangue sont utilisables comme substituts de sol de surface.

Etude d'une halde de la mine Highvale et planification de la réhabilitation

A. Schori, W.J. Hastie et C. Wenzel

Une étude détaillée d'une halde à la mine Highvale au centre de l'Alberta a été conduite entre 1984 et 1986. Des données chimiques et physiques pour des échantillons forés ont été utilisées pour: décrire les propriétés des unités principales de la halde; préparer des carottes de forage et des sections stratigraphiques; et déterminer la localisation et la profondeur de la halde. Les matériaux de la halde étaient évalués pour leur convenance à la revégétation. Ce texte décrit comment l'information des carottes de forage a été amassée et souligne comment cette information peut être intégrée pour maximiser l'efficacité de la manipulation des matériaux et atteindre un succès dans la revégétation.

Approche courante de réhabilitation des sables bitumineux chez Syncrude

Tony S. Dai et Martin Y.P. Fung

Syncrude Canada est une entreprise d'extraction minière et de transformation de sables bitumineux située au dépôt de sables bitumineux de l'Athabasca au nord-est de l'Alberta, Canada. Une estimation de 300 milliards de barils de pétrole est considérée comme récupérable pour ce dépôt. Le gouvernement albertain exige que les terres minières soient réhabilitées vers une utilisation acceptable avec une productivité égale ou meilleure à celle présente avant les opérations minières. Ce texte présente un aperçu de l'approche de réhabilitation couramment utilisée par Syncrude. Avant que l'enlèvement de la gangue soit réalisé, un échantillonnage intensif du sol est conduit pour déterminer la qualité et le volume du matériel de surface présent. Ces matériaux de sol sont alors utilisés pour recouvrir les

résidus d'enrichissement avec un minimum de 70 cm et les amoncellements de résidus de la gangue avec au moins 100 cm de profondeur. Après que le recouvrement et la préparation du sol soient complétés, des semis d'arbres indigènes ayant poussés localement sont plantés. Quand la réhabilitation est terminée, la forme finale correspond à une topographie ondulante avec un drainage interne de l'eau du sol, et les propriétés du sol améliorées. On espère ainsi obtenir un écosystème au moins égal à celui d'avant les opérations minières en termes de productivité écologique. Les communautés végétales seront ainsi permanentes, auto-suffisantes et ne nécessiteront pas d'entretien.

ACID-GENERATING MATERIALS

Caractérisation du filtrat produit par des sols contaminés aux sulfures

S. Leggett et D. Parkinson

Réhabiliter des sols qui sont lourdement contaminés par les sulfures est spécifique à une petite partie de l'industrie du pétrole et du gaz. Même si le problème n'est pas très répandu, il nécessite un effort de recherche individuel parce qu'il est différent des problèmes comme l'acidification des sols par les précipitations acides ou par la fertilisation des récoltes. L'effet de la contamination par les sulfures sur la qualité du filtrat produit par les sols aidera dans l'évaluation des risques potentiels pour l'environnement et la santé.

Les filtrats ont été amassés au début et à la fin d'un essai de croissance en serre à partir de pots contenant quatre niveaux de sulfures. Les niveaux de sulfures étaient de < 0.1% (contrôle), 4%, 9% et 14%. Les traitements étaient les suivants: 1) application de CaCO_3 à un taux de trois fois celui des sulfures totaux détectés; 2) application de CaCO_3 (encore à un taux de trois fois celui des sulfures totaux détectés) et du fumier (40t/ha); 3) application de fumier (40t/ha); et 4) aucun traitement (contrôle). Les filtrats échantillonnés ont été filtrés et analysés pour le pH, la conductivité électrique, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ et $\text{SO}_4\text{-S}$. Des sous-échantillons sélectionnés ont été acidifiés et analysés pour Al, Mn et Fe solubles.

L'addition de fumier aux sols n'a pas produit de différences statistiques dans les paramètres de filtrage mesurés. Les filtrats produits pour les sols contaminés par les sulfures et sans chaux étaient fortement acides alors que les pH pour les filtrats des sols avec chaux et sulfures étaient neutres. Les valeurs de conductivité électrique étaient plus élevées dans les filtrats produits pour les sols contaminés par les sulfures et sans chaux. Les filtrats des sols avec chaux et sulfures étaient au moins dix fois plus bas que ceux qui n'avaient pas de chaux. Les filtrats produits pour les sols contaminés par les sulfures et sans chaux contenaient des niveaux élevés de NO_3 , NH_4 , PO_4 , SO_4 , aussi bien que des niveaux élevés d'Al, Fe et Mn solubles. Les filtrats produits par les sols avec chaux et sulfures contenaient des niveaux élevés de SO_4 .

Les résultats obtenus par cette expérience indiquent qu'un délai pour neutraliser un sol lourdement contaminé avec des sulfures causerait un mouvement des métaux solubles vers le bas du profil de sol et peut aussi causer une perte des nutriments disponibles qui sont requis pour la revégétation.

Effets d'amendements phosphatés sur la production et la composition des éléments du maïs sur des sols miniers acides

D.K. Bhumbla et J.C. Sencindiver

Des expériences en serre ont été conduites pour évaluer la croissance et la composition chimique de trois récoltes de maïs sur des sols miniers avec ou sans chaux et amendés avec de l'argile phosphatée, de la potasse et du phosphate monocalcique. Les taux d'application de l'argile phosphatée et de la potasse étaient de 288 et 576 mg P/kg. L'argile phosphatée était également ajoutée à 1152 mg P/kg. Le phosphate monocalcique était ajouté à 50 mg P/kg, et un contrôle n'avait aucun amendement phosphaté. Les productions de maïs étaient plus élevées sur les sols traités avec l'argile phosphatée que sur les sols avec la potasse ou le phosphate monocalcique. Les rendements n'étaient généralement pas meilleurs pour les hauts taux d'application qu'ils ne l'étaient pour le taux moyen d'argile phosphatée. L'argile phosphatée a amélioré l'assimilation des macronutriments par le maïs autant pour les sols avec ou sans chaux. Les concentrations de calcium et de phosphore étaient significativement plus élevées dans le tissu des plants ayant poussés sur les sols avec de l'argile phosphatée que pour les autres traitements. Les concentrations de fer et de manganèse dans les tissus diminuaient avec l'augmentation des niveaux d'amendement en phosphate.

The use of organic substances in the revegetation of acid mine tailings

Antoine Karam and Louis M. Azzaria

Revegetation of the East Sullivan mine tailings area in Val d'Or, Québec is probably the most suitable method of site stabilization. However, the tailings have undesirable characteristics for germination and growth of plants, including low organic content, low pH, major nutrient deficiencies and high levels of iron sulphides.

The paper discusses results obtained in greenhouse and laboratory tests on revegetation of East Sullivan mine tailings. Experiments examined the effect of organic substances (sewage sludge and sawdust) on: 1) growth of corn, and 2) chemical characteristics of tailings and leachate.

Considérations sur le design du traitement passif du drainage minier acide

Thomas R. Wildeman, Leslie S. Laudon et E. A. Howard

Des considérations et des recommandations sur le design de systèmes de bassin humides à utiliser dans des environnements montagneux difficiles sont données. La base des recommandations est un site de recherche pour le traitement passif du drainage acide qui a été dessiné et construit à "The Big Five Tunnel", un des nombreux sites du CERCLA dans le district minier de "Idaho Springs-Central City" au Colorado. Les principaux traits aussi bien que les problèmes rencontrés durant la construction et le début de la démonstration du système seront présentés. Alors, en se basant sur l'expérience de ce site et sur l'analyse d'autres sites, des suggestions et des idées sur les phases suivantes seront présentées: les plans préliminaires projetés, les exigences pour les surfaces de bassins humides, la configuration

du bassin, les méthodes sur la distribution du drainage de la mine vers le bassin, le choix et la construction du substrat et la sélection et la plantation de la végétation.

Mesures d'ingénierie écologique développées pour des résidus de cuivre et de zinc générant de l'acidité au nord de l'Ontario

M. Kalin et G. Mallory

Un concentrateur de cuivre et de zinc localisé dans la région de Red Lake au nord de l'Ontario a été fermé en 1981. Sur une superficie de 25 hectares, on retrouve 760 000 tonnes de résidus d'enrichissement à l'intérieur de bassins. Les résidus contiennent environ 41 % de pyrite et 4.1 % de pyrrhotite. Le site minier de 75 hectares, incluant le site de la ville et le moulin, est entouré par des lacs de pêche sportive du bassin de drainage de la rivière English.

Les procédures de réaffectation incluent les étapes qui assureront une qualité de l'eau de surface acceptable à long terme. Comme l'ingénierie écologique semble adéquate pour fournir une telle solution à des résidus générant de l'acidité sur le site, les efforts sont dirigés vers le développement de mesures employant cette approche.

L'eau souterraine acide générée par les résidus était interceptée par des fossés, alors que l'eau de surface était dirigée vers des bassins de neutralisation sur le site. Premièrement, la capacité de neutralisation biologique dans les deux bassins d'eau majeurs a été améliorée par les conditions requises pour la prolifération des agents biologiques de neutralisation. Ceux-ci sont des algues complexes dominées par *Achnanthes* et *Mougeotia* spp. dans les eaux acides (pH 3.5), et *Navicula* et *Ocellularia* spp. dans les eaux près de la neutralité (pH 6.5). En second lieu, une mousse aquatique tolérante à l'acidité a été introduite dans le système de neutralisation. La population de mousse forme un tapis sur la surface des sédiments, prévenant le contact de l'oxygène avec cette dernière et fournissant ainsi un "accumulateur" pour les métaux lourds enlevés par les agents neutralisants. Dans les bassins peu profonds et légèrement acides, des îlots de quenouilles ont été construits pour le même usage.

Une description de ce système d'ingénierie écologique et sa performance pour la première année seront données dans ce texte.

Purification de l'eau résiduelle d'une mine de Pb/Zn par l'utilisation d'hydrophytes

Chongyu Lan, Guizhu Chen, Liuchun Li et M.H. Wong

C'est une pratique commune dans plusieurs pays d'utiliser des hydrophytes pour traiter les effluents industriels et municipaux. Ce texte décrit l'utilisation d'un bassin de purification avec *Typha latifolia* Linn (Typhaceae) comme espèces dominantes, pour traiter l'eau résiduelle d'une mine de Pb/Zn à Shaoguan, dans la province de Guangdong en Chine.

Un survol préliminaire de la région minière a été fait en 1983 et il a été noté que *Typha latifolia* poussait très bien dans les endroits affectés par l'eau résiduelle émise par la mine. Un bassin de purification a été construit subséquentement par la compagnie minière pour traiter les eaux résiduelles en englobant la surface dominée par *T. latifolia*. Des débris rocheux et du gravier ont été utilisés pour construire le barrage. Le bassin a une capacité de 87,500 m² avec une capacité de traitement de 29,927 tonnes/jour.

Les eaux résiduelles non traitées avant d'entrer dans le bassin contenaient des niveaux plutôt élevés de solides en suspension (4635 mg/l), une demande en oxygène (14.5 mg/l) aussi bien que du plomb (1.6 mg/l) et du zinc (1.9 mg/l). Après avoir passé au travers du bassin de

purification, la qualité de l'eau s'est améliorée substantiellement, avec les solides en suspension réduits de 99%, la demande en oxygène de 55%, le plomb de 87% et le zinc de 81%.

Les résultats de l'analyse des tissus des plantes indiquaient que T. latifolia a une habileté intéressante pour assimiler le plomb et le zinc, spécialement dans la zone racinaire. La zone racinaire contenait 717 ug/g Pb et 433 ug/g Zn, qui étaient 14 et 4.4 fois plus élevés que sa contrepartie poussant dans la région non contaminée.

Une surveillance écologique conduite en 1986 a indiqué également qu'il y avait plusieurs espèces d'algues et de poissons florissant dans le bassin, habituellement avec une densité plus élevée dans les endroits contenant des concentrations moindres en métaux lourds dans l'eau.