

INRS-GÉORESSOURCES

**CARACTÉRISATION GÉOCHIMIQUE DU
PARC DE RÉSIDUS MINIERS
EAST-SULLIVAN**

INRS

INRS
INSTITUT NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

20

LA FORCE DE LA SCIENCE

**CARACTÉRISATION GÉOCHIMIQUE DU
PARC DE RÉSIDUS MINIERS
EAST-SULLIVAN**

Destinataire: M. Robert Tremblay, MERQ

Auteurs: Normand Tassé, Diane Germain, Mario Bergeron

Date: avril 1992

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET APPENDICES	
1. INTRODUCTION.....	1
2. APPROCHE ANALYTIQUE.....	2
3. DESCRIPTION DU SITE.....	3
3.1 Construction et évolution.....	3
3.1.1 Aire confinée.....	3
3.1.2 Aire non confinée.....	5
3.1.3 Interventions en vue d'une restauration.....	5
3.2 Morphologie et organisation interne.....	6
3.2.1 Aire confinée.....	6
3.2.1 Aire non-confinée.....	7
3.3 Altération.....	8
3.3.1 Aire confinée.....	8
3.3.2 Aire non-confinée.....	9
4. ÉTUDE DES COMPOSANTES GAZ-EAUX-SOLIDES.....	10
4.1 Propriétés des sites et des périodes d'échantillonnage.....	10
4.2 Gaz.....	11
4.2.1 Méthodologie.....	11
4.2.1.1 Échantillonnage.....	11
4.2.1.2 Mesure.....	13
4.2.2 Résultats.....	13
4.3 Eaux interstitielles.....	15
4.3.1 Méthodologie.....	15
4.3.1.1 Échantillonnage.....	15
4.3.1.2 Mesure.....	18
4.3.2 Résultats.....	20
4.3.2.1 Sommaire de l'échantillonnage.....	20
4.3.2.2 Sommaire des résultats d'analyse.....	20
4.3.2.3 Variations été/automne.....	21
4.3.2.4 Variations dans des profils verticaux.....	22
5. HYDROGÉOLOGIE DU SITE.....	26
5.1 Méthodologie.....	26
5.1.1 Installation des piézomètres et nivellement.....	26
5.1.2 Prise de niveau d'eau et nivellement.....	26
5.1.3 Conductivité hydraulique.....	27
5.2 Résultats.....	27
5.2.1 Niveau d'eau et gradient hydraulique.....	27
5.2.2 Conductivité hydraulique.....	28
5.2.3 Débit.....	30
6. ÉTUDE DES INTERACTIONS GAZ-LIQUIDE-SOLIDE AU SEIN DU PARC....	32
6.1 Réactions chimiques et relations entre profils.....	32
6.1.1 Oxydation des sulfures.....	32
6.1.2 Processus de neutralisation d'acidité.....	34
6.2 Équilibres chimiques et relations entre profils.....	35
6.2.1 Modèles géochimiques.....	35
6.2.2 Paramètres.....	36
6.2.3 Résultats.....	38
7. CONCLUSIONS.....	40
8. RÉFÉRENCES.....	42
FIGURES	
TABLEAUX	
APPENDICES	

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET APPENDICES

- Figure 1. Localisation du parc de résidus miniers East-Sullivan.
- Figure 2. Localisation des stations d'échantillonnage et des lignes de piézomètres implantées sur le parc et autour du parc.
- Figure 3. Évolution du parc d'après les photos aériennes disponibles de 1941 à 1985.
- Figure 4. Résumé schématique de l'évolution du parc et des zones d'épandage environnantes.
- Figure 5. Évolution des aires d'inondation dans les trois bassins du parc.
- Figure 6. Topographie du parc à l'automne 1990.
- Figure 7. Profils topographiques du parc à l'automne 1990.
- Figure 8. Aperçu photographique du parc.
- Figure 9. Aperçu photographique du parc.
- Figure 10. Aperçu photographique des profils d'oxydation à la surface du parc.
- Figure 11. Aperçu photographique des profils d'oxydation autour du parc.
- Figure 12. Schéma du protocole de prélèvement et d'analyse des gaz, des liquides et des solides au sein du parc de résidus East-Sullivan.
- Figure 13. Aperçu des précipitations à l'aéroport de Val d'Or à l'été et l'automne 1991 et périodes d'échantillonnage.
- Figure 14. Dispositif d'échantillonnage des gaz de la zone vadose.
- Figure 15. Profils des proportions de gaz déterminées aux sept stations d'échantillonnage.
- Figure 16. Comparaison des variations de composition des gaz de mêmes profondeurs entre l'été et l'automne.
- Figure 17. Dispositif d'extraction de l'eau interstitielle des résidus miniers dans la zone vadose.
- Figure 18. Schéma des piézomètres utilisés et de leur installation.
- Figure 19. Comparaison Eh-sol vs Eh-eau et Fe^{+2} vs $Fe(\Sigma)$.
- Figure 20. Profils des variations du pH et du Eh dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1).

- Figure 21. Profils des variations de Ca et SO_4^{2-} , K et Na, Fe, Mg et Mn, Pb, Cu et Zn, et Cd, Ni et Co dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1).
- Figure 22. Comparaison des variations de composition des eaux interstitielles de mêmes profondeurs (± 15 cm) entre l'été et l'automne.
- Figure 23. Comparaison des profils des paramètres mesurés lissés visuellement.
- Figure 24. Définition des paramètres de mesure pour l'analyse de la conductivité hydraulique.
- Figure 25. Contours de la surface de la nappe phréatique et directions générales d'écoulement.
- Figure 26. Recouvrement du niveau d'eau pour l'analyse de la conductivité hydraulique.
- Tableau 1. Sommaire des opérations d'échantillonnage et d'analyses des eaux interstitielles du parc de résidus East-Sullivan.
- Tableau 2. Matrice de corrélation des principaux paramètres analysés.
- Tableau 3. Comparaison sommaire des résultats d'analyse des eaux interstitielles du parc.
- Tableau 4. Élévation des piézomètres et niveau d'eau.
- Tableau 5. Gradients hydrauliques verticaux.
- Tableau 6. Sommaire des pressions atmosphériques au cours des périodes d'échantillonnage des gaz interstitiels.
- Tableau 7. Indices de saturation calculés avec le logiciel PHREEQE.
- Appendice 1. Liste des photos aériennes englobant le site depuis 1941.
- Appendice 2. Sommaires météorologiques des mois de juillet, août, septembre et octobre 1991 à l'aéroport de Val d'Or.
- Appendice 3. Composition de la fraction gazeuse dans les interstices des résidus miniers: été et automne.
- Appendice 4. Résultats des analyses de Eh, pH et Fe^{+2} dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1).
- Appendice 5. Résultats des analyses de Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe^{+2} , $\text{Fe}(\Sigma)$, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, SO_4 , W et Zn dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1).

1. INTRODUCTION

La concentration et la récupération de métaux d'intérêt économique dans le cadre de l'exploitation minière impliquent inévitablement l'accumulation de volumes importants de résidus miniers. Les minéraux sulfureux résiduels, au contact avec l'air, peuvent générer une acidité importante entraînant la mobilisation de métaux lourds nocifs non seulement pour la faune et la flore environnantes, mais également pour l'homme.

Le parc de résidus miniers East-Sullivan, localisé à environ 6 km au sud-ouest de Val d'Or (Fig. 1) est un de ces amas de déchets sulfureux problématiques. Il s'agit d'un dépôt de catégorie I ("Lieux présentant actuellement un potentiel de risque pour la santé publique et/ou un potentiel de risque élevé pour l'environnement.") dans l'inventaire des lieux d'élimination de déchets dangereux du Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ, 1990). Une description du site et de son impact sur l'environnement est donnée par Planigram (1987). En résumé, le parc contribue à une dégradation marquée de la rivière Bourlamaque, qui coule à proximité, au sud et à l'est, notamment par une hausse du niveau d'acidité et par une augmentation prévisible de la teneur en métaux lourds dans l'eau et les sédiments de la rivière. Les lixiviats sont également susceptibles de contaminer la nappe phréatique.

Dans une perspective de restauration qui puisse être valable à long terme, il est important de déterminer la dynamique de l'altération, afin de répondre à certaines interrogations essentielles:

- quel est le taux de génération d'eau acide? le taux de métaux lixiviés?
- combien de temps sera nécessaire pour altérer tous les sulfures des résidus?
- les carbonates comme la calcite sont-ils en quantité suffisante pour neutraliser l'acidité produite par l'oxydation des sulfures? si oui, pour combien de temps?

Pour répondre à ces questions, l'équipe d'INRS-Géoressources a effectué une étude détaillée du parc East-Sullivan pour comprendre et modéliser les paramètres géochimiques, hydrogéologiques et minéralogiques qui contrôlent la pollution générée dans un tel parc.

2. APPROCHE ANALYTIQUE

L'approche utilisée est décrite dans un guide décrivant la caractérisation d'un parc de résidus miniers comme un outil prévisionnel (Tassé et al., 1992). Dans cette approche, les résidus miniers sont considérés en tant que système réactionnel où l'oxydation de sulfures (*solide*) par de l'oxygène (*gaz*) conduit à la production de concentrations élevées en ions H^+ , en éléments majeurs et en métaux traces (*liquide*). Les trois phases impliquées, solide, liquide et gazeuse, sont analysées suivant des profils verticaux parce que chaque centimètre à partir de l'interface air/résidu met en présence un gaz s'éloignant progressivement de la source d'oxygène atmosphérique, un solide dont le degré d'altération variera avec la profondeur et un liquide se chargeant progressivement en cations et anions, ce liquide étant en interaction continue avec les phases gazeuses et particulaires. En plus des paramètres géochimiques décrivant les propriétés des trois phases solide, liquide et gazeuse, il faut également procéder à la mesure de paramètres physiques qui contrôleront pour leur part l'advection, la diffusion et la dispersion des gaz et des liquides.

En pratique, des mesures sur les phases gazeuses, liquides et solides ont été effectuées à sept stations distribuées selon deux transversales sur la surface du parc, ainsi qu'à une huitième station dans une zone d'épandage au sud de l'aire confinée (Fig. 2). Les gaz et les fluides interstitiels des sept stations localisées sur le parc ont été échantillonnés à deux reprises, à la fin de l'été (fin août, début septembre) et en automne (fin octobre) afin d'évaluer l'importance des effets climatiques sur les processus d'altération. Les profils d'oxydation ont été examinés dans de nombreuses tranchées creusées tant sur la surface du parc que sur la zone d'épandage entourant le parc. La dispersion des contaminants dans les eaux souterraines a été évaluée le long de cinq lignes de piézomètres distribués autour du parc (Fig. 2). Enfin, des échantillons d'eau de surface ont été prélevés sur le site et dans les environs pour en évaluer la qualité (Fig. 1).

3. DESCRIPTION DU SITE

Planigram (1987) donne un aperçu du site et des infrastructures environnantes. En résumé, le parc East-Sullivan résulte de l'exploitation de 1949 à 1966 d'un gisement de sulfures massifs du Groupe de Malartic, composé de CuFeS_2 , ZnS , $[\text{PbS}]$, $[\text{Fe}_3\text{O}_4]$, dans une gangue de roches volcaniques très altérées contenant environ 50% de FeS_2 et Fe_{1-x}S , encaissées dans des rhyolites et des andésites. Le parc compte près de 15 000 000 tonnes de résidus formant un plateau de 1 359 000 m^2 s'élevant à 4-5 m au-dessus de la plaine environnante. La propriété a été rétrocédée à la Couronne en 1980. Le site est utilisé depuis 1984 comme dépôt de résidus forestiers et de boues de fosses septiques et d'usine d'épuration, et depuis 1980 comme site d'entreposage de dynamite.

3.1 Construction et évolution

3.1.1 Aire confinée

Les photos aériennes de 1941 donnent un aperçu du type de terrain maintenant recouvert par les résidus miniers (Fig. 3). Le substrat du lobe sud-ouest du parc consiste essentiellement en une zone marécageuse bordée par une zone boisée plus haute à l'est. Ce marécage se drainait vers le sud dans un étang localisé à environ 200 m de la limite méridionale actuelle du parc, la décharge rejoignant la rivière Bourlamaque plus au sud. Le substrat de la partie la plus septentrionale du parc est également marécageux, de petits reliefs boisés s'intercalant entre cette zone marécageuse et celle plus au sud.

Les photos aériennes postérieures à l'ouverture de la mine montrent que le parc actuel est constitué de la coalescence de trois bassins contigus qui ont porté successivement le parc à 20, 55 et 100% de sa superficie actuelle (Fig. 3 et 4). Le bassin le plus ancien, au sud, était le seul actif en 1952. Des travaux d'aménagement en vue d'un agrandissement au nord et à l'est étaient toutefois en cours à ce moment (coupe forestière, conduit pour le drainage de tours de décantation vers la rivière Bourlamaque). Ce bassin ancien correspond maintenant à toute la partie du parc au sud de la route de service conduisant au dépôt de dynamite. En 1956, le remplissage est restreint à un second bassin immédiatement au nord du premier, avec des déversements qui ne sont que partiellement confinés plus à l'est. Les limites de ce bassin intermédiaire montaient, au nord, jusqu'à la route de service conduisant au dépôt de débris forestiers, et suivaient, à l'est, la prolongation de la bordure orientale du parc original.

En 1965, le parc atteignait sa périphérie actuelle avec un bassin plus récent au nord et à l'est des accumulations précédentes.

Les résidus miniers étaient amenés aux bassins et transportés sur leur pourtour dans des pipelines de bois. La répartition des surfaces inondées (Fig. 5), le ravinement et la géométrie des cônes d'alluvions (Fig. 3) indiquent comment se faisait le comblement des bassins. Le bassin le plus ancien semble avoir été rempli essentiellement par la marge nord, de même que par la marge ouest, vers la fin de l'exploitation. Environ la moitié de la surface était inondée en 1952, 1965 et 1966, mais le bassin était virtuellement sec en 1956, alors qu'on procédait au remplissage du bassin intermédiaire. Ce bassin intermédiaire était surtout alimenté par sa marge ouest et son coin sud-ouest. Il était à moitié inondé en 1965. Le bassin récent semble avoir été surtout alimenté par sa marge nord. Plus des trois quarts de sa surface était inondée en 1965. Lorsque le comblement des bassins était avancé, les tuyaux d'alimentation pouvaient être implantés sur la surface des résidus pour rejoindre la partie non remplie (bassin ancien: photos de 1965; bassin intermédiaire: photos de 1966).

Le parc est caractérisé par un retrait immédiat des eaux dès 1966, après cessation de l'alimentation en eau et résidus (Fig. 3). La baisse est surtout notable dans le bassin intermédiaire, où une partie de l'eau s'est probablement déversée dans le bassin plus récent à l'est, suite à l'apparition d'une brèche dans la digue séparant ces deux bassins (Fig. 4). Ce retrait se continue sur les photos de 1970 et 1972 et souligne les dépôts-centres de chacun des trois bassins. En 1979, toute eau est disparue du bassin intermédiaire, suite à la création d'une seconde brèche le mettant en communication directe avec le bassin plus récent. La zone inondée de ce dernier bassin se trouve alors augmentée. Seul ce bassin reste inondé en 1981 et 1983, au même niveau qu'en 1979.

Le dispositif de confinement du parc conserve son intégrité jusque dans les années 1980 (Fig. 3). En 1981, une route d'accès menant au nouveau dépôt de dynamite apparaît sur le côté ouest du parc à hauteur de la digue séparant le bassin ancien du bassin intermédiaire (Fig. 4). Deux brèches (brèches #2 et #3 de Planigram, 1987) pratiquées dans les segments est et sud de la digue de ce bassin drainent un canal de dérivation accompagnant ces nouvelles installations. La brèche #3 et la brèche #4, cette dernière un peu plus à l'ouest, sont ouvertes sur des points de faiblesse qu'on notait déjà en 1956, lors du transfert du déversement de résidus au nord. En 1985, une route d'accès pour le dépôt de débris forestiers est visible à la jonction des digues du bassin intermédiaire et du bassin plus récent, sur le côté ouest du parc. Une brèche pratiquée sur le côté est (brèche #1) draine tout le secteur qui avait été inondé de façon permanente jusqu'alors. Afin de limiter l'étalement des résidus, les brèches #2 et #3

ont été remblayées, et les brèches #1 et #4 stabilisées avec des gabions et des membranes géotextiles en 1988 (Paquet, 1989).

3.1.2 Aire non confinée

Planigram (1987) évalue la surface d'épandage attribuable à l'érosion hydrique et éolienne à 684 000 m², soit une surface équivalente à la moitié de la surface du parc. Les accumulations les plus importantes en dehors de l'aire confinée sont localisées au sud du parc. Ces dépôts sont présents sur les photos de 1952, les premières suivant la mise en exploitation, et comblent entièrement l'étang qui existait en 1941 (Fig. 3). La présence d'une digue abandonnée immédiatement au sud-ouest du parc actuel et une aire de déboisement très large au sud-est suggèrent un plan d'implantation original du parc plus au sud. L'épandage observé résulte probablement de problèmes de confinement occasionnés par un sol instable à proximité de l'étang, d'où la construction d'une digue un peu plus au nord que prévu, à sa position actuelle. Une extension de l'aire affectée est notée en 1956, vraisemblablement en conséquence de brèches apparues dans la marge du parc lors de l'utilisation des bassins plus au nord. Par la suite, la détérioration est progressive jusqu'aux limites de 1972 puis de 1985, comme indiquées dans la Figure 4.

Les résidus immédiatement au sud de la route donnant accès au dépôt de dynamite, à l'ouest du parc, résultent apparemment de bris de la conduite alimentant le parc au début des années 1950. Les pertes observées en 1956 sont confinées par une digue apparaissant sur les photos dès 1965 (Fig. 3).

Enfin, tout le pourtour du parc est affecté par un étalement progressif des résidus. Les régions affectées de façon endémique une année donnée, comme le montre par exemple l'éclaircissement de la végétation, le sont de façon plus prononcée plus tard.

3.1.3 Interventions en vue d'une restauration

Paquet (1989) résume les interventions et travaux de recherche effectués ou envisagés en vue de neutraliser ce site. Un essai de revégétation localisé immédiatement au nord de la route menant au dépôt d'explosif était effectué en 1983 sur une parcelle amendée avec de la chaux et des fertilisants (Planigram, 1987). Des modifications majeures sont toutefois associées à l'accumulation de résidus organiques sur le site: débris forestiers (depuis 1984) et boues d'usine d'épuration et de fosses septiques (depuis 1986), auxquels sont occasionnellement mêlés des déchets industriels (Université de Sherbrooke, 1988; Karam et

Azzaria, 1990). Au moment de l'étude, ces résidus recouvraient approximativement 25 à 30 % de la surface du parc sur des épaisseurs atteignant facilement plus de 3 à 4 m, cette proportion augmentant continuellement avec l'étalement de débris additionnels vers l'est. Des essais de revégétation basés sur l'utilisation de ces résidus organiques ont été effectués immédiatement au sud du dépôt, le long de la marge ouest du parc (Université de Sherbrooke, 1988). À la fin de l'été 1991, des dépôts superficiels provenant de la construction d'un dépotoir par la ville de Val d'Or au nord du parc étaient disposés sur le talus ouest du parc.

3.2 Morphologie et organisation interne

3.2.1 Aire confinée

Dans sa forme actuelle, le parc forme un vaste plateau peu accidenté au-dessus de la plaine environnante (Fig. 6). Le pied du talus de la marge nord du parc est d'environ 3 m plus élevé que celui des marges sud et sud-est, mais cette différence est difficilement perceptible sur le terrain, sinon par le ruisseau s'écoulant vers la rivière Bourlamaque le long de la marge ouest. Elle ressort mieux dans les profils longitudinaux et transversaux dressés à travers le parc (Fig. 7). Ces profils soulignent également l'importance du volume de résidus forestiers présents à l'automne 1990 (Fig. 8a). La topographie précise du substrat du parc est inconnue. Des branches et brindilles ont été reconnues dans les échantillons les plus profonds des stations 6 et 7, approximativement à 2.4 et 5.1 m de la surface.

Les digues utilisées pour le confinement, comme le laissent voir la coupe du chemin d'accès au dépôt d'explosif et une tranchée creusée près de la station 5 (Fig. 10a), ont été édifiées à même les résidus (avec probablement le concours de machinerie lourde: évidences de remaniements), en profitant également de la superposition des débris s'accumulant sur et en bordure immédiate du talus (résidus stratifiés). L'alimentation des bassins se faisait à partir de dérivation des tuyaux de bois surmontant ces digues (Fig. 8b et 9c). Les résidus déversés se zoniaient alors en fonction de leur dimension et de leur densité, donnant lieu à la formation de cônes d'alluvions bien visibles sur les photos aériennes (Fig. 3, 1956; Fig. 8c).

Le parc ne montre plus que deux cuvettes principales correspondant au bassin le plus ancien et au bassin le plus récent (Fig. 6). Les résidus forestiers masquent la majorité de la dépression associée au bassin intermédiaire, où subsistent toutefois quelques cimes d'arbres ennoyés par les résidus (Fig. 8c). L'érosion a également pratiquement effacé la digue séparant à l'origine ce bassin du bassin récent.

Toute la surface du parc est disséquée par un réseau important de ruisseaux éphémères de quelques centimètres de profondeur sur une bonne partie de leur parcours et atteignant environ 1 m à leur embouchure. L'aire au nord de la route d'accès au dépôt d'explosif se draine vers le nord et l'est (Fig. 6), le ruissellement se butant contre les résidus forestiers et transitant par un étang permanent retenu par les gabions de la brèche #1. L'aire au sud de cette même route se draine vers la brèche #4, où l'on n'observe toutefois aucune accumulation d'eau. Paquet (1991) mentionne que l'eau de fonte printanière cesse de couler de cette brèche aussi tôt qu'à la fin d'avril. Les flancs du parc sont localement instables. L'érosion hydrique provoque un ravinement appréciable des marges, surtout du côté ouest (Fig. 8d).

Les résidus sont également soumis à une érosion éolienne importante. L'ablation observée dans les sédiments plus grossiers à l'ouest du parc peut atteindre quelques centimètres, l'érosion différentielle laissant des couches indurées occasionnant la formation de petits monticules (Fig. 8b). Les résidus plus fins, plus cohérents, sont moins affectés par ce type d'érosion. Le transport dominant est vers l'est et le nord-est, comme en témoignent les rides sur le côté est des reliefs et même des dunes sur le flanc de la marge nord-est du parc (Fig. 9b). Quelques journées sèches et venteuses de juillet 1991 nous ont permis de constater que le vent pouvait soulever des panaches denses de poussières de plusieurs centaines de mètres de hauteur (Fig. 8a et d).

3.2.1 Aire non-confinée

À l'exception de l'importante aire d'épandage au sud du parc, la limite atteinte par les résidus autour de l'aire de confinement dépasse rarement plus que quelques dizaines de mètres. Côté parc, le mètre inférieur des talus semble humidifié la plupart du temps par les suintements d'eau en provenance de la zone confinée (Fig. 9c et f). Au pied de la marge ouest, les résidus sont traversés par un cours d'eau plus ou moins stagnant se déversant dans la rivière Bourlamaque (Fig. 8d). Ceux au nord sont inondés de façon intermittente par quelques centimètres d'eau (Fig. 9a). À l'est du parc, la surface de la nappe phréatique se situe à moins de quelques centimètres de la surface. Il en est de même du côté sud, à proximité de la marge, mais les résidus plus distaux sont toutefois moins saturés en eau.

Les surfaces affectées par les résidus sont généralement stériles et associées à des forêts mortes ou des marécages dégradés (Fig. 9a, b et c). Cependant, près de la rivière Bourlamaque, à hauteur de la ligne 2, on peut reconnaître des herbes recolonisant une

trentaine de centimètres de résidus. Il y a également une bande étroite d'herbes jalonnant le haut de la zone de suintement à la base du talus de direction est-ouest à la hauteur de cette même ligne (Fig. 9c).

L'épandage autour du parc semble rarement excéder plus de 50 cm d'épaisseur à 50 m de la périphérie du parc, exception faite du secteur immédiatement au sud, à hauteur de la brèche #4. À cet endroit, au moins 3.9 m de résidus sont présents au pied de la digue, d'après un échantillonnage fait avec une foreuse portable. Le substrat original n'a été retrouvé qu'à 300 m du parc à environ 80 cm de profondeur, le long de la ligne 1. Le substrat naturel remonte également vers l'ouest, comme le montre l'apparition progressive des souches d'arbre.

La zone d'épandage au sud de la brèche #4 forme une vaste plaine drainée par des chenaux larges et évasés de quelques centimètres de profondeur amenant les précipitations de l'est vers l'ouest puis le sud, ultimement dans la rivière Bourlamaque. La stratigraphie interne a été évaluée aux 50 m le long de la ligne 1 par l'échantillonnage de résidus dans un tuyau de cuivre de 1.25 m. Il y a superposition très irrégulière de résidus très fins à moyens et de silt et argile, l'ensemble devenant toutefois plus fin en s'éloignant du parc.

Le substrat observé à la ligne 1 est argileux, alors qu'il est sablonneux à la ligne 2, mixte à la ligne 3 et sablonneux entre ces deux sites. Il n'a pu être observé ailleurs.

3.3 Altération

3.3.1 Aire confinée

L'oxydation des résidus miniers est caractérisée par une couleur rouille caractéristique. De notre examen des profils d'altération d'une dizaine de tranchées de 1 m de profondeur distribuées uniformément sur le site, il ressort que l'âge relatif des résidus compte pour peu auprès des facteurs physiques contrôlant la diffusion de l'oxygène atmosphérique, comme la profondeur et surtout la granulométrie.

Les profondeurs d'altération varient de 50 à 85 centimètres dans les résidus plutôt grossiers à 15 à 20 cm dans les résidus plutôt fins des stations 3 et 6 (Fig. 10b, c et d). Les résidus grossiers, de la taille des sables, passent du gris foncé en profondeur à un gris olive puis à une couleur rouille plus ou moins intense en surface. Les sédiments fins, de la taille des silts ou argiles, passent du gris foncé à des gris plus clairs avant de prendre la couleur rouille clair caractéristique. Plus réfractaire à la propagation de l'oxygène, les résidus fins

montrent souvent des cellules résiduelles moins altérées au sein de résidus altérés (e.g. stations 1 et 3; Fig. 10e). L'alternance de résidus fins et grossiers dans les profils d'oxydation se traduit par un rubanement de la stratification dans divers tons de gris et de rouille (e.g. stations 1, 2 et 5; Fig. 10c et e), les résidus grossiers favorisant la diffusion latérale de l'oxygène et donc de l'oxydation. Les fentes de dessiccation, souvent observées sur 10 à 20 cm de profondeur et même jusqu'à 50 cm à la station 6 (Fig. 10d), forment de bonnes avenues pour véhiculer l'oxygène atmosphérique vers les substrats moins altérés.

L'acidification accompagnant la réaction se reconnaît facilement dans la porosité très particulière qu'adopte fréquemment les sédiments, sous l'effet du CO_2 dégagé par la dissolution des carbonates. Cette porosité prend la forme de bulles millimétriques parfois très denses évoquant les barres de chocolat "Aero" dans les résidus altérés, près de la surface (e.g. stations 1, 2 et 7; Fig. 10e et f). De telles bulles ont également été observées dans des résidus frais, quelques jours après leur échantillonnage à 1-2 m de profondeur à la station 6.

Une partie du fer mis en solution est également précipité sous forme d'oxydes de fer. Ces néoformations prennent la forme de filaments bruns rougeâtres plus ou moins réguliers dans des résidus grossiers au contact de résidus fins. (e.g. stations 1, 5 et 7; Fig. 10c) ou plus rarement dans de minces fentes recoupant la stratification (e.g. station 2). Dans tous les cas, il ne s'agit que de traces.

3.3.2 Aire non-confinée

Les profils d'oxydation observés dans des tranchées effectuées à une quinzaine de localités autour du parc ressemblent sensiblement à ceux observés sur la surface du parc lui-même: degré d'oxydation en fonction de la granulométrie et de la profondeur; fentes de dessiccation facilitant la pénétration de l'oxygène et la formation de poches d'oxydation; rubanement de la stratification; cellules d'altération (Fig. 11). Ces profils sont cependant condensés sur une vingtaine de centimètres.

Les résidus miniers à l'extérieur du parc montrent toutefois des évidences de néoformations beaucoup plus nombreuses et variées. Les précipitations d'oxydes observées dans les tranchées sont plus abondantes qu'à la surface du parc, notamment le long de la ligne 1. Les précipités sont toujours concentrés le long de laminae grossières et ondulantes ou dans des résidus plus grossiers au contact de résidus fins, mais aussi le long de branches ou brindilles du substrat. Lorsque bien développés, ils empruntent littéralement la forme de "Corn Flakes" (Fig. 11b et c). La zonation est particulièrement intéressante: les

concentrations les plus franches apparaissent dans les niveaux moins altérés et diminuent en importance dans les régions plus altérées, démontrant que la réaction de précipitation est beaucoup plus rapide que celle d'oxydation des résidus sulfureux au contact de l'oxygène (Fig. 11a).

Aux néoformations reconnues dans les profils d'oxydation, il faut ajouter la coloration rougeâtre des suintements à la base du talus, au sud du parc et dans le réentrant au sud-est, de même que celle des étangs stagnants en périphérie du parc, évoquant également des précipitations d'oxydes (Fig. 9a et f). Il y a eu des précipitations de sulfates à la surface de l'épandage sud au cours d'une période sèche de juillet 1991 (Fig. 9e). Toutes ces néoformations contribuent à couvrir une bonne partie de la surface d'épandage au sud du parc et certaines parties des autres surfaces autour du parc avec des endoclastes centimétriques et très aplatis de résidus consolidés (Fig. 11d).

4. ÉTUDE DES COMPOSANTES GAZ-EAUX-SOLIDES

La Figure 12 résume schématiquement le protocole de prélèvement et d'analyse des phases gazeuse, liquide et solide qui a été suivi à chacune des stations implantées sur le parc East-Sullivan. La phase gazeuse a été échantillonnée à partir d'une tige à pointe perforée, la phase liquide de la zone vadose a été extraite par pressage de carottes de sédiments prélevés dans des tubes d'aluminium, la phase liquide de la zone saturée a été prélevée dans des piézomètres et la phase solide a été échantillonnée dans une seconde série de tubes d'aluminium enfoncées dans l'amas de résidus. Les déterminations impliquant des composés ou des paramètres fugaces ou métastables (e.g. gaz, Eh, pH...) ont été effectuées sur le terrain ou dans un laboratoire temporaire installé sur place dans un bureau mobile.

4.1 Propriétés des sites et des périodes d'échantillonnage

L'emplacement des sites (Fig. 2) a été choisi afin de comparer les processus d'altération affectant les résidus les plus anciens du parc (stations 2, 3 et 4) et ceux associés aux résidus les plus récents (stations 5, 6 et 7) dans des conditions hydrogéologiques comparables et représentatives des différents environnements du parc: résidus fins des cuvettes centrales (stations 3 et 6), résidus grossiers non confinés, attenant à la marge du parc (stations 2 et 7), résidus grossiers entièrement confinés, à l'intérieur du parc (stations 4 et 5). La station 1 se voulait représentative d'un environnement "moyen". La station LI-1, en dehors du parc, voulait documenter les processus actifs en dehors du parc. En résumé, les particularités des stations d'échantillonnage sont les suivantes:

Station	Age relatif	Position dans le parc	Granulométrie approximative
1	intermédiaire	intermédiaire	mixte
2	vieux	marginale	grossière
3	vieux	confinée	fine
4	vieux	confinée	grossière
5	jeune	confinée	grossière
6	jeune	confinée	fine
7	jeune	marginale	grossière
LI-1	vieux	périphérique	mixte

L'échantillonnage s'est fait en deux périodes, à la fin de l'été et en automne (Fig. 13). Dans le premier cas, l'échantillonnage du matériel particulaire et des eaux interstitielles s'est effectué entre le 26 et le 29 août et celui des gaz entre le 12 et le 21 septembre 1991. Dans le second, ces prélèvements se sont effectués respectivement entre le 22 et le 24 octobre et entre le 18 et le 29 octobre 1991. Les sommaires météorologiques mensuels des mois de juillet, août, septembre et octobre 1991 pour l'aéroport de Val d'Or sont donnés en Appendice 2, les données sur les précipitations se résumant comme suit:

Mois	Précipitations totales normales (mm)	Précipitations totales observées (mm)
juillet	101.5	49.8
août	101.1	119.4
septembre	107.4	83.8
octobre	82.3	62.4

Juillet a été beaucoup plus sec que la normale, avec 49.8 mm de pluie dont 31.8 mm tombés à l'occasion de journées orageuses qui ont pu affecter différemment le parc East-Sullivan. Le mois d'août a été plus normal, avec 119.4 mm dont 30.2 mm tombés les 26 et 27, jours d'échantillonnage. Les mois de septembre et octobre ont été un peu plus sec que la normale, les précipitations étant assez uniformes au cours du mois de septembre, mais avec un 5 octobre orageux accompagné de 27.8 mm de pluie, soit presque autant que ce qu'il allait tomber le reste du mois.

4.2 Gaz

4.2.1 Méthodologie

4.2.1.1 Échantillonnage

La Figure 14 montre schématiquement le dispositif utilisé pour l'échantillonnage des gaz. Il consiste en une tige d'acier inoxydable de 1.5 m de longueur et 1/4" de diamètre extérieur,

marquée aux 10 cm, avec à son extrémité inférieure une pointe perforée. À l'extrémité supérieure, un tube de Tygon™ relie la tige à un robinet à trois voies. Les deux autres voies sont connectées à des seringues de plastique de 60 cc par l'intermédiaire de tubes Tygon™ pourvus de fermoirs. Une des seringues sert à purger le gaz atmosphérique contenu dans la tige lors de sa mise en place. L'autre sert au prélèvement de l'échantillon. Du silicone assure l'étanchéité du dispositif au point de jonction le plus faible, entre la seringue d'échantillonnage et le tube Tygon™. Les accessoires connexes comprennent une masse et des tuyaux rigides de métal (20, 40, 60, 80, 100 et 120 cm de longueur, environ 3/8" de diamètre intérieur), des tiges additionnelles de 1.5 m ainsi qu'une vis à tête plate et une poignée se vissant à l'extrémité supérieure de la tige. Un liquide savonneux est utilisé pour vérifier l'étanchéité des jonctions du système.

Le matériel s'utilise comme suit:

- la vis à tête plate est ajustée à l'extrémité de la tige pour en minimiser la déformation sous l'impact de la masse pour l'enfoncer;
- les tuyaux servent à assurer le support latéral de la tige, entre le sol et l'extrémité supérieure, pour éviter qu'elle ne plie lorsque frappée;
- à la profondeur d'échantillonnage désirée, le robinet et ses deux seringues sont raccordés à la place de la vis; le dispositif est immergé pour assurer une meilleure étanchéité;
- le volume d'air présent dans la tige et dans les tubes est retiré en créant pendant 30 secondes une succion avec l'aide de la seringue à purger, avec un volume au moins égal au volume d'air calculé pour le volume intérieur de la tige et des tubes; le fermoir entre le robinet et la seringue de purge est alors fermé;
- les gaz adjacents à la pointe perforée de la tige sont captés en appliquant une succion à l'aide de la seringue d'échantillonnage pendant une minute; la seringue est alors scellée à l'aide du fermoir la séparant du robinet;
- les échantillons de gaz sont prélevés à des profondeurs successives de 10 cm;
- des tiges additionnelles sont ajoutées lorsque la profondeur d'échantillonnage le requiert; les filets des jonctions sont recouverts de ruban de teflon pour assurer l'étanchéité;
- l'échantillonnage terminé, la poignée est vissée à l'extrémité supérieure de la tige pour en faciliter le retrait.

Le volume de gaz prélevé atteint facilement 25 ml lorsque la prise d'échantillon est facile. Le prélèvement peut être difficile lorsque des couches de résidus plus fins, contenant plus d'eau, sont rencontrées. Il peut alors être nécessaire de retirer la tige et d'en nettoyer la pointe pour qu'elle retrouve son efficacité.

En s'approchant de la surface de la nappe phréatique, le volume de gaz prélevé doit être diminué pour les raisons suivantes:

- pour minimiser l'impact de la succion sur l'équilibre hydrogéologique et éviter ainsi la migration d'eau vers la pointe perforée, puisque la tension superficielle est moindre que dans la zone près de la surface du sol;
- pour avoir un échantillon représentatif du milieu, car le volume des pores remplis de gaz devient de plus en plus petit à mesure que l'on s'approche de la zone saturée.

Des couches de résidus miniers fortement consolidées ou durcies ont été rencontrées aux stations 2 et 7. Pour les perforer, il a été nécessaire d'utiliser une perceuse à ciment alimentée par une génératrice à laquelle était fixée une tige cylindrique en acier inoxydable de 0.6 cm de diamètre munie d'une mèche de 20 cm de long.

4.2.1..2 Mesure

La composition de la phase gazeuse a été déterminée sur un chromatographe à gaz Varian 3300 muni d'un détecteur de conductivité thermique et d'un injecteur à double boucles permettant l'analyse d'échantillons à volumes et pressions comparables, en utilisant comme gaz porteur l'hélium. Avec les colonnes suggérées par le fabricant pour opérer dans les conditions qui lui avaient été spécifiées, il a été possible d'ajuster les pressions, débits et température pour définir un programme isotherme de huit minutes permettant la détermination des gaz O₂, CO₂, CO, CH₄ et N₂. Les chromatogrammes étaient recueillis et dépouillés avec l'intégrateur "Star" distribué par le manufacturier.

L'analyse des gaz prélevés à une station se faisait la journée même dans un laboratoire temporaire sur place pour minimiser les risques de contamination atmosphérique des seringues d'échantillons. Un standard était analysé avant et après chaque série d'analyse.

4.2.2 Résultats

Certains niveaux de résidus plus saturés en eau requérait une succion telle qu'il pouvait y avoir des contaminations de l'échantillon par les gaz atmosphériques. Les échantillons ainsi contaminés pouvaient être reconnus et écartés, ces échantillons correspondant habituellement à des volumes prélevés faibles et des proportions de O₂ anormalement élevées. Le taux de rejet était de l'ordre de 10 %. Les 254 analyses retenues fermaient en moyenne à 100.13 %, avec un écart-type de 2.65. Les profondeurs maximum d'échantillonnage pouvaient être aussi faibles que 20 cm, et aussi grandes que 4.60 m, dépendant des teneurs d'eau rencontrées.

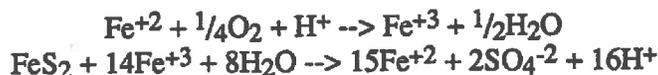
Les résultats des analyses sont consignés en Appendice 3. Les données de O₂, CO₂ et CH₄ sont illustrées sous forme de profils pour chacune des 7 stations à la Figure 15. Les gaz n'ont pu être déterminés à la station LI-1, la teneur en eau des résidus étant trop élevée.

Les proportions de O₂ ne dépassent les 5% que dans les 40 à 60 cm supérieurs des résidus. C'est d'ailleurs dans cette zone que l'on constate une oxydation visible (rouille) des particules (Fig. 10). La diminution d'oxygène est attribuable à son utilisation dans les réactions suivantes:

oxydation de la pyrite:



oxydation catalysée par Thiobacillus ferrooxidans:



Les profils d'oxygène sont très semblables d'une station à l'autre, malgré les différences de localisation et de granulométrie. Ce n'est pas le cas pour les autres gaz, ce qui démontre l'importance de l'interaction des produits de l'oxydation avec les particules minérales.

Les proportions de CO₂, en général, augmentent de valeurs nulles dans les premiers 50 centimètres à des valeurs de près de 50 % à 2 m sous la surface de la station 1. La station 4 montre toutefois un enrichissement faible, inférieur à 4 %. Les profils des stations 3 et 6 sont plus difficiles à évaluer, compte tenu des profondeurs réduites de l'échantillonnage. Le CO₂ résulte vraisemblablement de la dissolution de carbonates (ankérite, dolomite, calcite...) sous l'action de l'eau acide générée par l'oxydation des résidus. Pour la calcite:



A la station 4, il est probable que le contenu en carbonate ait été faible à l'origine ou consommé plus rapidement qu'ailleurs par cette réaction.

A part N₂, le seul autre gaz observé est le CH₄, dans des proportions restant toutefois inférieures à 5 % et souvent sous le seuil de détection. Présent à des profondeurs aussi faibles que 30 cm, les proportions de ce gaz augmentent également avec la profondeur. Il résulte probablement d'une méthanogenèse affectant les matières végétales enfouies sous le site, suivant la réaction:



Les variations de composition entre périodes estivales et automnales ne sont pas systématiques (Fig. 16). O_2 augmente clairement aux stations 2, 3 et 7, mais diminue tout aussi nettement aux stations 1 et 6. Les tendances sont encore moins claires pour CO_2 . Seules les variations de méthane augmentent systématiquement. Il s'agit possiblement du résultat de la diffusion vers le haut des profils générés plus tôt au cours de la saison (Fig. 15).

4.3 Eaux interstitielles

Les eaux interstitielles en contact avec le matériel particulaire ont été échantillonnées avec des dispositifs différents, dans la zone vadose et dans la zone saturée (Fig. 12). Le traitement était le même au niveau de la prise des données.

4.3.1 Méthodologie

4.3.1.1 Échantillonnage

Zone vadose

Les eaux interstitielles de la zone vadose ont été échantillonnées en prélevant des résidus miniers dans des tubes d'aluminium de 7 cm de diamètre intérieur par la suite sectionnés et mis sous presse. Quatre techniques excluant l'utilisation d'eau ou d'air et minimisant le dérangement des échantillons ont été utilisées:

- un essai a été réalisé au début d'août avec une foreuse portative Pionjar fonctionnant par vibration; la récupération était bonne à la station 6, relativement bien saturée en eau, mais la pénétration était trop difficile dans les résidus plus grossiers et plus secs, d'où l'abandon de cette méthode;
- les sept stations ont été échantillonnées systématiquement par battage du 26 au 29 août; les longueurs de tubes requises étaient insérées successivement dans le trou formé, maintenu par la seule cohésion des résidus;
- le deuxième échantillonnage systématique des sept stations, du 22 au 24 octobre, a été réalisé à l'aide d'une tarière creuse; les tubes étaient enfoncés par pression hydraulique au centre de la tarière, celle-ci étant descendue progressivement dans les résidus jusqu'au niveau non échantillonné après chaque prise de carotte;
- l'échantillonnage de la station Li-1 a été effectué manuellement en enfonçant horizontalement, à la masse, des tubes de 20 cm dans la paroi d'une tranchée.

Les longueurs carottées par battage ou par pression hydraulique étaient de l'ordre de 60 à 70 cm, cette longueur occasionnant un minimum de compaction, en particulier lors des

prélèvements près de la surface. À 0.5-1.0 m de la nappe phréatique, des longueurs de 1 à 1.5 m étaient enfoncées, avec à l'extrémité un panier de rétention à ouverture flexible. La récupération était en effet difficile dans la frange capillaire, et on observait parfois une meilleure récupération avec de plus grandes longueurs. Dans tous les cas, chaque carotte était scellée avec des bouchons de polystyrène expansé enrobés d'une pellicule de plastique ou d'une membrane de polyéthylène, pour éliminer tout contact avec l'oxygène. Après le carottage complet d'une station, les carottes étaient transportées immédiatement au laboratoire temporaire pour en extraire l'eau.

Le dispositif d'extraction d'eau utilisé est illustré à la Figure 17. Il consiste en une presse actionnée par un cric hydraulique muni d'une jauge de pression acceptant des segments de tuyaux de l'ordre de 20 cm de longueur. Un piston de Delrin™ presse le résidu contre un socle également de Delrin™ percé d'un conduit menant à un port de prélèvement. Les deux pistons sont munis de joints toriques. Un filtre de papier et une plaque de Delrin™ perforée coupe l'accès du résidu au conduit du socle. L'eau est échantillonnée à chaque fois dans une seringue neuve de 60 ml munie d'un porte-filtre et d'un filtre en acétate de cellulose de 0.45 µm branchée au port de prélèvement par l'intermédiaire d'un tube Tygon™ muni d'un fermoir.

Les procédures étaient les suivantes:

- les carottes étaient coupées en sections d'environ 20 cm; immédiatement après la coupe, le Eh du sol de l'extrémité la plus profonde était mesuré;
- environ 2 cm de résidus étaient enlevés pour insérer, dans l'ordre, le filtre de papier, la plaque perforée et le socle à une extrémité, et le piston à l'autre extrémité;
- une pression pouvant aller jusqu'à 2500 lbs/pouce² était appliquée progressivement au piston, en stabilisant à des paliers successifs de 500 lbs/pouce² ;
- l'eau extraite était divisée en deux parties; la première partie était destinée aux mesures sur place du pH, du Eh, de Fe²⁺ et de la température, ainsi qu'aux mesures d'anions par le Centre de Recherches minérales; la deuxième partie était destinée à l'analyse des cations, également par le Centre de Recherches minérales;
- afin d'éliminer toute précipitation, les échantillons pour les analyses de cations étaient acidifiés avec 1 ml d'HCl concentré;
- les échantillons ont été conservés au réfrigérateur jusqu'au moment de leur expédition dans une glacière au laboratoire d'analyse.

Il pouvait arriver qu'aucun liquide ne s'écoule malgré la pression appliquée. C'est ce qui arrive avec des sédiments grossiers, dans lesquels la pression est entièrement absorbée par les particules, laissant des pores vides occupées par l'eau interstitielle. Il fallait alors ajouter dans la partie supérieure du cylindre un liquide immiscible (Paraplex G-62, un "epoxy plasticizer" de Rohm et Hass, Toronto). Un second pressage provoquait l'infiltration du

liquide immiscible qui repoussait dans la plupart des cas suffisamment d'eau interstitielle vers le port de prélèvement pour qu'elle puisse être récupérée et analysée.

Zone saturée

L'échantillonnage des eaux interstitielles de la zone saturée s'est faite par l'intermédiaire de piézomètres installés à diverses profondeurs. Les piézomètres utilisés, composés de PVC, mesuraient 3 cm de diamètre extérieur et comportaient deux sections. La première mesurait 33 cm de longueur et se terminait par une pointe conique (Fig. 18). Elle était crépinée sur 22 cm avec des fentes de 0.5 mm à tous les 0.5 cm et contenait une gaine poreuse de 50 µm filtrant les particules. La section crépinée se vissait dans des sections de 1.5 ou 3.0 m de longueur, un joint torique assurant l'étanchéité de la jonction. L'extrémité sortant du sol était percée latéralement pour permettre la ventilation de la colonne d'air avec les changements de pression atmosphérique, et recouverte d'un bouchon rigide pour prévenir les infiltrations d'eau.

L'installation a été faite en août, manuellement, avec l'aide d'un marteau cylindrique, dans deux types de trous. Les uns, isolés les uns des autres, avaient été percés avec une tige d'acier de 2.5 cm de diamètre jusqu'à 50 cm au-dessus de la profondeur prévue d'installation, avec une foreuse portative Pionjar fonctionnant par vibration. Les autres étaient les trous laissés par l'échantillonnage par battage de la zone vadose. Ces derniers pouvaient accueillir jusqu'à 3 piézomètres. L'espace résiduel était comblé avec de la silice jusqu'à environ 1 m de la surface, celle-ci étant recouverte de bentonite puis de résidus miniers (Fig. 18). En résumé, les piézomètres installés se répartissaient comme suit:

Station	Piézomètres	Profondeurs d'installation (m)
1	3	2.94 à 4.50
2	6	6.76 à 7.46
3	5	0.69 à 2.40
4	5	2.68 à 4.23
5	3	3.03 à 4.16
6	9	0.92 à 2.04
7	3	3.67 à 4.96

Les piézomètres étaient purgés la veille ou la journée même de leur échantillonnage. Les prélèvements se faisaient avec un tube Tygon™ connecté à une pompe péristaltique Geopump-2 alimenté par une batterie de 12 volts. La décharge était connectée à un porte-filtre contenant un filtre jetable de 0.45 µm de 12 cm de diamètre, l'eau étant recueillie dans une seringue à chaque fois neuve de 60 ml munie d'un deuxième filtre de 0.45 µm. Les

volumes d'eau impliqués permettaient la détermination de paramètres additionnels à ceux des eaux de la zone vadose, d'où les subdivisions suivantes:

- une partie destinée aux mesures sur place du pH, du Eh et de la température, de même que de Fe^{2+} dans le laboratoire temporaire;
- une partie pour l'analyse des cations, également par le Centre de Recherches minérales, acidifiée avec 1 ml d'HCl concentré et conservée au réfrigérateur jusqu'au moment de l'expédition dans une glacière;
- une partie pour la mesure de la conductivité;
- une partie pour la détermination de l'alcalinité.

4.3.1.2 Mesure

Eh et pH

Les mesures de pH ont été faites avec un potentiomètre portatif Orion modèle 250A muni d'une électrode Orion Triode™ modèle 91-57BN en mode pH et d'une électrode Orion modèle 9678BN en mode Eh. Avant chaque série de mesures, le potentiomètre était calibré avec des tampons de pH 4 et 7 en mode pH, et contrôlé avec une solution de dichromate de potassium de 200 mV en mode Eh. Les mesures étaient effectuées sur le terrain dans le cas des eaux de la zone saturée, et dès leur extraction dans le cas des eaux extraites des résidus. Le Eh des résidus était estimé tout simplement en enfonçant l'électrode 3 à 4 cm sous la surface des échantillons.

Fe²⁺

Le fer ferreux a été déterminé par titrage redox avec une solution de dichromate de potassium et un titrateur automatique Mettler modèle DL-25 équipé d'une électrode Mettler DM 140-SC. Les concentrations de Fe^{2+} étaient calculées à partir du point d'inflexion maximum de la courbe de titration dressée par l'ajout progressif de titrant. Ce point d'inflexion peut être délicat à trouver à faibles concentrations de Fe^{2+} , surtout si l'on veut doser du fer dans des concentrations variant entre quelques dizaines de ppm et quelques dizaines de milliers de ppm. La méthode élaborée visait à limiter le volume des incréments de titrant et à ajouter ces incréments après des intervalles relativement longs, ou après que les variations de potentiel provoquées par l'addition de titrant soient tombées à un faible niveau, afin de bien démarquer l'inflexion. Avec un titrant concentré à 1000 ppm et des volumes d'inconnus à doser de 0.5 ou 1.0 ml, on obtenait des résultats reproductibles à moins de 5 % pour des valeurs de 30 à 10 000 ppm en limitant les incréments de titrant à 0.1 ml ou au volume requis pour provoquer une différence de 4 mV (ce dernier volume étant calculé automatiquement par le titrateur), et en ajoutant les incréments après que les variations de potentiel observées soient inférieures à 0.5 mV/s, ou après 1.5 s (0.25 mV/s ou 3 s, pour une

plus grande précision). Les dosages étaient effectués en duplicata sur des volumes fixes de 0.5 ou 1.0 ml prélevés à la pipette à piston volumétrique et ajoutés à environ 40 ml d'une solution de H_2SO_4 0.1M, sur le terrain, dans le cas des eaux de la zone saturée, ou immédiatement après l'extraction, dans le cas des eaux interstitielles de la zone vadose. L'absence de convergence des deux déterminations était interprété de deux façons. Les courbes de titration avec de grandes variations de potentiel correspondant à des incréments de grands volumes de titrant montraient que les capacités de dosage du titrant étaient excédées. Les déterminations étaient reprises en diluant pour obtenir des prises équivalent à 0.05 et 0.1 ml. Des incréments de faibles volumes de titrant sur les courbes de titration reflétaient une valeur sous la limite de détection, évaluée à 50 ppm. La sensibilité de la méthode était augmentée et les déterminations reprises, les dosages pouvant évaluer alors des concentrations aussi faibles que 20 ppm.

Conductivité

La conductivité a été mesurée avec un conductivimètre YSI-33. Le volume important de liquide requis pour immerger l'électrode limitait cette mesure aux fluides autres que ceux de la zone vadose. La précision en fonction de l'échelle de mesure est donnée ci-dessous.

Conductivité (μmohs)	Précision (μmohs)
0 à 500	± 5
0 à 5 000	± 50
0 à 50 000	± 500

Alcalinité

L'alcalinité a été déterminée avec un nécessaire de terrain commercial (Orion Total Alkalinity Test Kit). Le test requérant 100 ml de solution, cette mesure n'a pu être appliquée aux eaux interstitielles de la zone vadose. Ce test est basé sur la réaction de plusieurs acides avec les composés alcalins présents dans l'échantillon, le pH mesuré après l'addition de réactifs correspondant à une valeur unique d'alcalinité exprimée en ppm $CaCO_3$. Dépendamment de l'alcalinité anticipée de la solution, la quantité ajoutée de réactif varie. Les volumes de réactifs requis et la précision de l'alcalinité obtenue selon les fourchettes d'alcalinité sont données ci-dessous.

Fourchettes d'alcalinité	Volume d'échantillon (ml)	Volume de réactifs (ml)	Précision (ppm CaCO ₃)
0-25 ppm	100	1	± 0,5
0-225 ppm	100	10	± 5
> 225 ppm	10 ml dilué à 100 ml	10	± 5

Avant chaque série d'analyses, la qualité des réactifs était vérifiée avec un standard de 0.001M Na₂CO₃.

Température

Les températures ont été prises avec le potentiomètre à l'occasion de la mesure du pH (précision de ± 0.1°C) ou avec le conductivimètre (précision ± 0.5°C).

Anions et cations

Les analyses étaient sous la responsabilité du Centre de Recherches minérales. Les cations ont été déterminés par spectrométrie d'absorption atomique au plasma, l'arsenic étant toutefois dosé par génération d'hydrure-SAA.

4.3.2 Résultats

4.3.2.1 Sommaire de l'échantillonnage

Quelques données sur l'échantillonnage apparaissent au Tableau 2. Que ce soit par battage ou par pression hydraulique, la récupération de résidus s'est avérée semblable, de l'ordre de 75 %, avec des bas à 50 % dans des sédiments plutôt saturés en eau. La différence essentielle est dans la stabilité des parois du forage. Le forage par tarière élimine la possibilité de retombée de résidus dans le trou du forage, ce qui prévient la présence de contaminants et permet une comptabilité exacte de la profondeur d'échantillonnage des résidus. Il était en effet fréquent de retrouver quelques centimètres de résidus oxydés manifestement allochtones au sommet des carottes obtenues par battage. De plus, la tarière creuse a permis d'échantillonner à une plus grande profondeur sous le niveau de la nappe phréatique, en moyenne 1.37 m vs 0.96 m.

Un total de 231 échantillons d'une longueur moyenne de 19 cm a été récupéré. Les volumes d'eau extraits variaient de 0 à 50 ml, correspondant concrètement à des volumes suffisant pour les déterminations de Eh et pH dans 175 échantillons (76 %), et de cations dans 173 échantillons (75 %). Tous les échantillons recueillis étaient des résidus miniers. Des brindilles dans les échantillons les plus bas du sondage ST-7 indiquaient la proximité du

substrat à 5.1 m à cette station. Le substrat argilo-silteux de la station 6 avait été rencontré à environ 2.40 m dans le forage d'essai à la Pionjar.

4.3.2.2 Sommaire des résultats d'analyse

Une précipitation importante d'hydroxydes de fer survenait dans les liquides non-acidifiés. À cause des phénomènes d'adsorption communément associés à ces hydroxydes, aucune analyse d'anions n'a pu être effectuée. Le contenu en SO_4^{2-} a toutefois été évalué en assumant une spéciation du soufre essentiellement sous cette forme dans l'analyse des fluides acidifiés. Les cations analysés étaient Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, $\text{Fe}(\Sigma)$, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, SO_4 , W et Zn.

As, Cr et W ont été exclus des profils et des calculs statistiques à cause du faible nombre de valeurs dépassant les limites de détection. Al a été également écarté, les comparaisons échantillons de tubes d'aluminium/échantillons de piézomètres montrant une forte contamination par le médium d'échantillonnage. Eh-eau a été utilisé plutôt que Eh-sol dans le traitement des données parce que cette mesure était disponible pour l'eau interstitielle de la zone saturée échantillonnée par piézomètres. On notera toutefois que les mesures sur solide et sur liquide du même échantillon montrent une certaine divergence dans le domaine des Eh réducteurs, Eh-eau étant plus élevé (Fig. 19). Fe^{+2} a été préféré à $\text{Fe}(\Sigma)$ à cause de sa relation avec les conditions redox du milieu échantillonné. Par ailleurs, la corrélation est excellente entre ces deux paramètres (Fig. 19). L'alcalinité et la température ont été mesurées pour fins de modélisation géochimique, de telle sorte que les résultats de cette nature sont discutés dans la section concernant ce point.

La matrice de corrélation des paramètres retenus est donnée au Tableau 3. On peut noter que:

- le comportement de chacun des éléments Ca, K et Na est plutôt indépendant de tous les autres;
- Eh-eau montre une corrélation inverse avec le pH;
- SO_4 montre une corrélation avec une paire assez forte, Mg et Mn, ce dernier élément variant également avec le Fe;
- le pH varie inversement avec les métaux Cd, Co, Cu, Ni, Pb, le comportement de trois de ces éléments montrant également une corrélation avec Zn.

Les résultats d'analyses des eaux interstitielles sont donnés aux Appendices 4 (pH, Eh et Fe^{+2}) et 5 (cations et SO_4) et illustrés aux Figures 20 (pH, Eh-sol, Eh-eau) et 21 (Ca, SO_4 ; Fe^{+2} , Mn, Mg; Pb, Cu, Zn; Co, Cd, Ni). Les profondeurs mentionnées dans les Appendices et illustrées dans les figures sont les profondeurs de prélèvement des échantillons

calculées indépendamment de la compaction subie par les résidus lors de leur échantillonnage afin de permettre une comparaison été/automne. L'étendue des variations est très grande à cause de la distribution log normale de la plupart des variables. Les résultats sont donc présentés suivant une échelle logarithmique, à l'exception du pH, du Eh et de Ca dont les distributions sont normales. Afin d'assurer une continuité graphique dans les profils, des points équivalents arbitrairement à la moitié de la limite de détection de l'élément mesuré ont été tracés lorsque des valeurs sous les seuils de détection étaient rapportés.

4.3.2.3 Variations été/automne

Les résultats obtenus à l'automne diffèrent peu de ceux de l'été. En effet, les diagrammes dans lesquels les résultats obtenus en août à une profondeur "x" sont comparés à ceux obtenus en octobre à la profondeur "x" \pm 15 cm ne montrent qu'un déplacement négligeable ou très faible du nuage de points par rapport à une ligne idéale d'iso-valeurs (Fig. 22). Les variations les plus apparentes d'octobre par rapport à août concernent le potassium (augmentation) et certains métaux (diminution de Fe, Pb, Cu et Zn). Ces tendances n'ont rien de systématique, car si les variations relatives de K, Fe, Pb, Cu et Zn sont nettes dans les stations 2 et 7 (occasionnellement 3), les profils d'août et d'octobre des stations 4 et 5 pour les mêmes éléments auraient plutôt tendance à se confondre (Fig. 21). Compte tenu de ces observations, la présente discussion ne tient aucunement compte des différences de période d'échantillonnage.

4.3.2.4 Variations dans des profils verticaux

L'examen de la Figure 23 montre que le regroupement des profils verticaux présentant des affinités implique sensiblement les mêmes éléments que ceux groupés dans la matrice de corrélation. Le Tableau 4 donne une idée de l'importance des variations entre zones vadose et saturée dans ces profils.

Eh et pH

Eh et pH varient indépendamment des autres paramètres et en fonction inverse l'un de l'autre.

Le Eh passe assez progressivement de valeurs de l'ordre de 400 à 500 mV en surface pour diminuer et se stabiliser à des valeurs communément inférieures à 100 mV dans la zone saturée. Le gradient est beaucoup plus prononcé pour les stations 3 et 6.

Les variations du Eh sont attribuables à l'isolement du milieu d'enfouissement du réservoir d'oxygène atmosphérique, le potentiel redox diminuant en l'absence de cet oxydant

commun. Les conditions réductrices sont atteintes plus rapidement aux stations 3 et 6, le degré de saturation des résidus fins de ces sites étant plus élevé et la nappe plus haute.

Le pH passe de valeurs aussi faibles que 2.00 à des pH presque neutres ou même nettement alcalins dans la zone saturée. L'augmentation avec la profondeur est la plus rapide dans le cas des stations 3 et 6. Elle est la moins rapide dans le cas de la station 2, mais la zone vadose est tellement importante dans ce cas que des pH pratiquement neutres sont atteints dans la zone saturée (6.25: Tab. 4). La situation est plus critique à la station 5, où l'augmentation est relativement lente et la nappe relativement élevée, de sorte que le pH moyen de la zone saturée est le plus faible de toutes les stations à 4.60 (Tab. 4).

En l'absence de mécanismes générateur d'acidité autre que l'oxydation des sulfures, près de la surface des résidus, le pH ne peut que rester stable ou augmenter, s'il y a neutralisation par interaction avec le matériel particulaire. La présence de bulles de dégazement dans les résidus (Fig. 10E et F) et celle de CO₂ dans les gaz interstitiels (Fig. 15) ont été interprétées précédemment comme une évidence de dissolution de carbonates au contact de fluides acides. L'augmentation de pH est donc probablement attribuable à ce mécanisme. De fait, si l'on excepte les stations 3 et 6 où le degré de saturation en eau rendait le prélèvement des gaz difficiles, les stations 4 et 5 sont celles où les proportions de CO₂ observées étaient le moindre (max. de 5 à 10 %, vs 20 % et plus aux autres stations), et où les pH de la zone saturée sont les plus acides, avec des moyennes de 5.46 et 4.60. Les stations 4 et 5 ont été implantées à proximité d'anciennes digues. L'oxydation et l'acidification conséquente ont donc profité d'un matériel relativement grossier de perméabilité plus grande facilitant la percolation des fluides liquides et gazeux et favorisant la dissolution d'une grande partie des carbonates présents, en particulier les carbonates les plus réactifs. Les stations 2 et 7 ont également été implantées en marge de digues, mais en périphérie du parc. À ces endroits, l'épaisseur de la zone vadose est suffisante pour que du matériel réactif subsiste en quantités suffisantes, d'où la neutralisation actuelle de l'acidité.

L'altération des aluminosilicates peut être un facteur de neutralisation de l'acidité. Cependant, le profil des éléments susceptibles d'être libérés par cette altération (K, Na) ne suivent pas le comportement du pH, ce qui suggère que ce mécanisme compte pour peu dans l'augmentation des pH.

SO₄, Fe et Mn

À part les ions H⁺, les deux autres principaux ions libérés lors de l'oxydation de la pyrite sont Fe⁺² et SO₄²⁻. Ces deux espèces sont caractérisées dans la majorité des profils (ST1, 2,

6 et 7) par une augmentation progressive culminant un peu au-dessus de la nappe phréatique, suivie d'une diminution au sein de la nappe. Aux stations 4 et 5, l'augmentation ne devient significative que bas dans les profils, et le maximum atteint est conservé dans la nappe. La station 3 montre plutôt des diminutions. Dans tous les cas, Mn^{+2} est relativement plus enrichi que Fe^{+2} dans la partie supérieure des profils, mais les augmentations sont moindres, de telle sorte que la forme des profils de Mn^{+2} épouse celle des profils de Fe^{+2} depuis un point un peu en haut de la nappe phréatique et jusqu'au bas du profil d'échantillonnage.

L'enrichissement en Fe^{+2} et en SO_4^{-2} est un reflet direct de l'oxydation des sulfures. Cet enrichissement s'observe à des profondeurs atteignant communément 1 à 2 m, et même 4 m dans le cas de la station 2 (Fig. 21), i.e. des profondeurs où la proportion d'oxygène gazeux a rejoint le bruit de fond (Fig. 15). Il est probable que l'oxydation se fasse à ces profondeurs par utilisation de l'oxygène dissous dans l'eau de pluie. Les diminutions affectant par la suite simultanément ces deux éléments suggèrent leur co-précipitation dans une phase minérale commune (e.g. mélantérite: sulfate de fer hydraté). Cependant, toute une gamme de métaux accompagnent la diminution de Fe^{+2} , ce qui suggère que des phases d'oxydes-hydroxydes de fer puissent être également stabilisées.

L'enrichissement tardif en fer aux stations 4 et 5 est probablement un autre reflet de l'altération importante subie par les résidus de ces stations, comme le suggérait déjà le lessivage des carbonates discuté plus haut à propos des capacités moindre de neutralisation des pH acides à ces stations. Les valeurs stables du fer et des autres métaux à ces stations suggèrent que les pH sont suffisamment acides pour prévenir les précipitations d'oxydes-hydroxydes évoquées plus haut.

À la station 3, la zone d'enrichissement est probablement trop réduite pour la capacité de résolution de nos profils, à cause du degré de saturation d'eau élevé de ces résidus et de la profondeur très superficielle de la nappe. Les conditions provoquant les diminutions observées ailleurs à la base des profils sont apparues plus rapidement à cet endroit, d'où décroissance seulement.

L'association Fe-Mn va de soi, compte tenu des affinités géochimiques naturelles de ces deux éléments. Une mise en solution plus rapide de Mn par rapport à Fe avec la diminution du potentiel redox explique les profils plus enrichis au sommet de la zone vadose.

Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn

Les profils de Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn montrent des profils s'apparentant à ceux du fer et du manganèse: enrichissement et stabilisation avant l'atteinte de la nappe phréatique, puis éventuellement diminution dans la nappe, avec, comme pour Fe et Mn, exceptions pour les stations 4 et 5. Les maxima peuvent coïncider à des positions plutôt hautes (ST1 et 6), plutôt basses (ST2) ou intermédiaires (ST4) dans les profils, mais peuvent également se trouver décaler les uns par rapport aux autres (ST5). La station la plus complexe est la station 7, où un enrichissement inhabituellement très rapide peut avoir été manqué par des points de contrôle trop espacés au sommet du sondage. Dans ces profils, Cu et Cd diminuent dès la zone vadose, au contraire des autres métaux.

Les éléments discutés accompagnent l'altération des sulfures. Leur mobilité différente sous différentes conditions physico-chimiques explique les décalages mutuels ou par rapport au fer dans les différents profils. Ces métaux s'adsorbent facilement aux oxydes-hydroxydes de fer, d'où les diminutions accompagnant la baisse du fer dans la plupart des stations.

Ca, K, Na

Le calcium et les alcalins auraient un comportement plutôt autonome, si l'on en croit la matrice de corrélation (Tab. 3). C'est effectivement le cas pour Ca, pour lequel un enrichissement est suivi d'une stabilisation (ST1, 2, 4, 5 et 7) puis d'une autre augmentation (ST1 et 2) ou d'une diminution (ST5, 6 et 7). La décroissance est continue à la station 3. L'enrichissement en calcium est assimilable à la dissolution de carbonates. Les profils se stabilisent cependant relativement rapidement, alors que la neutralisation du pH acide se continue jusque dans la nappe. Il est donc probable que des néoformations contrôlent ces concentrations, par exemple la précipitation de gypse, comme le suggère le parallélisme fréquent de Ca et SO₄. Cependant, le sulfate est également utilisé pour la formation d'autres phases, ce qui peut expliquer l'apparition d'une sous-saturation et d'une reprise de l'enrichissement aux stations 1 et 2.

Les alcalins montrent des variations plutôt neutres par rapport aux autres profils. L'enrichissement est très graduel, exception faite de la station 1. Vraisemblablement issus de l'altération des aluminosilicates, ces faibles variations tendent à démontrer le rôle mineur des aluminosilicates dans la réduction du niveau d'acidité.

5. HYDROGÉOLOGIE DU SITE

L'objet principal de cette section est de caractériser l'écoulement pour estimer le débit de masse migrant vers l'extérieur du parc à résidus miniers. A cette fin, la conductivité hydraulique et le gradient hydraulique ont été déterminés en divers points.

5.1 Méthodologie

Des piézomètres ont été installés pour déterminer la distribution du potentiel hydraulique servant à établir la direction de l'écoulement et les gradients hydrauliques. Certains piézomètres ont servi également pour les "slug tests" afin d'estimer la conductivité hydraulique *in situ*. Le nivellement des piézomètres permet d'établir une distribution relative du potentiel hydraulique.

5.1.1 Installation des piézomètres et nivellement

En tout, 101 piézomètres en PVC de 3 cm de diamètre extérieur ont été installés dans le parc de résidus miniers et ses alentours (Fig. 2). La description des piézomètres et de leur installation est donnée à la section 4.3.1. Le nombre de piézomètres installés à chacune des stations et des lignes se résume comme suit:

Station	Nombre total de piézomètres	Ligne	Nombre total de piézomètres
1	3	1	27
2	6	2	9
3	5	3	6
4	5	4	10
5	3	5	15
6	9		
7	3		

Nous avons aussi installé 7 piquets dans des marécages avec l'aide d'une masse afin de mesurer les variations du niveau d'eau. Les 7 piquets ont été préalablement peints à tous les centimètres en alternance de jaune et de noir.

5.1.2 Prise de niveau d'eau et nivellement

Les mesures de niveau d'eau ont été prises avec une sonde de marque GENEQ. La précision est de ± 0.5 cm.

Le nivellement des piézomètres et des piquets a été sous-contracté à la firme Sylvestre, Deslauriers, Julien et Leclerc de Val d'Or. L'élévation a été déterminée par nivellement différentiel 23-24. Tous leurs cheminements ont été fermés et ils ont maintenu une précision de l'ordre de ± 0.015 cm. Le repère pour le nivellement est une tige d'acier fixée dans la dalle de béton située immédiatement à l'est de l'ancien chevalement de la mine.

5.1.3 Conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique a été estimée à partir de données d'un "slug test". Ce test consiste à analyser le temps de réponse à un changement instantané du niveau d'eau dans un piézomètre. Les étapes sont les suivantes:

- on mesure le niveau d'eau dans le piézomètre, H (Fig. 24);
- on pompe très rapidement un volume donné (V) d'eau du piézomètre; à la fin du pompage, on mesure immédiatement le niveau d'eau; ce niveau est considéré comme le niveau initial, H_0 , au temps $t=0$;
- on note le niveau d'eau à interval régulier d'une à deux minutes; à mesure que les incréments du niveau d'eau dans le temps sont faibles, l'interval entre les mesures est accru jusqu'à 4 minutes.

La méthode de Hvorslev (1951) est utilisée pour interpréter le recouvrement du niveau d'eau suite au retrait d'un volume donné. Cette méthode est simple et couramment appliquée (Freeze et Cherry, 1979). Les hypothèses pour cette méthode sont: un milieu homogène, isotrope, le milieu est infini où l'eau et le sol sont incompressibles. Les niveaux d'eau sont normalisés par la différence entre le niveau initial, H_0 , et le niveau avant le début du test, i.e. H (voir Fig. 24). Les données sont représentées sur un graphique semi-logarithmique. L'équation de la pente permet de calculer le temps de réponse, T_0 , correspondant au recouvrement normalisé de 0.37. Lorsque le temps de réponse est trop long, la valeur de T_0 est obtenue par extrapolation. La conductivité hydraulique est calculée ainsi:

$$K = [r^2 \ln(L/R)] / (2LT_0) \quad (1)$$

où les paramètres sont identifiés à la Figure 24.

5.2 Résultats

5.2.1 Niveau d'eau et gradient hydraulique

Le niveau d'eau a été relevé à 5 reprises à toutes les stations et lors du prélèvement des échantillons de sol pour les analyses chimiques de l'eau interstitielle. Les résultats des niveaux d'eau relatif au repère de nivellement sont résumés au Tableau 4. La Figure 25 indique le niveau d'eau au 30 octobre, 1991 à chacun des points prélevés sur le parc. Le manque de piézomètres dans les zones sensibles telles qu'à la périphérie et au pourtour du parc, près des brèches, dans la zone au nord de la parcelle d'étude sur les copeaux, rend difficile l'établissement de l'écoulement. Il est toutefois possible d'indiquer la direction de l'écoulement horizontal dans le bassin le plus ancien et le bassin intermédiaire. L'écoulement est étoilé vers l'extérieur, comme indiqué par les flèches (Fig. 25).

On peut également estimer le gradient hydraulique vertical à chacune des stations et à certains points le long des lignes. Le Tableau 5 montre les gradients des 4 et 22 septembre, ainsi que du 30 octobre 1991. Un gradient positif indique un écoulement vers le bas. Des gradients élevés sont observés aux stations 1, 3 et 6, indiquant une zone de faible perméabilité, alors que les faibles gradients observés aux stations 2, 4, 5 et 7 indiquent une zone de perméabilité élevée. Dans la zone étudiée, l'écoulement se fait vers le bas au centre du site pour aller partiellement se décharger à la périphérie du parc et alimenter les étangs, comme l'indique des gradients au pied du parc. Une exception, cependant, est notée: le gradient au point LI-4-0 indique un écoulement vers le bas probablement, dû au fait d'une pluie récente et d'un milieu est très peu perméable.

5.2.2 Conductivité hydraulique

Des tests de recouvrement du niveau d'eau suite au retrait d'un volume donné a été fait sur les piézomètres avec les résultats suivants:

Station	Piézomètre	Profondeur de la partie supérieure de la membrane crépinée (m)	K (m/s)	T ₀ (min.)
1	P3	4.5	1.65E-03	47.0
2	P3	7.46	9.24E-03	8.4
3	P3	1.92	6.86E-04	113.1
4	P4	3.54	7.78E-05	998.3
5	P3	4.16	9.95E-03	7.8
6	P6	2.04	7.75E-05	1002.3
7	P3	4.96	1.24E-03	62.6

La Figure 26 montre le recouvrement du niveau d'eau à chacun de ces piézomètres. On observe deux milieux distincts: un milieu de conductivité hydraulique élevée (un temps de

réponse relativement rapide) dans la région des piézomètres ST-2-P3 et ST-5-P3, et l'autre beaucoup moins perméable dans la région des piézomètres ST-1-P3, ST-3-P3, ST-4-P4, ST-6-P6 et ST-7-P3. La conductivité hydraulique élevée à ST-2-P3 s'explique par sa situation à la périphérie du parc, là où la granulométrie est plus grossière. Pour les mêmes raisons, la réponse rapide du piézomètre de la station 5 s'explique par le fait que cette région était antérieurement située à la périphérie d'une section du parc. Le temps de réponse des piézomètres ST-1-P3, ST-3-P3, ST-4-P4, ST-6-P6 et ST-7-P3 est, contrairement aux piézomètres ST-2-P3 et ST-5-P3, long. La granulométrie très fine rencontrée au centre du parc explique la faible conductivité observée aux piézomètres ST-3-P3 et ST-6-P6. Le piézomètre ST-1-P3 est probablement situé dans le substrat naturel composé soit d'argile ou de silt, ce qui explique un temps de réponse long. Le piézomètre ST-4-P4, malgré sa situation dans une zone où antérieurement était à la périphérie du parc, le long temps de réponse indique l'intercalation de couches de sédiments fins et grossiers. L'observation visuelle des fractions particulières confirme cette intercalation de couches de sédiments. Le piézomètre ST-7-P3 est située à l'interface résidus et substrat naturel composé soit d'argile ou de silt, puisqu'un refus a été observé à la profondeur de 5.33 m lors du forage par marteau batteur. De plus, la différence de nivellement entre le niveau du sol au pied du parc et celui du parc à la station 7 est d'environ 5.0 m.

Les paramètres utilisés pour le calcul de la conductivité hydraulique, K, selon l'équation (1) sont:

Rayon du tube de PVC:	$r = 1.25 \text{ cm}$
Longueur de la partie crépinée:	$L = 23.0 \text{ cm}$
Rayon intérieur de la membrane poreuse:	$R = 0.509 \text{ cm}$

Le temps, T_0 , a été calculé en manipulant les équations des pentes de régression du recouvrement de la charge hydraulique (Fig. 26):

ST-1:	$0.37 = \exp(-0.020 T_0 - 0.054)$
ST-2:	$0.37 = \exp(-0.123 T_0 + 0.04)$
ST-3:	$0.37 = \exp(-0.009 T_0 + 0.24)$
ST-4:	$0.37 = \exp(-0.001 T_0 + 0.004)$
ST-5:	$0.37 = \exp(-0.135 T_0 + 0.06)$
ST-6:	$0.37 = \exp(-0.001 T_0 + 0.008)$
ST-7:	$0.37 = \exp(-0.016 T_0 + 0.007)$

Les valeurs de conductivité hydraulique de l'ordre de 10^{-5} m/s représentent des valeurs typiques d'un sable silteux, et les valeurs de 10^{-3} à 10^{-1} m/s d'un sable propre (Freeze et Cherry, 1979). Ce tableau montre également le temps, T_0 , utilisé dans le calcul de K.

5.2.3 Débit

L'estimation du débit de métaux dissous migrant du parc de résidus miniers vers l'environnement naturel permet de déterminer l'urgence de restaurer un site. Les concentrations de métaux connues, il faut établir la direction et le débit de l'écoulement de l'eau souterraine. Le débit de l'eau permet aussi de lier la cinétique des réactions géochimiques et le temps de contact entre les phases liquide et solide.

Le débit d'un écoulement est donné par la relation:

$$Q = -K \frac{dh}{dl} A \quad (2)$$

où Q est le débit [L^3/T], K la conductivité hydraulique du milieu poreux [LT^{-1}], dh/dl le gradient hydraulique et A la surface perpendiculaire à l'écoulement [L^2].

Le manque de données pour établir l'écoulement vu en plan ne nous permet pas d'estimer le débit horizontal. Toutefois, nous pouvons estimer le débit vertical aux stations 2, 3, 5 et 6, là où la conductivité hydraulique reflète celle des résidus miniers. En émettant l'hypothèse que la conductivité mesurée à la station 2 est représentative de celle des zones LI-1-0 et LI-5-0 vu leur proximité avec la station 2 et étant situées au pied du parc, nous pouvons estimer le débit vertical en ces deux points. Les débits verticaux par unité de surface spécifique de 1 m^2 sont:

Station et ligne	DÉBIT VERTICAL ¹		
	(m/s par unité de surface spécifique m^2) 4 sept.	22 sept.	30 oct.
ST 2	5.54E-04	-8.32E-04	3.70E-04
ST 3			1.51E-04
ST 5	9.95E-05	1.99E-04	-1.99E-04
ST 6	2.02E-05	4.03E-05	4.81E-05
LI-1-0			-9.24E-05
LI-5-0			-9.24E-05

De manière générale, le débit vertical est, comme prévu, vers le bas dans les zones du parc et vers le haut au pourtour du parc. Au pied du parc, dans la région sud-ouest, le débit est estimé à environ $-9.24E-5 \text{ m/s/m}^2$. Le débit dans le parc varie entre $3.70E-4$ et $2.02E-5 \text{ m/s/m}^2$. Ces débits sont calculés à partir de la conductivité hydraulique estimée par la méthode Hvorslev laquelle suppose un milieu homogène et isotrope. Dans le cas présent, l'alternance

¹ Un débit positif indique un débit vers le bas.

de couches de résidus de grosseur d'argile à un sable fin peut nous permettre de supposer que la conductivité hydraulique dans la direction verticale est d'environ le dixième de la conductivité horizontale. Ainsi, les débits mesurés sont conservateurs.

6. ÉTUDE DES INTERACTIONS GAZ-LIQUIDE-SOLIDE AU SEIN DU PARC

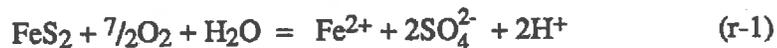
Dans cette section, nous résumons les principaux processus géochimiques qui contrôlent la génération et la neutralisation d'acidité. Les interactions entre les divers ions mis en solution par ces processus sont analysés suivant l'indice de saturation d'une gamme de minéraux calculé par le modèle géochimique de spéciation et de transfert de masse PHREEQE.

6.1 Réactions chimiques et relations entre profils

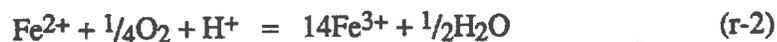
6.1.1 Oxydation des sulfures

Pour l'ensemble des sites, les profils de pH, Eh, Fe²⁺, SO₄²⁻ et des gaz sont conséquents à l'acidification causée par une oxydation des sulfures, comme on a pu le voir dans les sections portant spécifiquement sur la composition des gaz et des fluides. Le processus de cette oxydation est complexe et suit une série de réactions à la chaîne. Parmi ces réactions, certaines sont fréquemment catalysées par la bactérie *Thiobacillus ferrooxidans* (Dave et al., 1986). Plusieurs études ont examiné l'oxydation des sulfures de part leur importance des points de vue environnementaux et des procédés d'extraction des minerais (Lundgren et Silver, 1980, Lawson, 1982 et Nordstrom, 1982, in Blowes et al., 1990).

Comme mentionné précédemment lors de l'interprétation des profils de gaz, on peut résumer les réactions d'oxydation de la pyrite comme suit:



Le Fe²⁺ peut aussi être oxydé par l'oxygène. La réaction, catalysée par la bactérie *Thiobacillus ferrooxidans*, s'écrit:



Le Fe³⁺ peut aussi oxyder la pyrite comme suit:



Cette dernière réaction est aussi catalysée par *Thiobacillus ferrooxidans*.

La réaction r-3 montre que pour chaque molécule de pyrite oxydée, 16 ions d'hydrogène sont libérés. Cette réaction est le principale mécanisme de l'oxydation des sulfures dans des conditions de $\text{pH} < 4$ (Blowes, 1990).

L'observation des carottes et tranchées et l'abrupt déclin des profils d'oxygène entre 0.2 et 0.8 m témoignent bien de l'oxydation de la pyrite près de la surface du parc. Cette oxydation libère des ions Fe^{2+} , lesquels sont relativement mobiles dans les conditions de faibles pH. Les ions Fe^{2+} migrent principalement vers le bas dans la zone vadose du parc, et selon la direction de l'écoulement de l'eau souterraine dans la zone saturée. Une partie de cette eau souterraine riche en Fe^{2+} se décharge à la périphérie du parc dans des étangs. L'oxydation du Fe^{2+} par l'oxygène (réaction r-3) permet la précipitation de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, ce qui donne la couleur rougeâtre aux eaux de surface au pourtour du parc et déplace le pH à de faibles valeurs.

A mesure que l'oxydation de la pyrite évolue près de la surface du parc, les solutés se déplacent graduellement vers le bas jusqu'à la zone saturée. La somme des solutés produit par les réactions r-1, r-2 et r-3 indiquent une libération d'ions Fe^{2+} et H^+ . Les profils de Fe^{2+} des stations 1, 2, 6 et 7 montrent une augmentation graduelle en Fe^{2+} de la surface du parc avec la profondeur pour atteindre un maximum un peu au-dessus de la nappe phréatique suivi d'une baisse constante indiquant que la solution devient sursaturée avec un ou plusieurs minéraux. A l'inverse, le profil de la station 3 montre des diminutions. Les profils des stations 4 et 5 montrent quant à eux, une zone lessivée de fer près de la surface, puis la concentration en Fe^{2+} augmente graduellement pour atteindre un plateau indiquant que la solution pourrait être en équilibre avec une ou des phases minérales et/ou que la concentration maximale observée est l'état stationnaire du profil connecté à une source perpétuelle de Fe^{2+} située dans la zone vadose. Le développement plus prononcé de la zone de lessivage des stations 4 et 5 est un reflet de la conductivité hydraulique élevée à ces stations (par observation visuelle de la fraction particulaire et l'estimation de K au piézomètre ST-5-P3).

Les profils les plus développés reflètent une zone de lessivage plus longue et par conséquent les concentrations maximales plus élevées (par exemple, les stations 2 et 7). Ces zones se retrouvent en périphérie du parc où la zone vadose est profonde et la conductivité hydraulique élevée. A l'inverse, les profils les moins développés correspondent avec une zone de lessivage peu développée (par exemple, les stations 3 et 6). Ces zones se retrouvent

plus vers le centre, où les sédiments sont fins et par conséquent de conductivité hydraulique faible. De plus, les sédiments fins créent une frange capillaire plus épaisse, ce qui minimise davantage la zone d'oxydation de la pyrite.

6.1.2 Processus de neutralisation d'acidité

L'eau contenant une forte concentration de H^+ près de la surface du parc migre vers le bas et devient graduellement neutralisé par des réactions consommant les ions H^+ , telles que la dissolution de carbonates, comme le suggèrent les profils de CO_2 , suite à la réaction:



où $H_2CO_3 = CO_2 + H_2O$.

Les faibles concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} , ainsi que les teneurs en $CO_2(g)$, près de la surface du parc indiquent le lessivage des carbonates dans cette zone.

La neutralisation par la dissolution des carbonates augmente les concentrations en Ca^{2+} et en Mg^{2+} . Le profil de la station 3 fait exception à ce patron; la concentration en Ca^{2+} diminue avec la profondeur. A cette station, la zone de lessivage est peu développée puisque la surface de la nappe phréatique est élevée et que le milieu caractérisé de sédiments fins permet l'établissement d'une frange capillaire épaisse. Ces conditions limitent le lessivage de la pyrite et par le fait même la libération d'ions H^+ qui lessivent les carbonates.

La station où le pH reste le plus acide (ST-4) est effectivement celle où le CO_2 est le moins abondant. Les pentes des profils de pH et CO_2 semblent être fonction des quantités de carbonates résiduels présents dans les résidus.

D'autres mécanismes neutralisant, telles que la dissolution de minéraux d'aluminium de silicate, de minéraux d'hydroxyde de fer et d'aluminium, ainsi que l'adsorption des ions H^+ aux surfaces de minéraux ont été observées par Dubrovsky et al. (1984). Au parc East-Sullivan, nous pourrions qualifier ces mécanismes suite à l'analyse minéralogique.

Les réactions (r-1) à (r-4) décrivent l'oxydation de la pyrite et la neutralisation d'acide par la dissolution de la calcite dans un milieu de pH inférieur à 6. Selon ces équations, une mole de calcite neutralise un ion de H^+ libéré par l'oxydation d'une mole de pyrite. "Selon Siwik et al. (1987), si on considère les résidus non-oxydés possédant un contenu moyen en sulfure de 50% en poids et un contenu en carbonate de 1.5% en poids, et que l'on émet les hypothèses

que la porosité est constante et que les ions H^+ sont consommés uniquement par les carbonates, la longueur de l'écoulement nécessaire à neutraliser les ions H^+ libérés d'un mètre de résidus peut être calculé. Ce calcul indique qu'approximativement 25 m d'écoulement à travers les résidus sera nécessaire pour neutraliser l'acide libéré par l'oxydation totale 1 m de résidus. Ceci indique qu'au centre du parc où la nappe phréatique est élevée et l'écoulement est long, la neutralisation des ions H^+ libérés dans la zone vadose peut se réaliser. A la périphérie du parc, cependant, la nappe est substantiellement plus profonde et le parcours de l'écoulement dans la nappe est court, des eaux acides iront probablement se déverser dans les eaux de surfaces." (Blowes et al., 1990).

6.2 Équilibres chimiques et relations entre profils

6.2.1 Modèles géochimiques

Les équilibres chimiques entre les phases gaz-liquide-solide ont été calculés avec les modèles géochimiques de spéciation et de transfert de masse PHREEQE (Parkhurst et al., 1980) et PHRQPITZ (Plummer et al., 1988). Chacun des modèles calcule la spéciation des ions et des complexes, l'indice de saturation de certains minéraux, et la solution résultant d'un équilibre avec un ou des minéraux spécifiques. La différence entre ces modèles réside dans le calcul du coefficient d'activité.

Pour les solutions de force ionique faible, i.e. moins de 0.5 m, le modèle PHREEQE calcule le coefficient d'activité par: (1) la formule de Debye-Hückel, (2) la formule de Davis ou (3) la formule étendue de Debye-Hückel, dépendamment de la force ionique de la solution.

Pour les solutions de force ionique élevée, le modèle PHRQPITZ calcule le coefficient d'activité à partir des équations de Pitzer. Ces équations tiennent compte des interactions entre des ions spécifiques. Les paramètres d'interaction pour le système $Fe^{2+}-H_2SO_4-H_2O$, ont été développés par Reardon et Beckie (1987). Pour le système $Fe^{3+}-H_2SO_4$, ces paramètres ne sont pas encore connus et, il est donc impossible de calculer directement les équations de Pitzer pour le système de Fe^{3+} .

L'équation de Nernst permet cependant de calculer l'activité de Fe^{+3} connaissant celle de l'ion Fe^{2+} et le potentiel redox:

$$E_h = E_0 - 2.3(RT/nF)\log(a_{Fe^{2+}}/a_{Fe^{3+}}) \quad (3)$$

où E_0 est le potentiel redox dans les conditions standards, R la constante des gaz (0.001987 Kcal/°K/mole), F la constante de Faraday (96.5 Kcal/mole) et T la température absolue. Dans le cas présent, E_0 égale 0.77 volt. L'activité de l'ion Fe^{2+} est celle calculée par le modèle PHRQPITZ.

Le modèle, PHRQPITZ, ne tient pas compte de l'aluminium lequel se retrouve en concentration élevée dans un bon nombre d'échantillons, probablement suite au contact de la solution avec les tubes d'aluminium lors des prélèvements.

Dans chacun des modèles, les constantes d'équilibre sont évaluées en fonction de la température par une expression analytique lorsque celle-ci existe (Parkhurst et al. (1985), Plummer et al. (1988)). Dans les autres cas, l'expression de van't Hoff est utilisée.

6.2.2 Paramètres

Les éléments majeurs qui contrôlent les principales réactions chimiques sont le calcium, le manganèse, le magnésium, le sodium, le fer et le soufre. Ces mêmes éléments sont retenus pour les calculs d'équilibre géochimique. Lors de la campagne d'octobre, l'aluminium a été analysé et est introduit comme un des éléments pour les calculs d'équilibre chimique avec le modèle PHREEQE.

A part ces éléments, les autres paramètres comprennent: le pH, le Eh, la température et l'alcalinité.

Les paramètres, température, pH et Eh, ont été mesurés soit sur le terrain, soit en laboratoire lors des deux campagnes de prélèvements. La température des eaux de la zone saturée mesurée sur le terrain varie entre 6 et 8°C, alors que celle des eaux de la zone vadose mesurée en laboratoire correspondait à la température ambiante. Dans le but de mieux représenter les conditions naturelles, les calculs des équilibres chimiques ont été faits à une température légèrement supérieure à celle mesurée dans la zone saturée, soit de 10°C.

Le dernier paramètre, l'alcalinité, a été mesuré uniquement sur les échantillons de la zone saturée lors de la campagne d'octobre. Dans la zone vadose, le volume limité d'échantillon d'eau n'a pas permis l'analyse de l'alcalinité avec le Orion Test Kit™. Ce test demande un volume de 100ml de solution. Il est toutefois possible d'estimer l'alcalinité exprimé en $CaCO_3$ en émettant l'hypothèse que le gaz CO_2 provient essentiellement de la dissolution de

la calcite et est en équilibre avec les phases liquide et solide. Les étapes de calcul sont les suivantes:

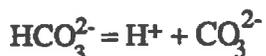
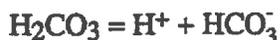
- on calcule la pression partielle de CO₂ laquelle s'exprime comme suit:

$$P_{CO_2} = \frac{W_{CO_2}}{W} * P$$

où W_{CO_2}/W est la fraction molaire de CO₂ et P la pression atmosphérique; en émettant l'hypothèse qu'une mole d'air occupe un volume de 22.4 litres, le nombre de moles de CO₂ est proportionnel à la teneur mesurée (%volume) de CO₂. Cette teneur représente également la fraction molaire de CO₂. Par exemple, une mesure de 10% volume de CO₂ indique un nombre de 0.1 mole de CO₂, une fraction molaire de 0.1 et une pression partielle de 0.1 fois la pression atmosphérique.

Les valeurs de la pression atmosphérique utilisées dans les calculs de la pression partielle de CO₂ sont une moyenne de la pression relevée à 10:00h et 12:00h par Environnement Canada à la station de Val d'Or les jours de prélèvement des gaz (Tableau 6). La teneur en CO₂ correspondant à la profondeur de l'échantillon d'eau a été calculée par une simple interpolation linéaire entre les valeurs juxtaposées.

- connaissant la pression partielle de CO₂, on peut calculer l'activité de H₂CO₃, HCO₃⁻ et CO₃²⁻ en se basant sur les constantes d'équilibre d'association de chacun de ces composés. La série de réactions est:



La constante d'équilibre pour la première de ces trois réactions s'exprime comme suit :

$$K_{CO_2} = [H_2CO_3] / (\gamma_{CO_2} P_{CO_2})$$

où γ signifie l'activité et le coefficient d'activité pour le composé CO₂ dissous. Dans des solutions de force ionique de moins de 0.2 m, on peut estimer que le coefficient d'activité de CO₂ dissous égale 1 (Freeze et Cherry, 1979). Dans la présente étude, à part quelques exceptions aux stations 1, 2, 3 et 7, la force ionique est inférieure à 0.4 m. Il est donc approprié d'estimer que CO₂ égale 1. Dans les cas où la force ionique est élevée, une erreur est introduite dans le calcul de l'alcalinité.

- on calcule le coefficient d'activité de chacun des composés en se basant sur l'approximation de Debye-Hückel (formulation étendue) lorsque la solution possède une force ionique inférieure à 0.1 m, et sur celle de Davis pour les autres cas. Ces expressions sont données dans Stumm et Morgan (1979) et Freeze et Cherry (1979).

- le rapport entre l'activité des composés H_2CO_3 , HCO_3^- et CO_3^{2-} et leur coefficient d'activité respectif détermine la molalité de chacun des composés: H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} .

- la somme des molalités de ces trois composés égale celle de CaCO_3 (ou l'alcalinité exprimée en CaCO_3). Puisque les valeurs des cations et des anions sont exprimées en ppm, l'alcalinité doit aussi être exprimée en ppm, laquelle est:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (ppm)} = \text{grammes de soluté} * 10^6 / \text{grammes de solution}$$

En émettant l'hypothèse qu'un gramme de solvant égale un gramme de solution, la concentration de l'alcalinité en ppm est estimée par

$$\text{CaCO}_3 \text{ (ppm)} = (\text{CaCO}_3) * 50.0446 \text{ g/mole}$$

où () indique la molalité.

6.2.3 Résultats

L'équilibre entre les phases liquide-solide est exprimé par le coefficient d'indice de saturation défini par:

$$\text{SI} = \log (\text{IAP}/\text{K}_{\text{sp}})$$

où IAP est le produit de l'activité ionique calculé, et K_{sp} la constante d'équilibre du solide. Un indice de saturation positif indique que la solution est saturée.

Le Tableau 7 indiquent la force ionique des solutions et les indices de saturation calculés avec le modèle PHREEQE lors des campagnes d'août et d'octobre, respectivement. Puisque les indices de saturation ne sont pas calculés directement, les résultats du modèle PHRQPITZ seront inclus uniquement dans le rapport final. Les minéraux considérés sont: calcite, dolomie, aragonite, gypse, hématite, goéthite, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sidérite. Lors de la campagne d'octobre, l'aluminium a été ajouté à la liste d'éléments à analyser ce qui a permis l'ajout de l'indice de saturation de la Gibbsite.

Les eaux de pores bien que sous-saturées pour toutes les solutions évaluées en rapport aux minéraux neutralisants (la calcite, la dolomie et l'aragonite), tendent vers la saturation. Ceci indique que la zone près de la surface du parc devient de plus en plus lessivée en rapport aux minéraux neutralisants. Une autre indication de ce lessivage est l'augmentation de la concentration en Ca^{2+} et du gaz CO_2 avec la profondeur dans la zone vadose (par exemple,

la station 2). Dans la zone saturée, les indices de saturation sont les plus faibles indiquant une tendance vers la saturation.

Le fer est un des principaux cations dans les eaux de pores de la zone vadose. Par cet enrichissement, les minéraux sujets à être précipités sont entre autre l'hématite, la goethite et du $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Le tableau d'indices de saturation indique que les eaux sont sursaturées en hématite (Fe_2O_3) et saturées en goethite (FeO.OH), et sous-saturées en $\text{Fe}(\text{OH})_3$ amorphe. Toutefois, seulement l'analyse minéralogique permettra de confirmer leur précipitation puisque peu de Fe^{3+} est présent. Cette faible concentration en Fe^{3+} est estimée par la différence entre le fer total et Fe^{2+} . La seule exception observée est l'échantillon ST-1-oct-40-60 (profondeur 63 cm) où le Fe^{2+} est 471 ppm et le fer total de 12900 ppm. Cet échantillon avait une couleur rougeâtre confirmant la présence d'hydroxyde de fer. Toutefois, les indices de saturation pour cet échantillon indiquent une sous-saturation des minéraux tels que l'hématite, la goethite et le $\text{Fe}(\text{OH})_3$ amorphe.

La dissolution de la pyrite libère deux ions de SO_4^{2-} pour chaque ion de Fe^{2+} , ce qui explique les fortes concentrations de SO_4^{2-} observées. Les profils de SO_4^{2-} montrent des plateaux indiquant probablement l'équilibre en rapport avec une ou des phases minérales, par exemple le gypse ($\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$), la jarosite ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), la mélantérite ($\text{FeSO}_4.7\text{H}_2\text{O}$). Malheureusement, de ces trois minéraux le modèle PHREEQE calcule uniquement l'indice de saturation en relation au gypse. Les résultats indiquent qu'en général les solutions sont saturées en gypse dans la zone vadose et sous-saturées dans la nappe phréatique (i.e. zone saturée en eau non-confinée). L'exception à ce patron est la station 1. Pour acquérir une meilleure compréhension de la distribution des ions SO_4^{2-} , un modèle incorporant une plus grande gamme de minéraux composés de l'élément du soufre devrait être utilisé.

L'analyse de la saturation avec la gibbsite est limitée aux échantillons provenant de la nappe phréatique puisque les eaux de pores dans la zone vadose ont été contaminées par les tubes d'aluminium servant à la cueillette des échantillons. L'indice de saturation (Tableau 7) indique que les échantillons sont saturés par rapport à la gibbsite.

7. CONCLUSIONS

L'étude des processus géochimiques et hydrogéologiques en cours au parc de résidus miniers East-Sullivan nous a permis de circonscrire la problématique suivante, spécifique au site étudié:

- l'oxydation des sulfures à la surface du parc génère une acidité importante et mobilise des métaux lourds toxiques pour l'environnement;
- dans la plupart des profils étudiés, l'acidité est neutralisée par la dissolution de carbonates présents au sein des résidus; l'augmentation de pH permet à ces endroits la précipitation d'oxydes-hydroxydes diminuant les concentrations de métaux lourds dans les fluides interstitiels;
- localement, le lessivage des carbonates a été suffisamment important pour prévenir le rétablissement de pH neutres ou alcalins; les phases minérales susceptibles de fixer les métaux restent solubles et les concentrations atteintes suites à l'altération restent élevées;
- l'analyse des phases solides étant en cours, il est difficile de prévoir pour le moment pendant combien de temps le parc conservera sa capacité de neutralisation; toutefois, le point de non retour a déjà été atteint à deux stations sur sept dans les 25 ans suivant la cessation des activités, ce qui donne une image de l'évolution future du site; il est à prévoir que l'acidité générée sera conservée et véhiculée d'abord dans les zones grossières du parc, les résidus fins, par leur faible perméabilité, étant plus réfractaires à l'oxydation et montrant très rapidement une neutralisation des produits de l'oxydation par rapport aux résidus grossiers;
- malgré la neutralisation de l'acidité générée par oxydation des sulfures et malgré le fait qu'une grande partie du fer ferreux soit précipité dans la zone saturée, le site connaît tout de même un problème d'acidité générée par l'oxydation du fer à sa sortie du parc;
- des solutions de couverture visant à limiter l'oxydation des sulfures à la surface du parc devraient privilégier l'altération des cordons de résidus grossiers autour et en

périphérie du parc, compte tenu des environnements d'altération très dynamiques que constituent ce matériel;

- des solutions de traitement et confinement des eaux de lixiviation devraient tenir compte que les zones sableuses entre l'est du parc et la rivière Bourlamaque forment de bons conducteurs hydrauliques; la zone d'épandage au sud du parc est également problématique, puisqu'on y rencontre des résidus relativement grossiers et épais remplissant une dépression autrefois suffisamment importante pour contenir un étang, avec une décharge directement dans la rivière Bourlamaque.

RÉFÉRENCES

- Bear, J., 1979. *Hydraulics of Groundwater*, McGraw-Hill Inc., 567 pages.
- Blowes, D.W. et J.L. Jambor, 1990. The pore-water geochemistry and the mineralogy of the vadose zone of sulfide tailings, Waite Amulet, Québec, Canada. *Applied Geochemistry*, 5, 327-346.
- Dave, N.K., T.P. Siwik, et R. Blackport, 1986. Geophysical and biogeochemical investigations of an active sulfide tailings basin. Noranda, Québec, Canada. Dans le compte-rendu de 1986 N. Symp. on Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation. University of Kentucky, Lexington, Kentucky. 8-11 Déc. 13-19 pp.
- Dubrovsky, N.M., J.A. Cherry, E.J. Reardon et A.J. Vivurka, 1984. Geochemical evolution of inactive pyritic tailings in the Elliot Lake Uranium District: 1, The groundwater zone. *Canadian Geotechn. J.* 22, 110-128.
- Freeze, R.A. et J.A. Cherry, 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, 604 pages.
- Hvorslev, M.J. 1951. *Time lag and soil permeability in groundwater observations*. U.S. Army Corps Engrs. Waterways Exp. Sta. Bull, 36, Vickburg, Miss.
- Karam, A. et L. M. Azzaria, 1990. *Étude en laboratoire portant sur la restauration du parc à résidus de l'ancienne mine East-Sullivan*. 98 pages.
- Lundgren, D.G. et M. Silver, 1980. Ore leaching by bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 34, 263-283.
- Lowson, R.I., 1982. Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen. *Chem. Rev.* 82, 461-497.
- MENVIQ, 1990. *Inventaire des lieux d'élimination de déchets dangereux au Québec*. Envirodoq EN850255, SD/90-2.
- Nordstrom, D.K., 1982. Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary minerals. *Acid Sulphate Weathering*, 37-56.
- Paquet, A., 1989. *Rapport-synthèse sur la caractérisation et la recherche au parc à résidus miniers East-Sullivan*. MENVIQ, 45 pages.
- Paquet, A., 1991. *Évolution physico-chimique des eaux de fonte printanière au parc à résidus miniers East-Sullivan*. Centre de recherches minérales, rapport final, projet 90TE12. 37 pages.
- Parkhurst, D.L., D.C. Thorstenson, et L.N. Plummer, 1985. *PHREEQE - A computer program for geochemical calculations*. U.S.G.S. National Center, Office of Regional Research Hydrologist, MS 432, Reston, Virginia, 22092.
- Planigram, 1987. *Étude de caractérisation du parc à résidus miniers East-Sullivan*, pour les ministères de l'Énergie et des Ressources et de l'Environnement du Québec.

- Plummer, L.N., D.L. Parkhurst, G.W. Fleming et S.A. Dunkle, 1988. *A computer program incorporating Pitzer's equations for calculation of geochemical reactions in brines*. U.S.G.S. Water-Resources Investigations Report 88-4153, Reston, Virginia.
- Reardon, E.J. et R.D. Beckie, 1987. Modelling chemical equilibria of acid mine-drainage: The $\text{FeSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ system. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 2355-2368.
- Siwik, R.S., R. Prairie et S. Payant, 1987. Hydrogeochemical investigation of reactive tailings at Waite Amulet tailings site, Noranda, Québec, Phase 2 - 1986 program. Dept. Supplies Services Canada contract 03SQ.23440-6-9099, Juillet 1987.
- Stumm, W. et J.J. Morgan, 1970. *Aquatic Chemistry*. Wiley Interscience, 583 pages.
- Tassé, N., D. Germain et M. Bergeron, 1992. *Caractérisation d'un parc de résidus miniers: guide*. 50 pages.
- Univ. de Sherbrooke, Département de génie civil, 1988. *Projet de restauration du parc à résidus de la East Sullivan par l'utilisation de résidus organiques*. 110 pages.

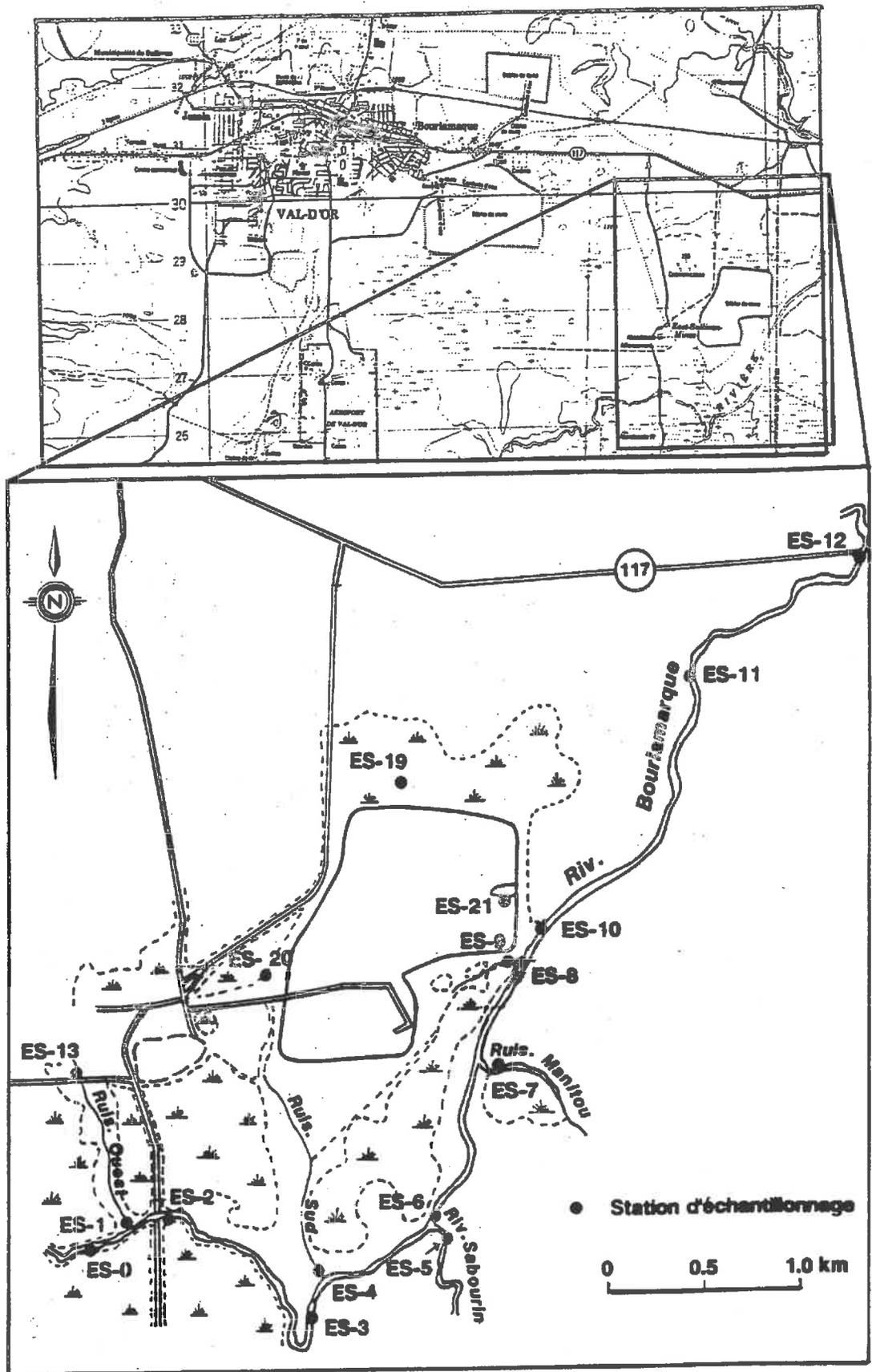


Figure 1. Localisation du parc de résidus miniers East-Sullivan. Le secteur agrandi montre également la localisation des stations d'échantillonnage des eaux de surface.

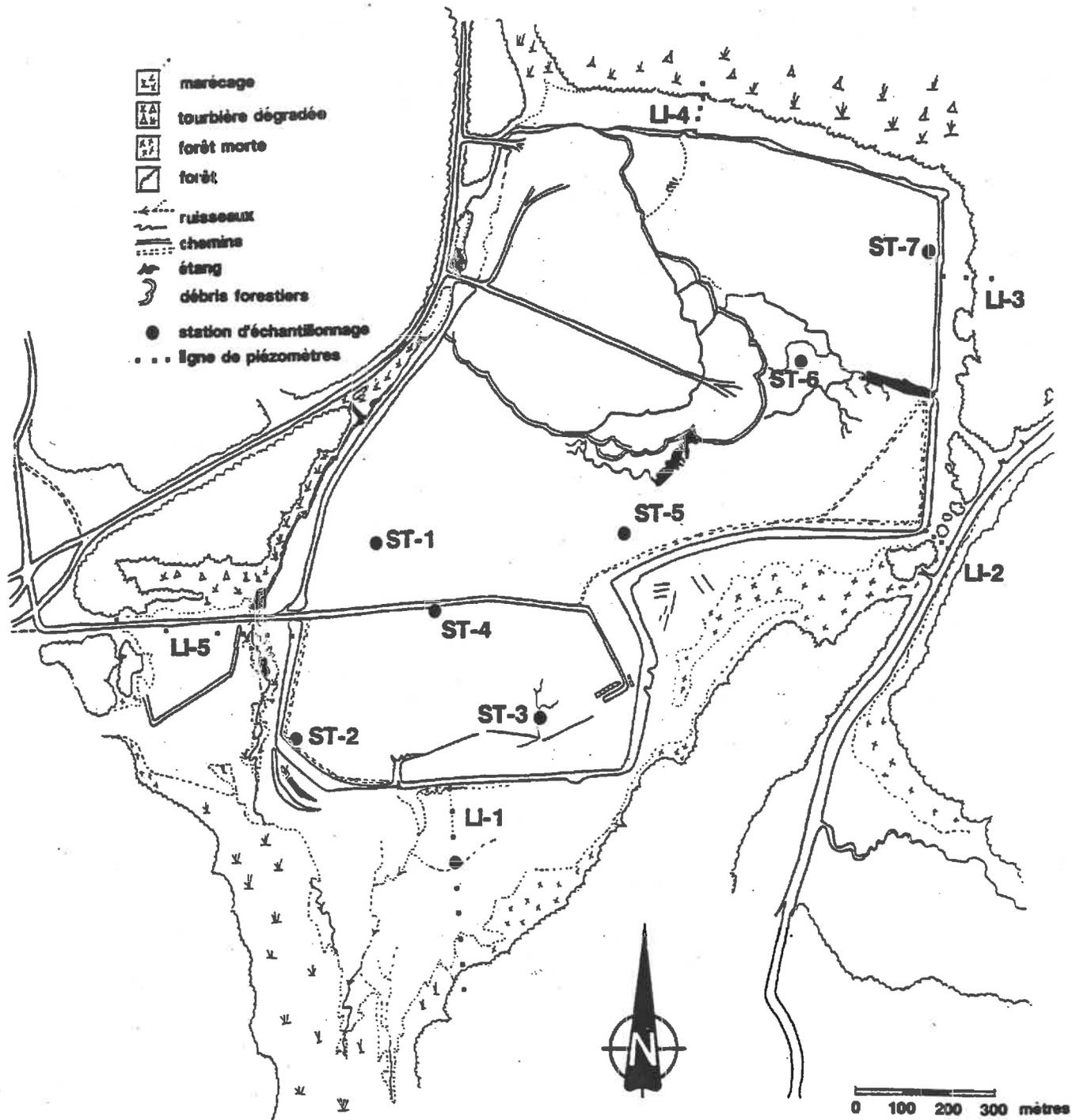
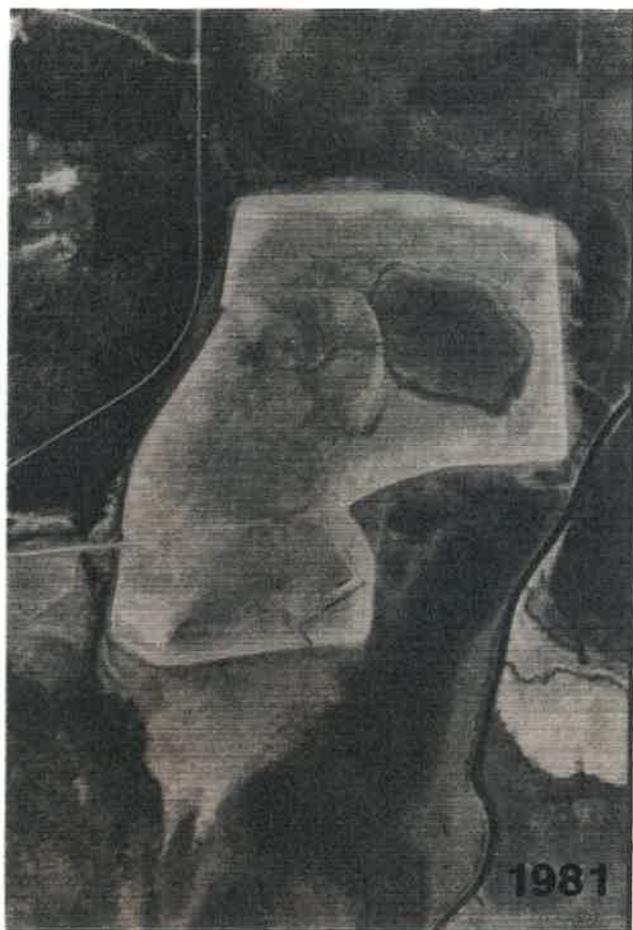


Figure 2. Localisation des stations d'échantillonnage et des lignes de piézomètres implantées sur le parc et autour du parc. D'après les photos aériennes de 1990.

Figure 3. Évolution du parc d'après les photos aériennes disponibles de 1941 à 1985. L'échelle des diverses photos a été ramenée à une échelle uniforme, d'où le flou de certains clichés. Le périmètre actuel du parc a été reporté sur la photo de 1941. La liste des photos utilisées est donnée en Appendice 1.







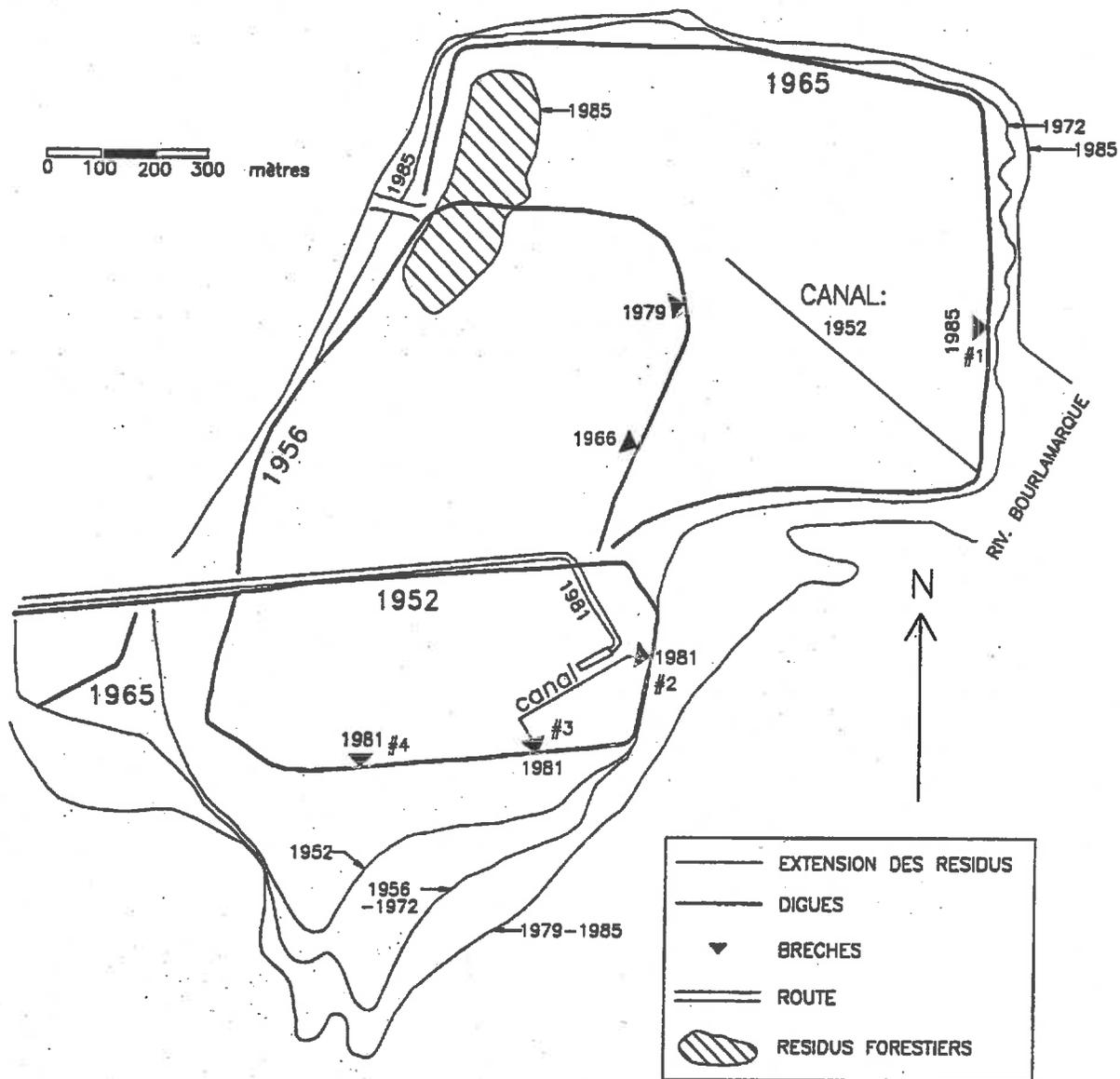


Figure 4. Résumé schématique de l'évolution du parc et des zones d'épandage environnantes. Les millésimes en gros caractères donnent les années d'apparition des digues sur les photos aériennes. Les millésimes en petits caractères donnent les années d'apparition des brèches, routes, ouvrages et des périmètres des résidus non confinés. La numérotation des brèches est celle de Planigram (1987). D'après les photos aériennes de 1952 à 1985.

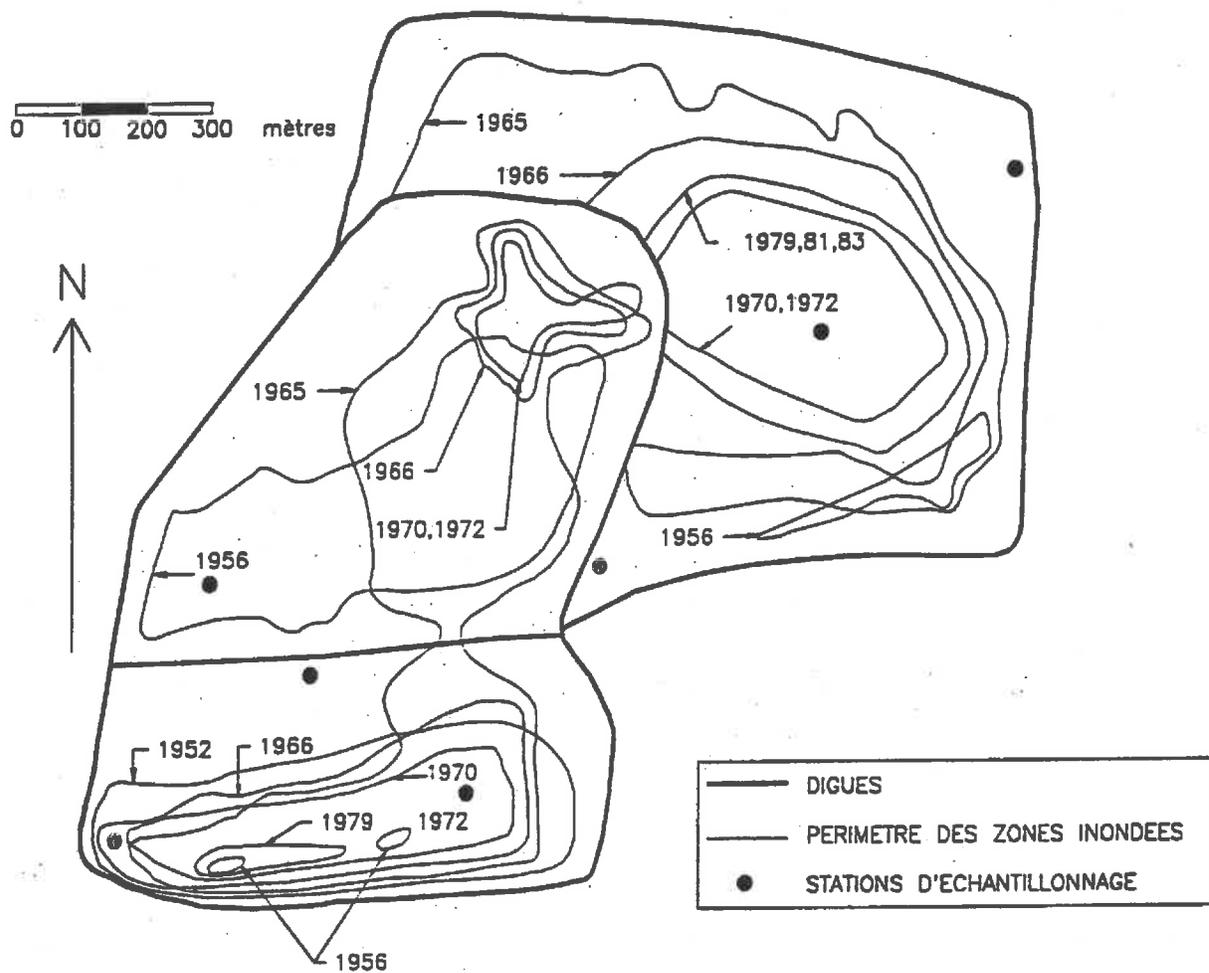


Figure 5. Évolution des aires d'inondation dans les trois bassins du parc. D'après les photos aériennes de 1952 à 1985.

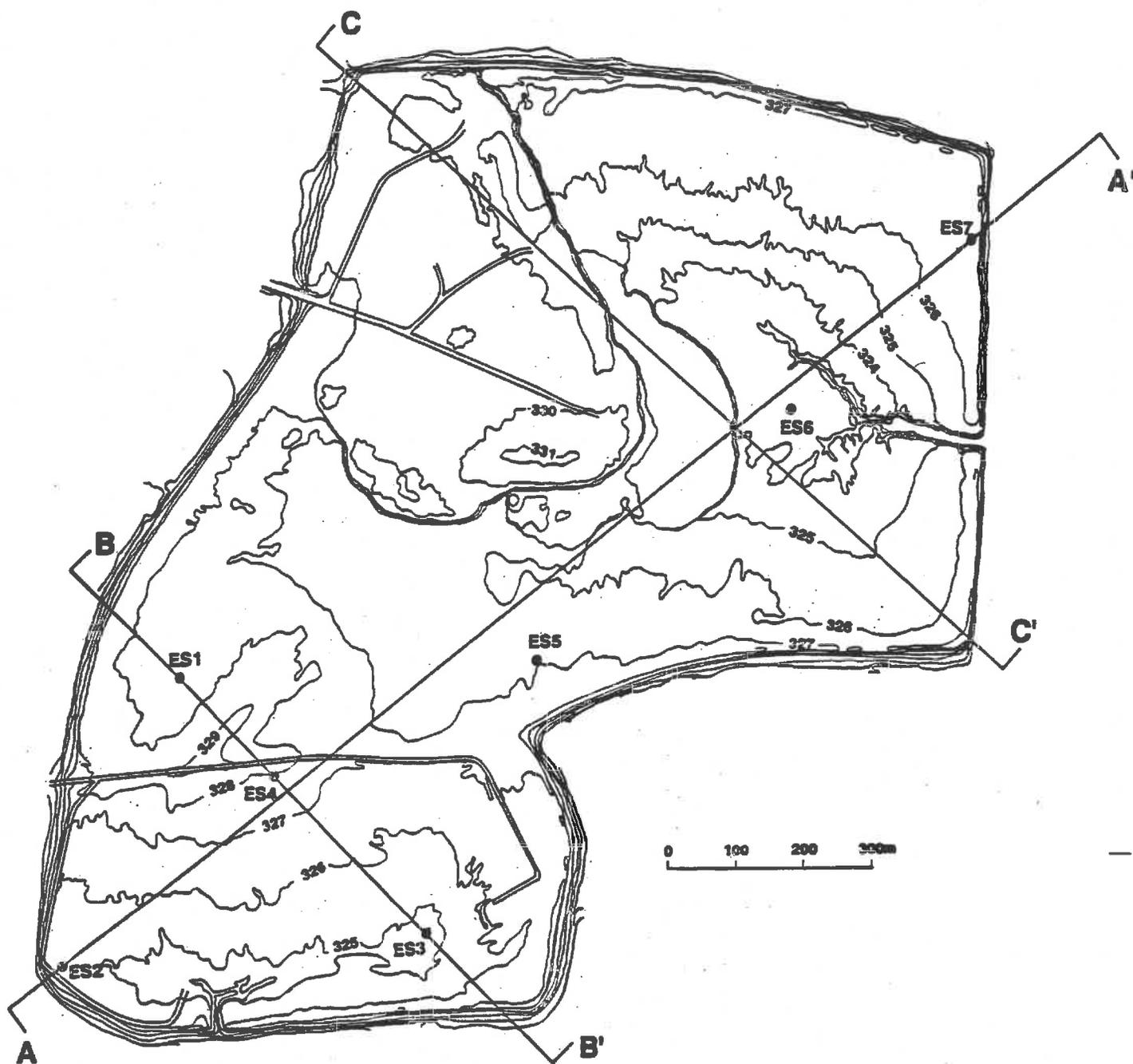


Figure 6. Topographie du parc à l'automne 1990. Les profils A-A', B-B' et C-C' sont illustrés à la Figure 7. D'après une carte topographique au 1:5 000.

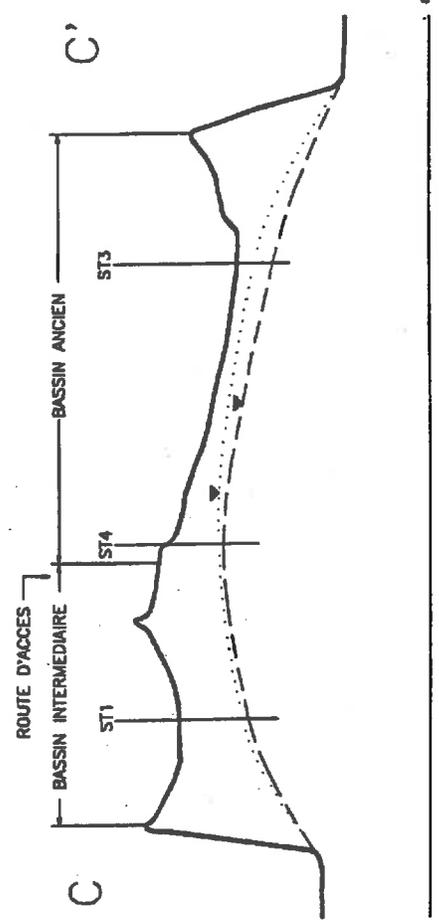
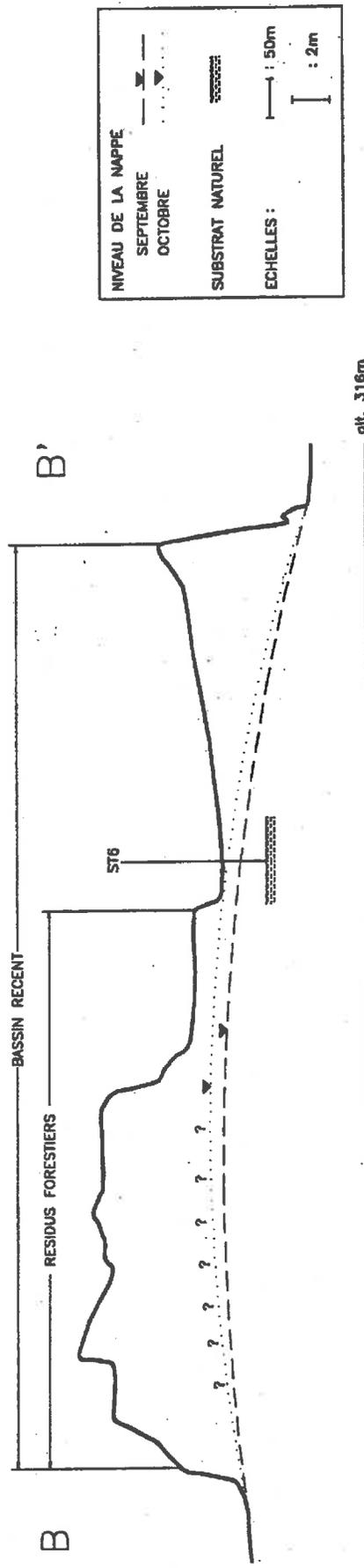
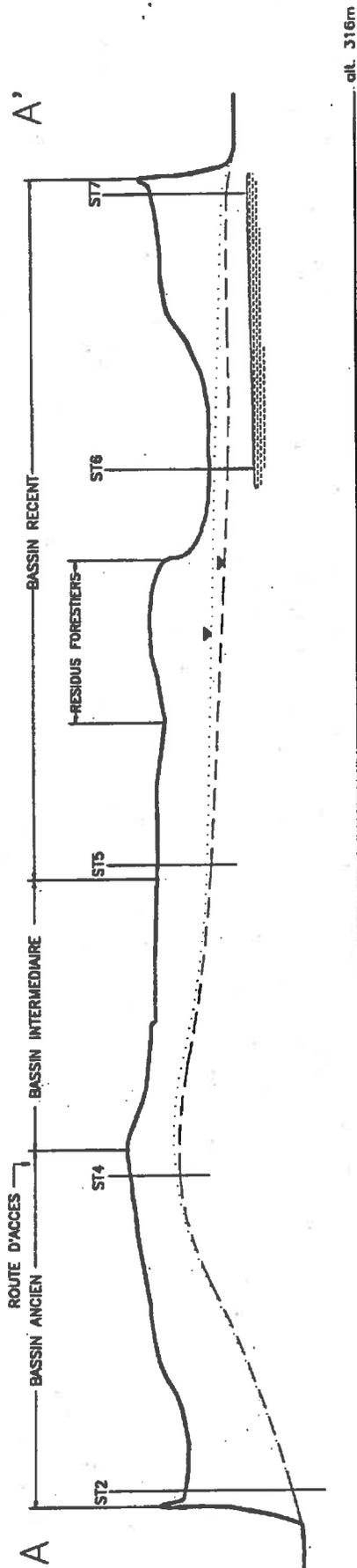


Figure 7. Profils topographiques du parc à l'automne 1990. Les stations d'échantillonnage ont été projetées sur les profils localisés sur la Figure 6. La ligne verticale à chaque station représente le piézomètre le plus profond de cette station. Exagération verticale de 1:25.

Figure 8. Aperçu photographique du parc.

A) Panache de poussières soulevé par le vent au-dessus du bassin récent, et recouvrement de résidus forestiers.

B) Évidence d'érosion éolienne près de supports de pipelines d'alimentation près de la marge ouest du parc; à l'avant plan, herbes d'une parcelle de revégétation; à l'arrière plan, résidus forestiers.

C) Zonation granulométrique et polygones de dessiccation au niveau du bassin intermédiaire; à l'arrière plan, essais de revégétation.

D) Talus affecté par l'érosion hydrique sur le côté ouest du parc, au nord de la route d'accès au dépôt de dynamite.

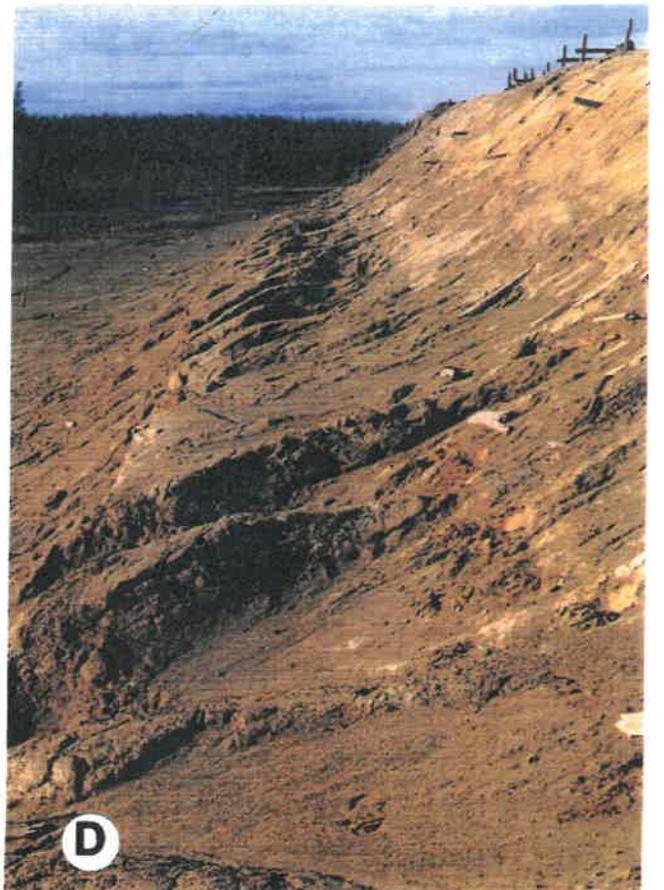
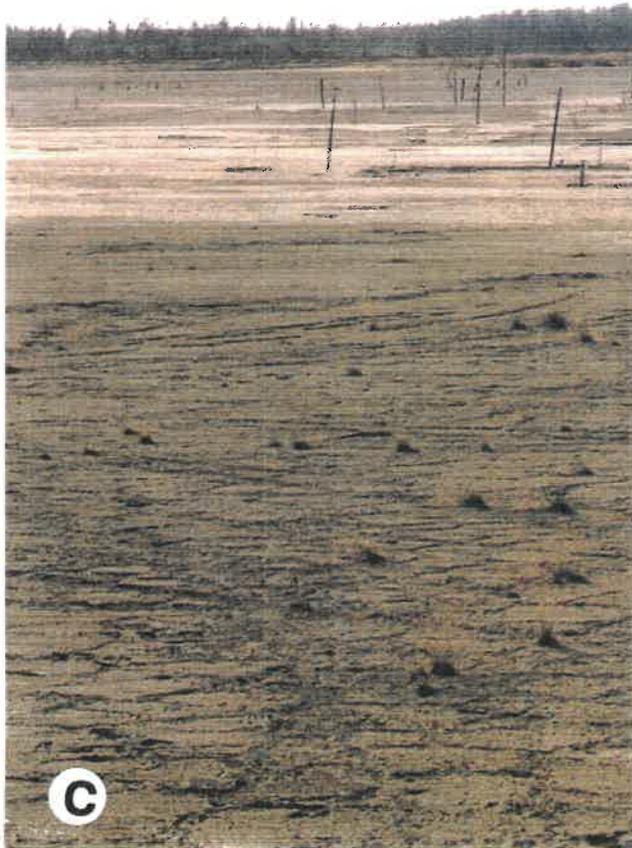
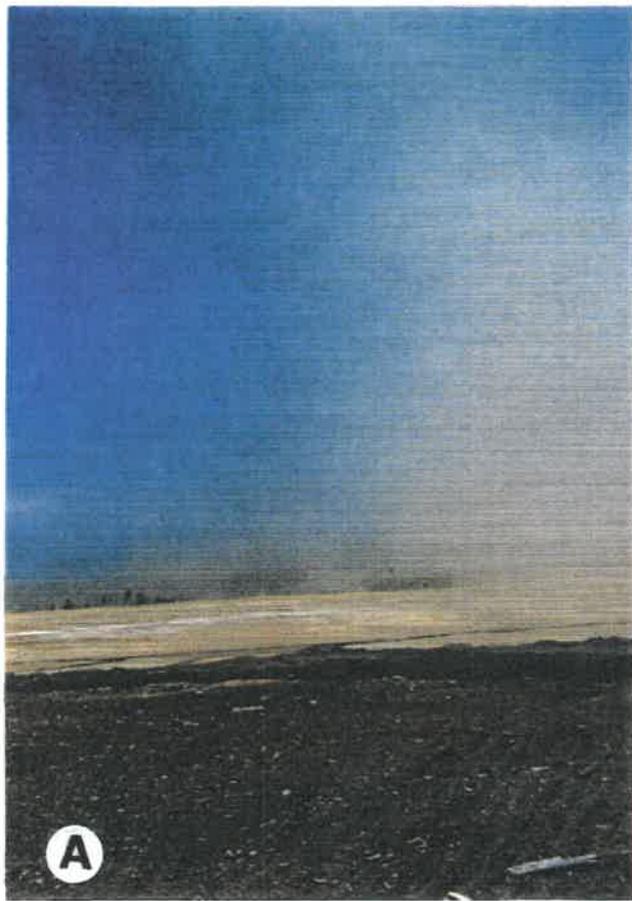


Figure 9. Aperçu photographique du parc.

- A) Étang semi-permanent au pied du talus nord du parc; la couleur rouge est probablement due à la précipitation d'oxydes de fer.
- B) Dunes de résidus déposées sur la marge est du parc, à hauteur du bassin récent.
- C) Pipeline d'alimentation sur le sommet du talus bordant le sud du bassin récent; des herbes ont colonisé la partie haute de la zone de suintement présente au bas du talus.
- D) Route d'accès au dépôt de dynamite et zone d'épandage adjacente; la surface du parc est surmontée d'un nuage de poussières soulevées par le vent.
- E) Marge sud du parc et zone d'épandage adjacente à partir de la brèche #4; les dépôts blancs correspondent vraisemblablement à des sulfates précipités en conditions littéralement évaporitiques, au début de juillet 1991.
- F) Même zone qu'en E), au mois d'août suivant; les grandes étendues de sulfates sont disparues avec le retour à des conditions climatiques courantes.

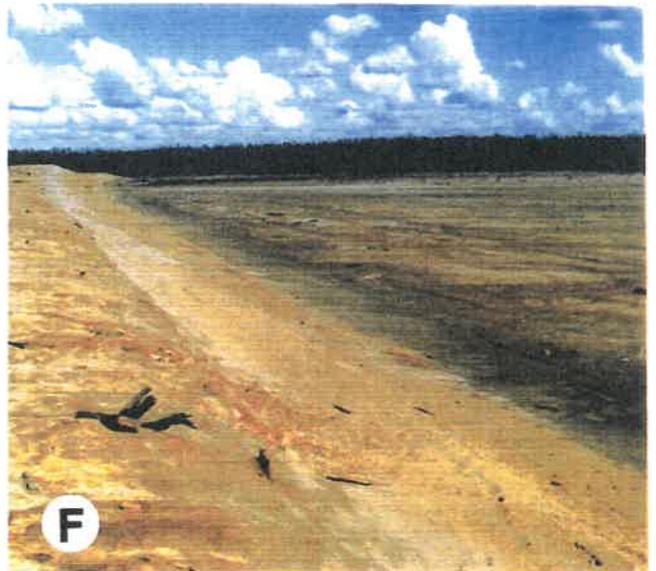
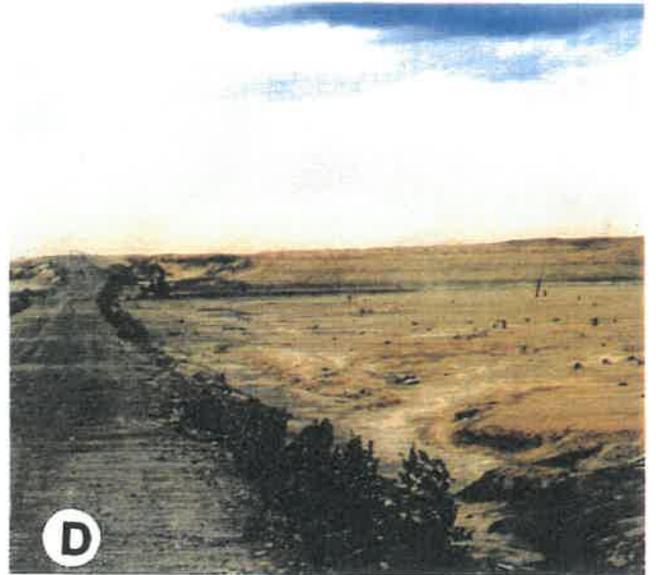


Figure 10. Aperçu photographique des profils d'oxydation à la surface du parc.

A) Résidus oxydés sur plus d'un mètre sous des résidus stratifiés partiellement oxydés, près de la station 5; la texture bréchique du dépôt indique qu'il s'agit probablement de résidus déjà oxydés utilisés pour la construction de la digue adjacente.

B) Oxydation relativement uniforme dans des sédiments grossiers du bassin récent; les traces rougeâtres au contact des résidus plus fins, moins altérés, au bas du profil, correspondent probablement à des néoformations d'oxydes de fer.

C) Profil d'oxydation semblable au précédent, près de la station 7; en plus, traces d'érosion sur les résidus fins et laminae irrégulières d'oxydes dans une partie nettement moins altérée du profil.

D) Profil d'oxydation réduit dans les résidus fins à proximité de la station 6; les fentes de dessiccation peuvent descendre jusqu'à 50 cm et sont bordées de quelques millimètres de résidus oxydés.

E) Oxydation irrégulière attribuable à des alternances de résidus de granulométrie différente à proximité de la station 1; la partie supérieure montre des résidus relativement fins avec des cellules réfractaires à l'oxydation; les bulles millimétriques qu'on y observe, comptant pour 20 à 25 % du volume total, sont probablement reliées au dégagement de CO_2 accompagnant la dissolution de carbonates par les eaux acides.

F) Résidus truffés de bulles semblables à celles décrites en E) à la surface du bassin intermédiaire.

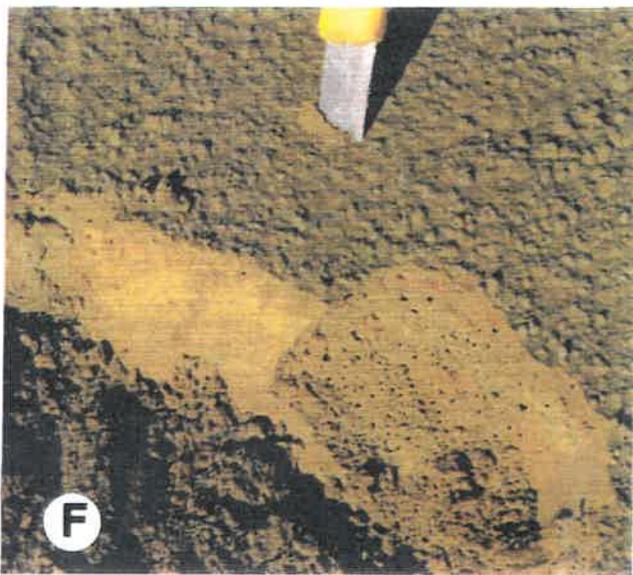
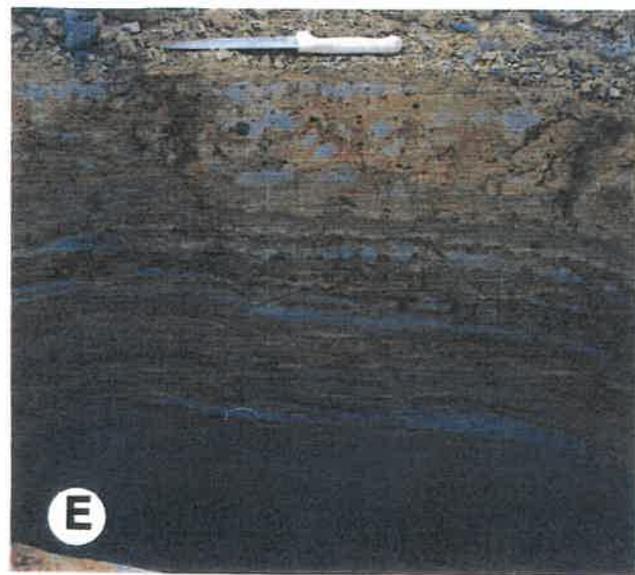
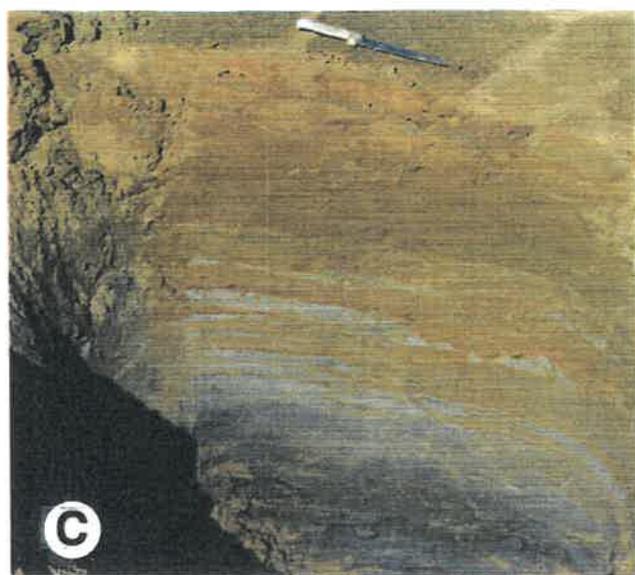
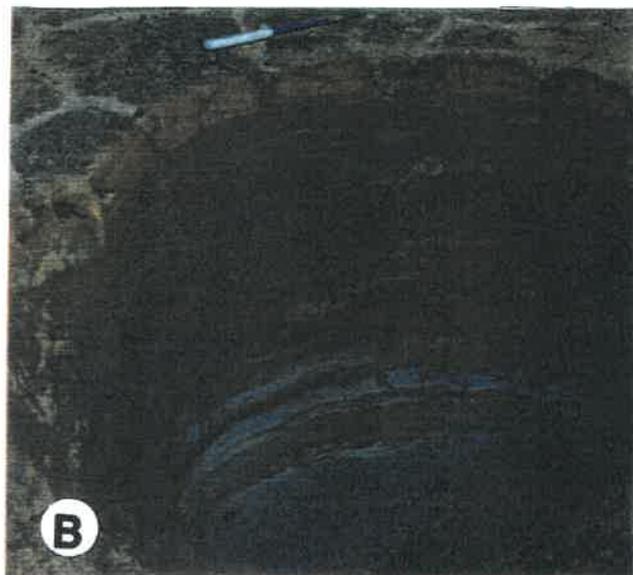


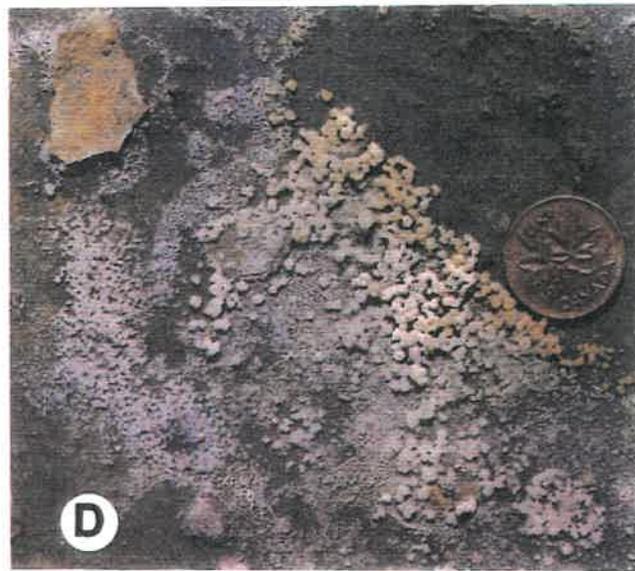
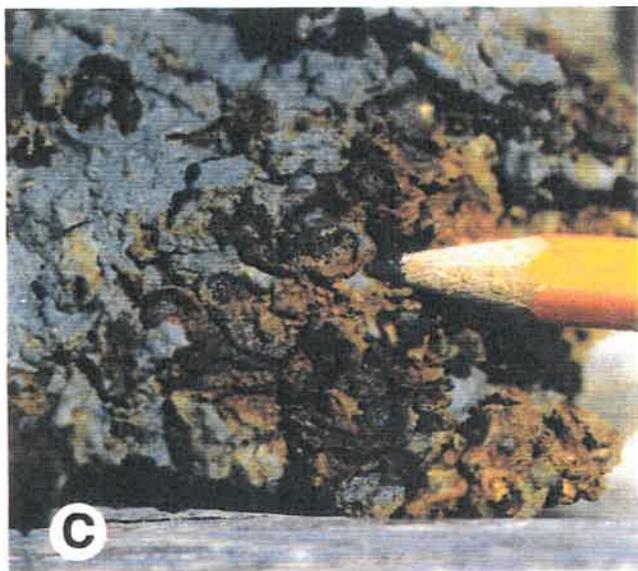
Figure 11. Aperçu photographique des profils d'oxydation autour du parc.

A) Profil d'oxydation à 150 m du talus le long de la ligne 1, sur la zone d'épandage au sud du parc; celui-ci montre bien comment les fentes de dessiccation peuvent favoriser la pénétration verticale de l'oxygène et comment les résidus plus grossiers favorisent sa diffusion latérale: l'altération rouille diminue vers le bas et latéralement, à partir de la fente nourricière; les parties plus foncées de ces zones rouillées correspondent à des néoformations d'oxydes de fer dont la proportion augmente plutôt vers le bas.

B) Profil d'oxydation à 100 m du talus le long de la ligne 1, sur la zone d'épandage au sud du parc; altération rouille en surface faisant place à des néoformations d'oxydes et hydroxydes de fer en profondeur, vers des résidus moins altérés.

C) Gros plan sur des néoformations d'oxydes de fer dans les résidus de la zone d'épandage du réentrant sud-est du parc.

D) Gros plan sur un endoclaste et des précipités de sulfates à 30 à 50 m du talus sud du parc, un peu à l'est de la ligne 1.



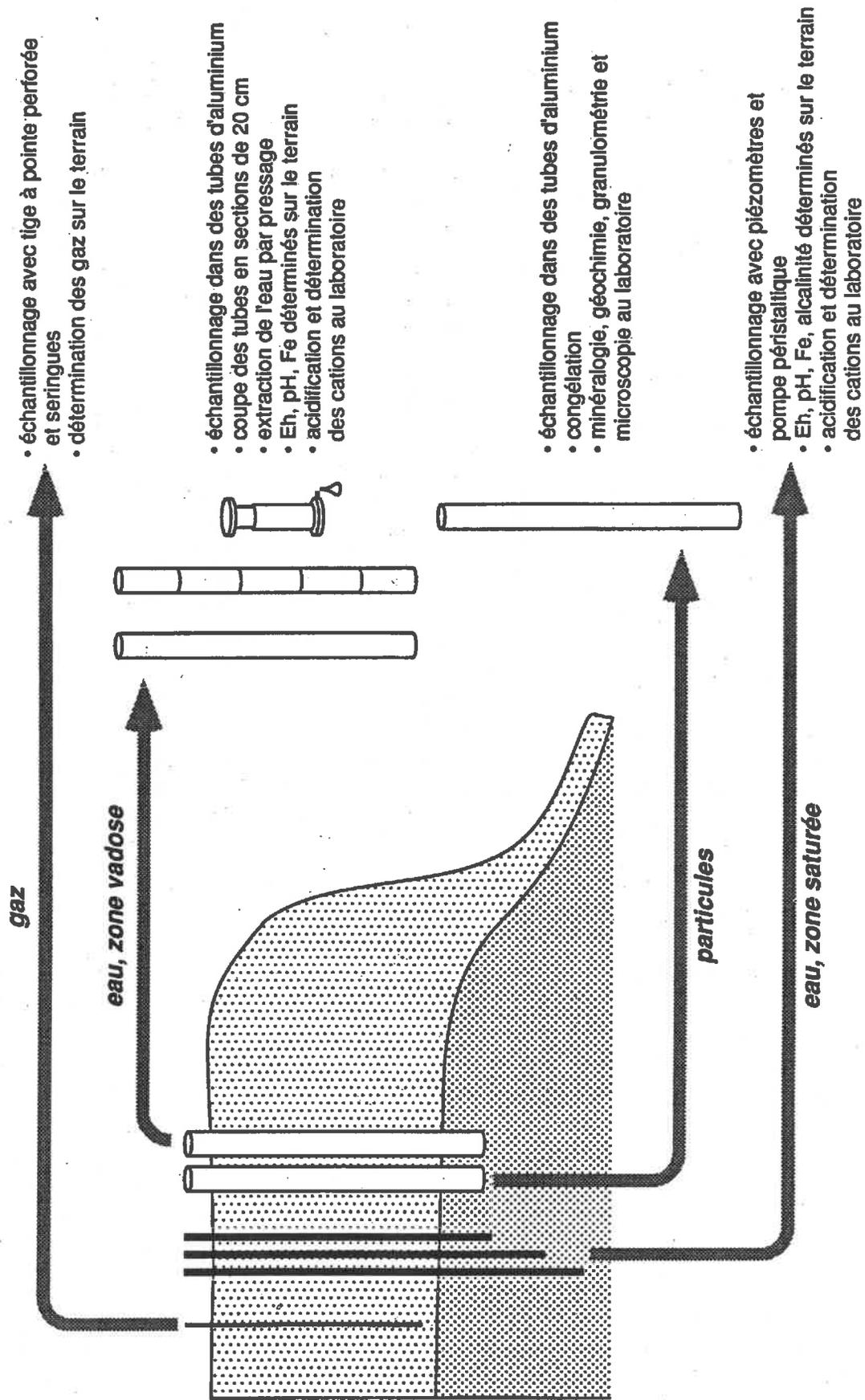


Figure 12. Schéma du protocole de prélèvement et d'analyse des gaz, des liquides et des solides au sein du parc de résidus East-Sullivan.

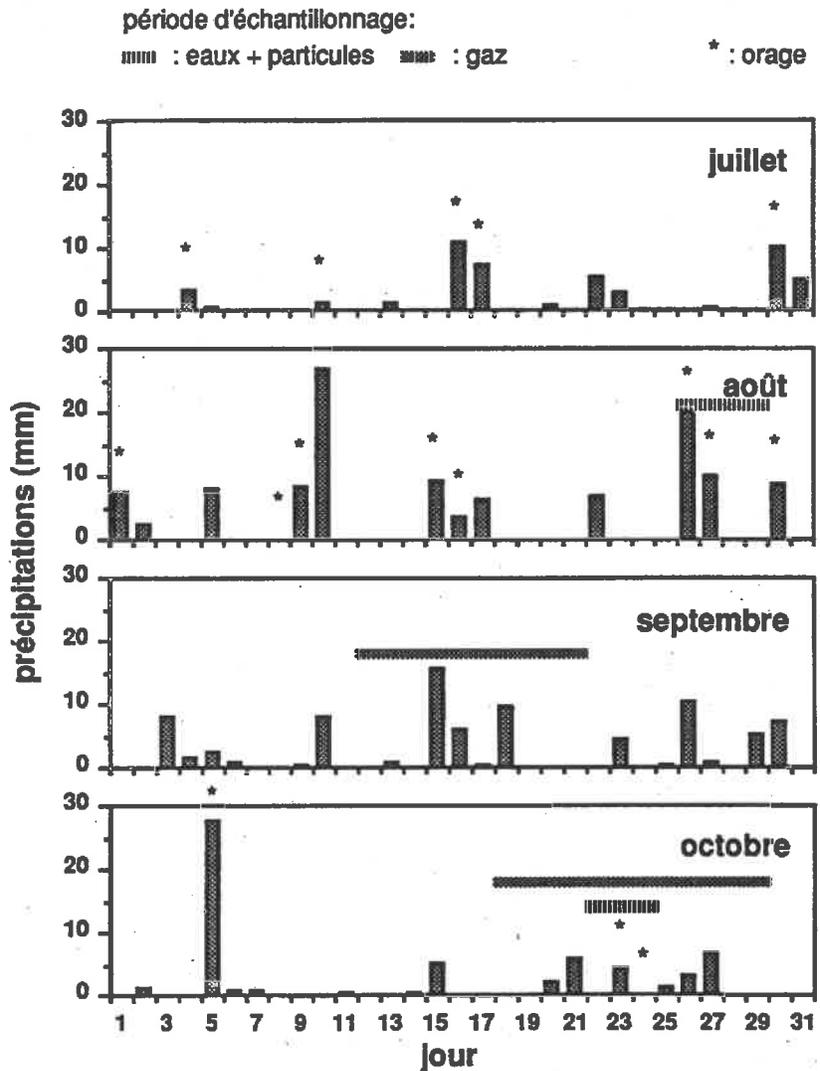


Figure 13. Aperçu des précipitations à l'aéroport de Val d'Or à l'été et l'automne 1991 et périodes d'échantillonnage.

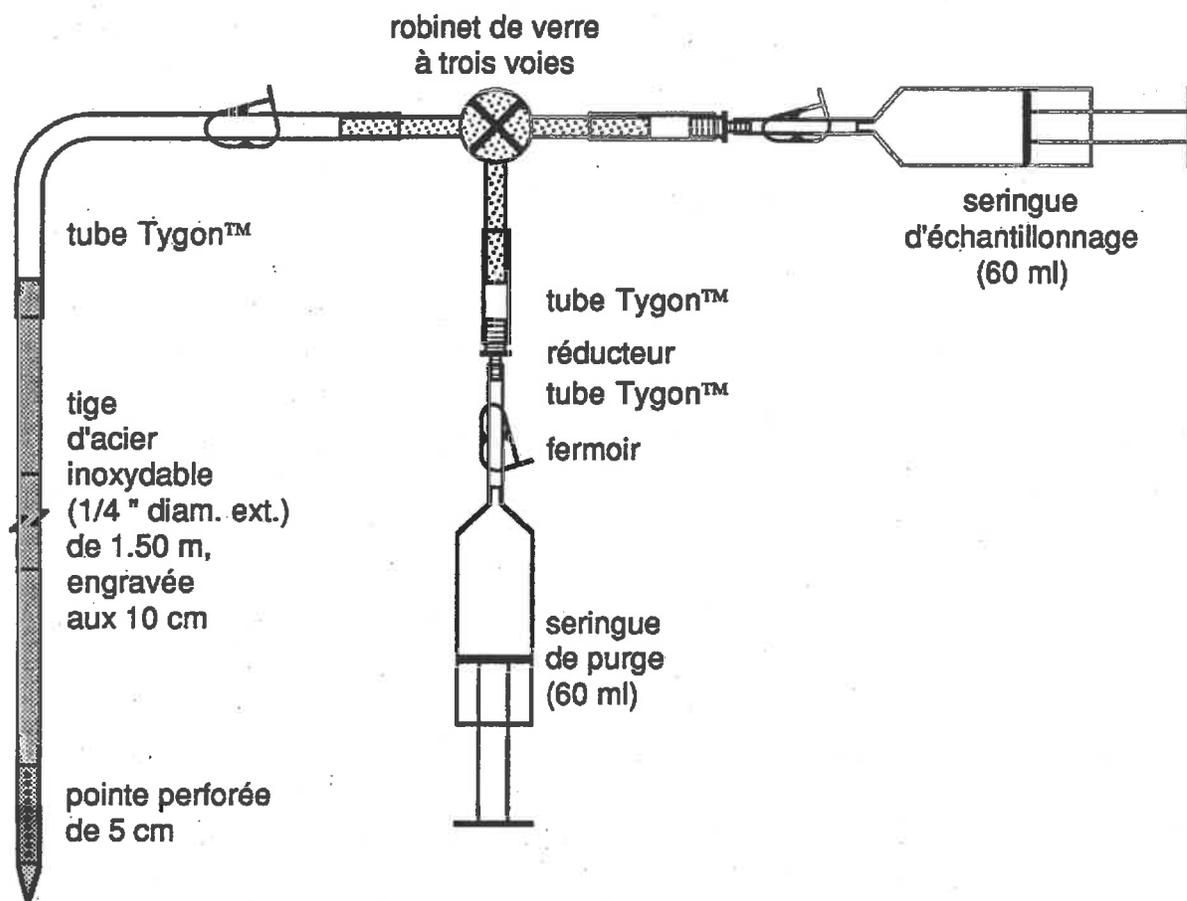
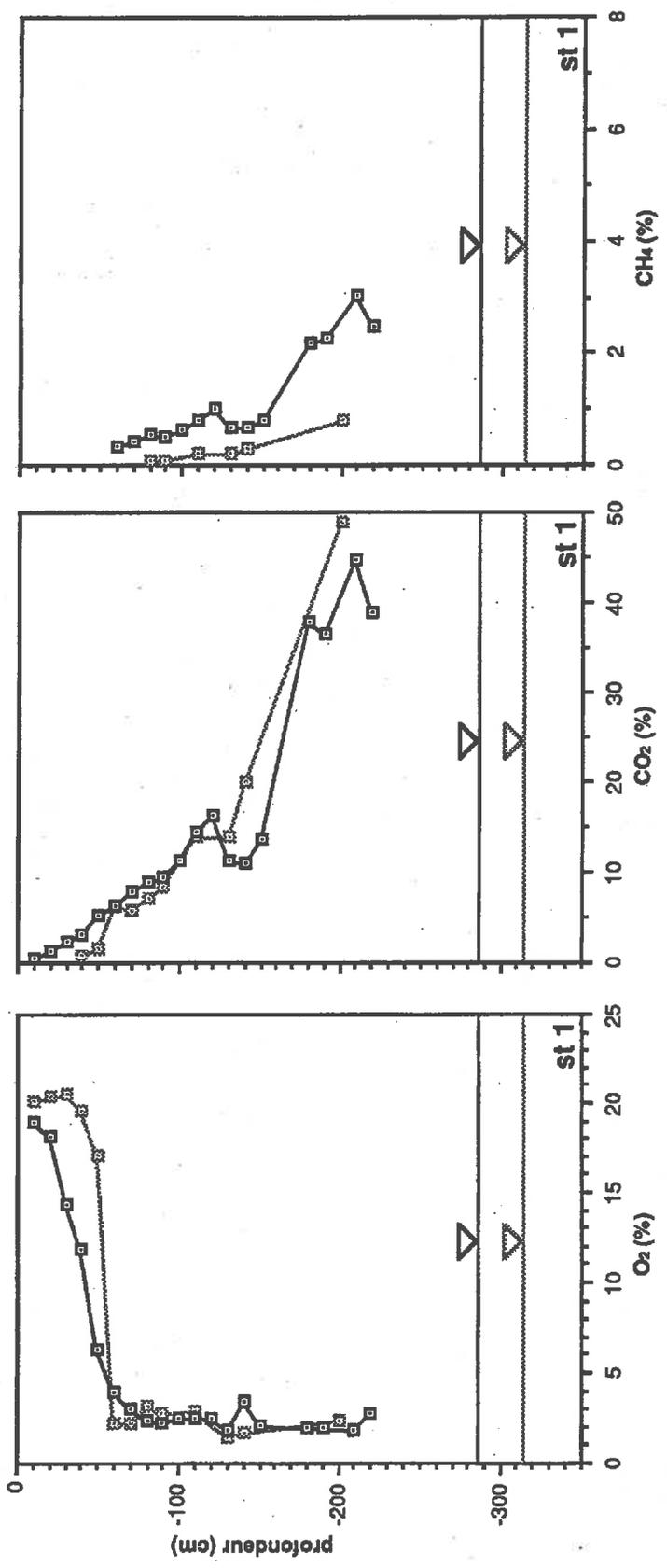
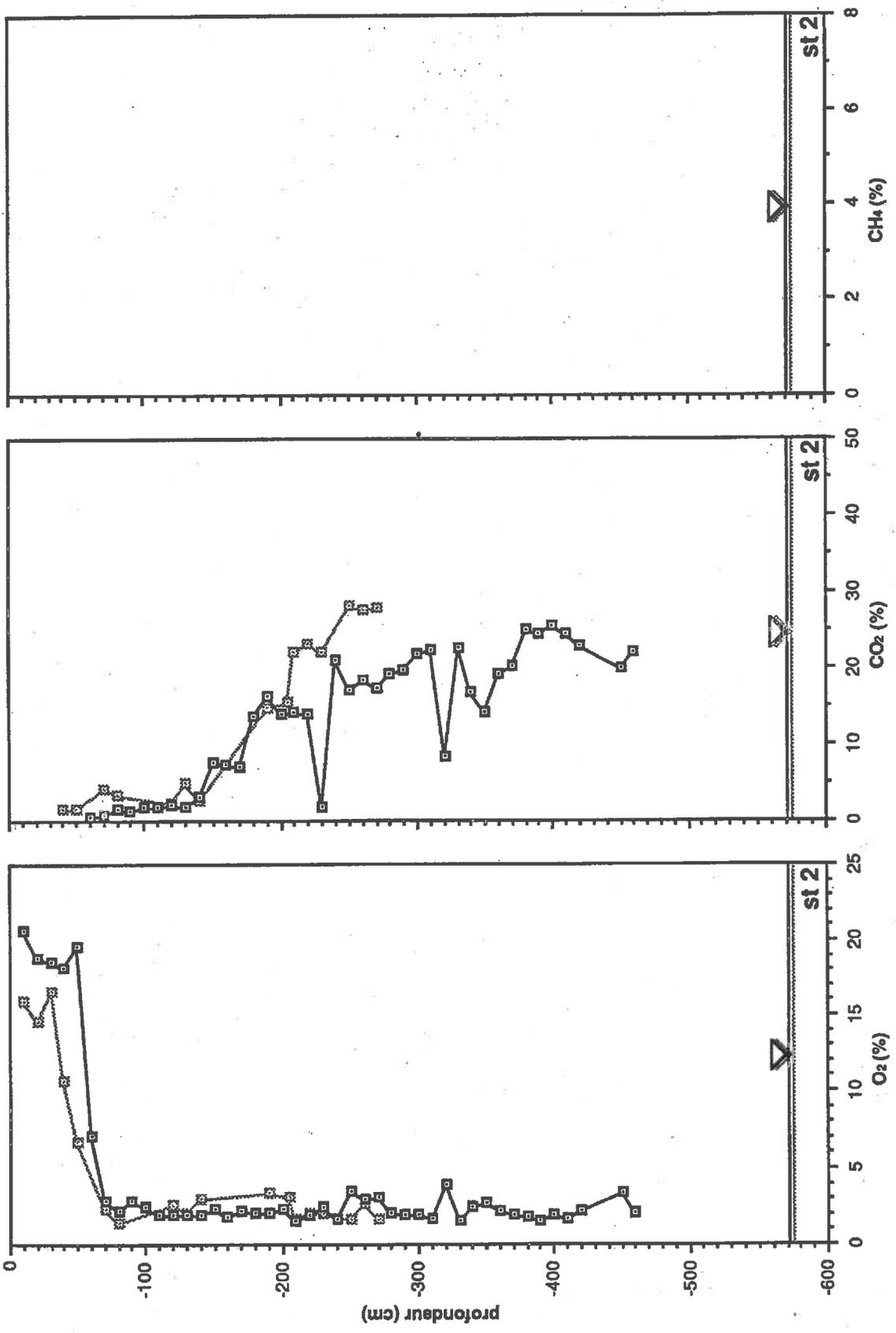
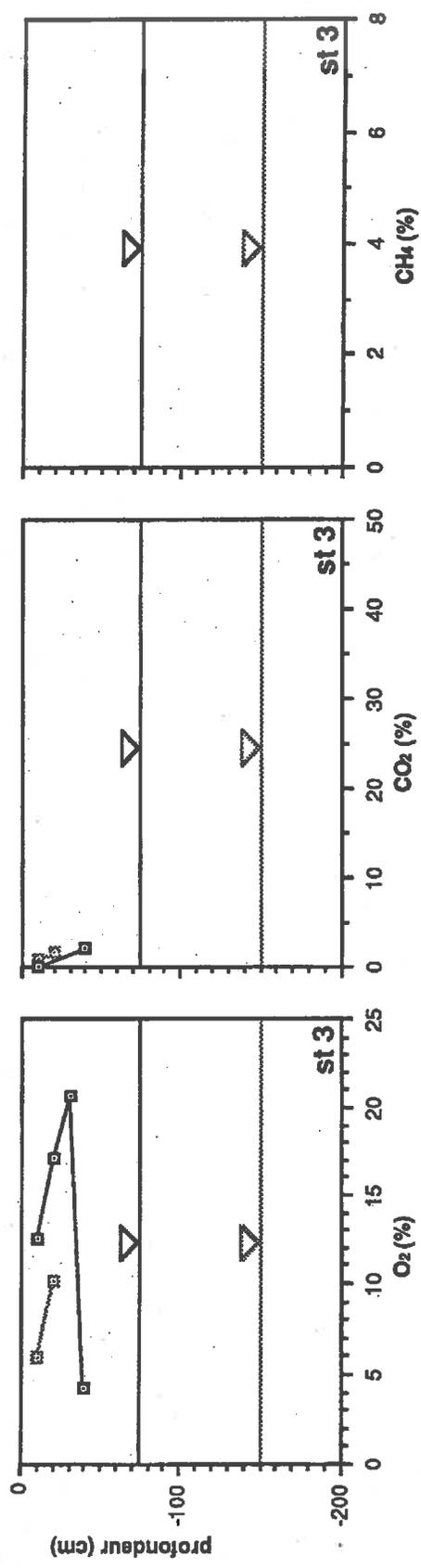


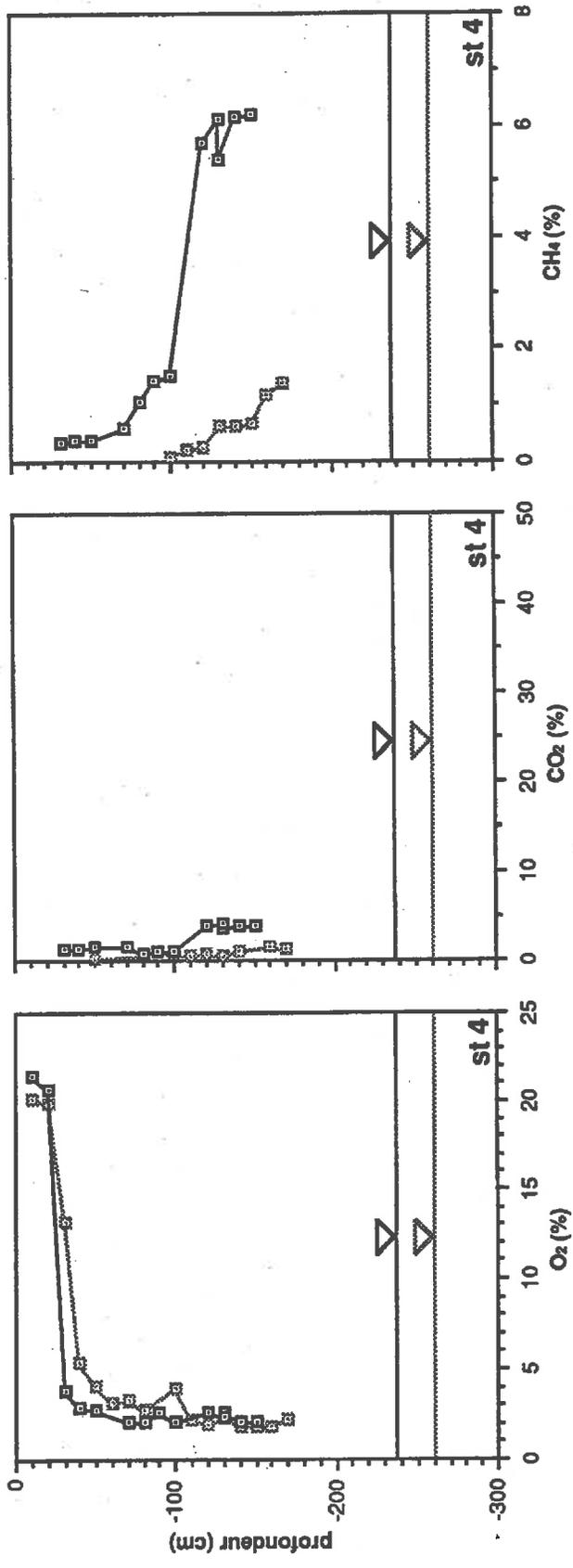
Figure 14. Dispositif d'échantillonnage des gaz de la zone vadose.

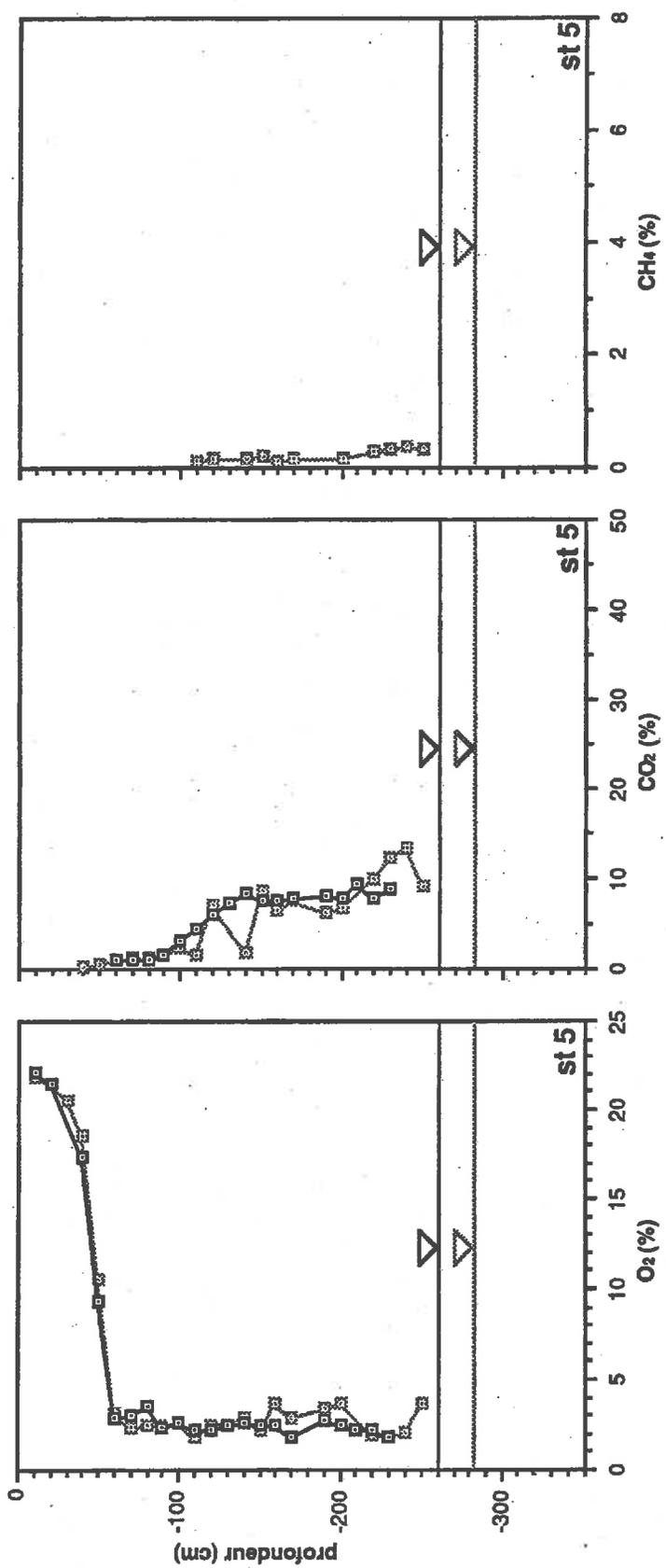
Figure 15. Profils des proportions de gaz déterminées aux sept stations d'échantillonnage. Les résultats d'été sont symbolisés en gris et ceux d'automne en noir. Le trait surmonté d'un triangle inversé indique la profondeur de la nappe phréatique le 4 septembre (été) et le 30 octobre (automne).

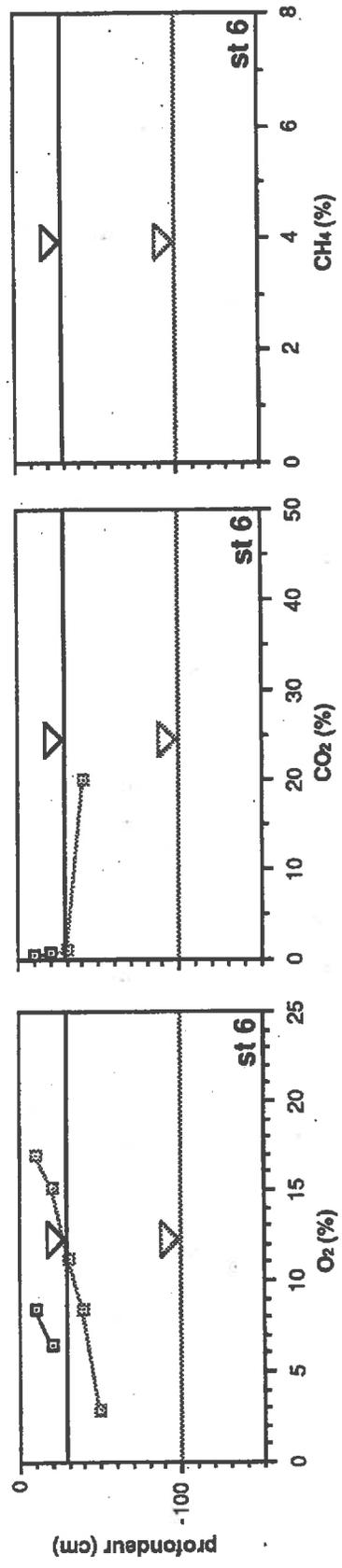


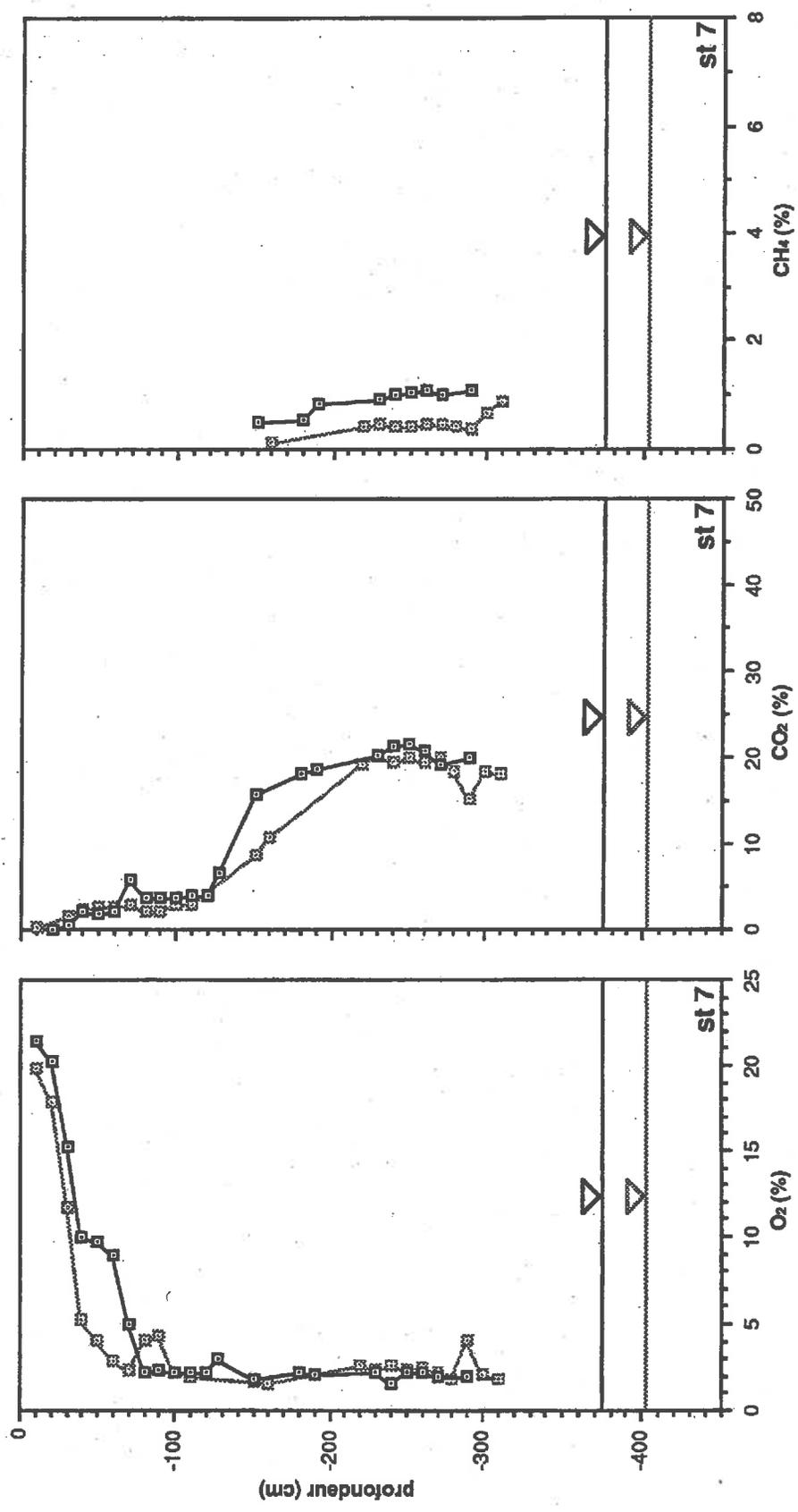












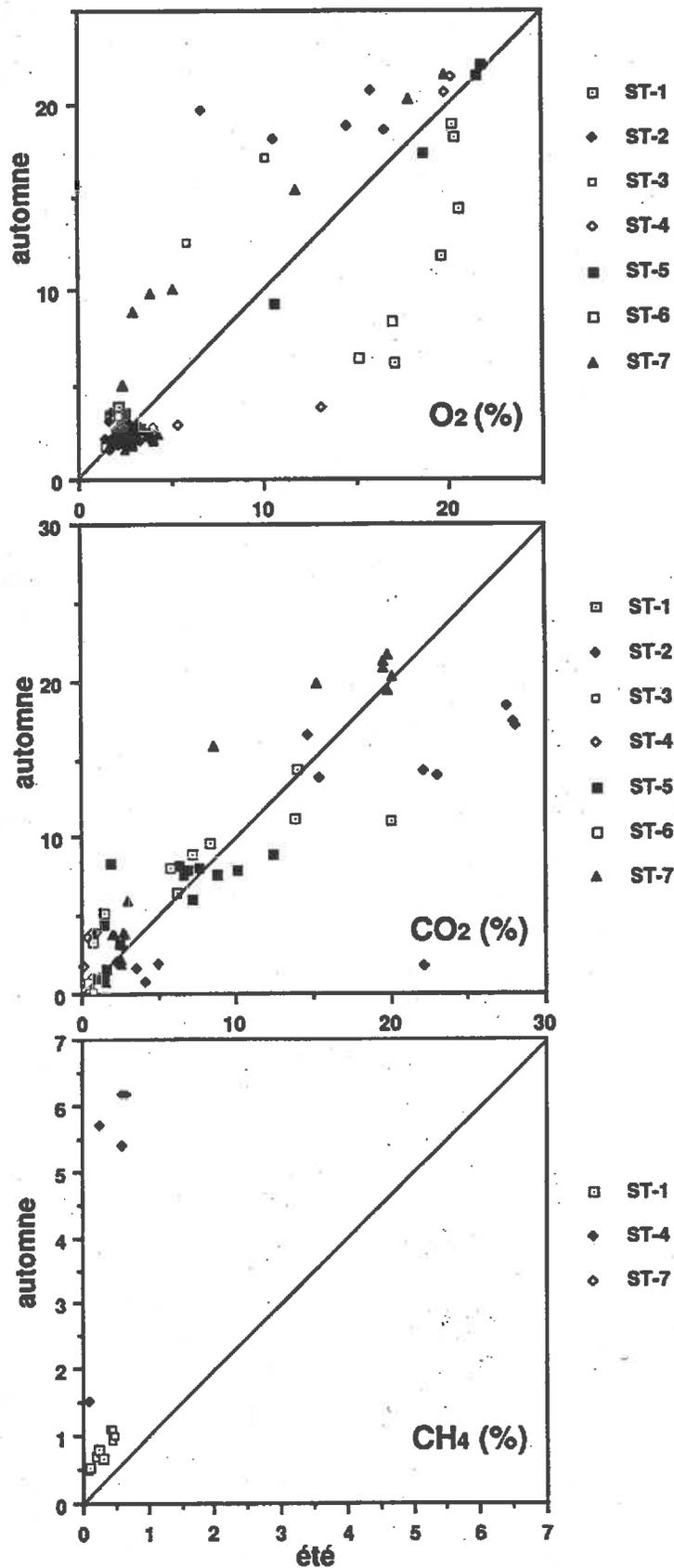
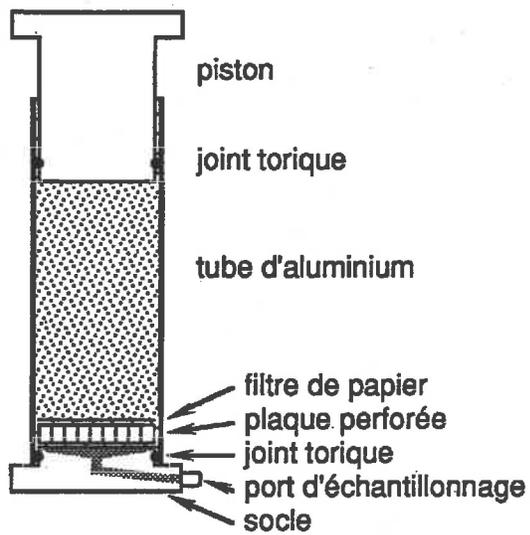


Figure 16. Comparaison des variations de composition des gaz de mêmes profondeurs entre l'automne et l'été. La diagonale indique des compositions identiques aux deux périodes d'échantillonnage.

DISPOSITIF D'EXTRACTION



PRESSE

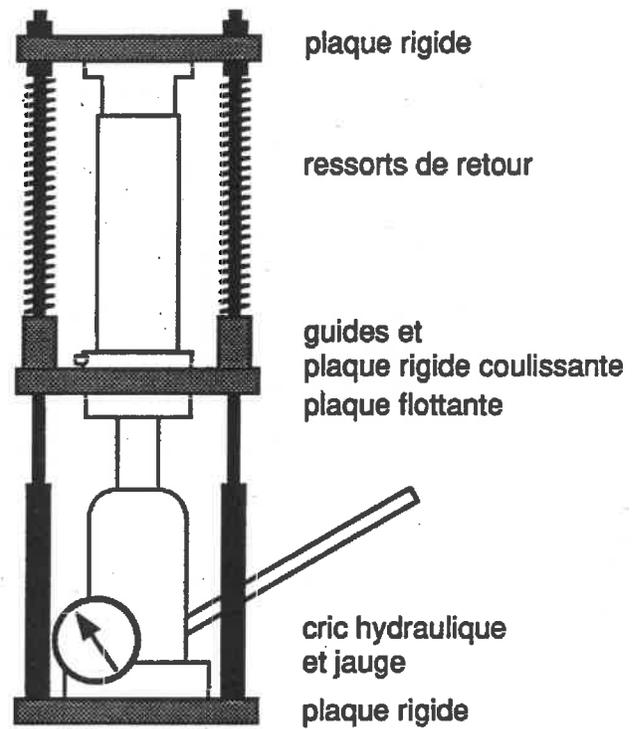


Figure 17. Dispositif d'extraction de l'eau interstitielle des résidus miniers dans la zone vadose.

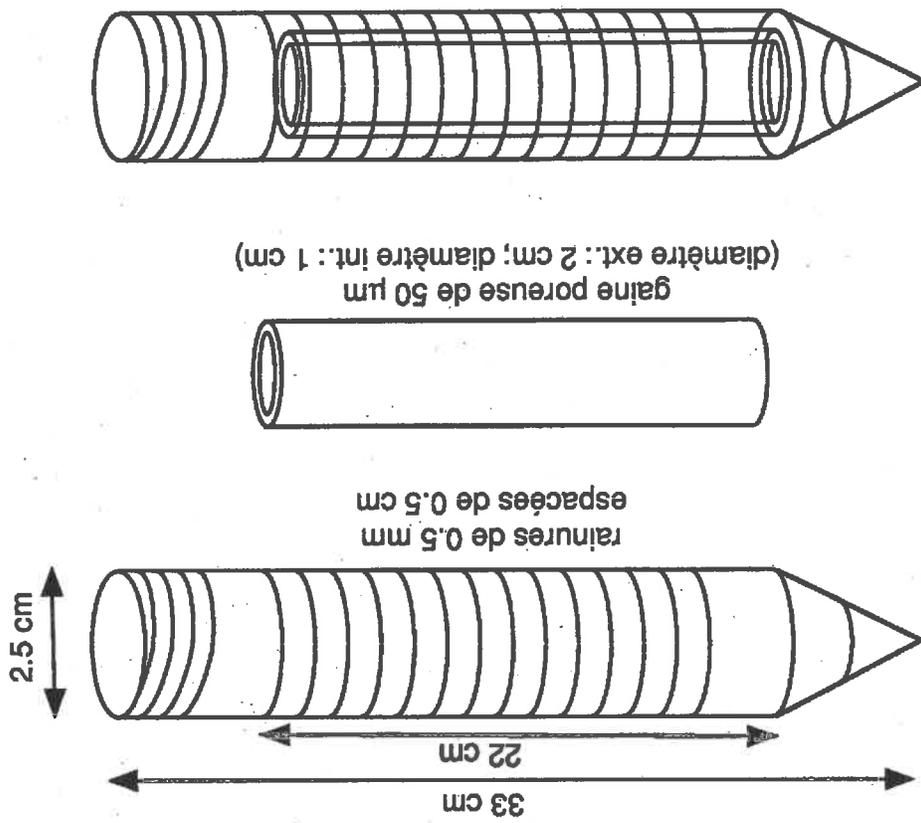
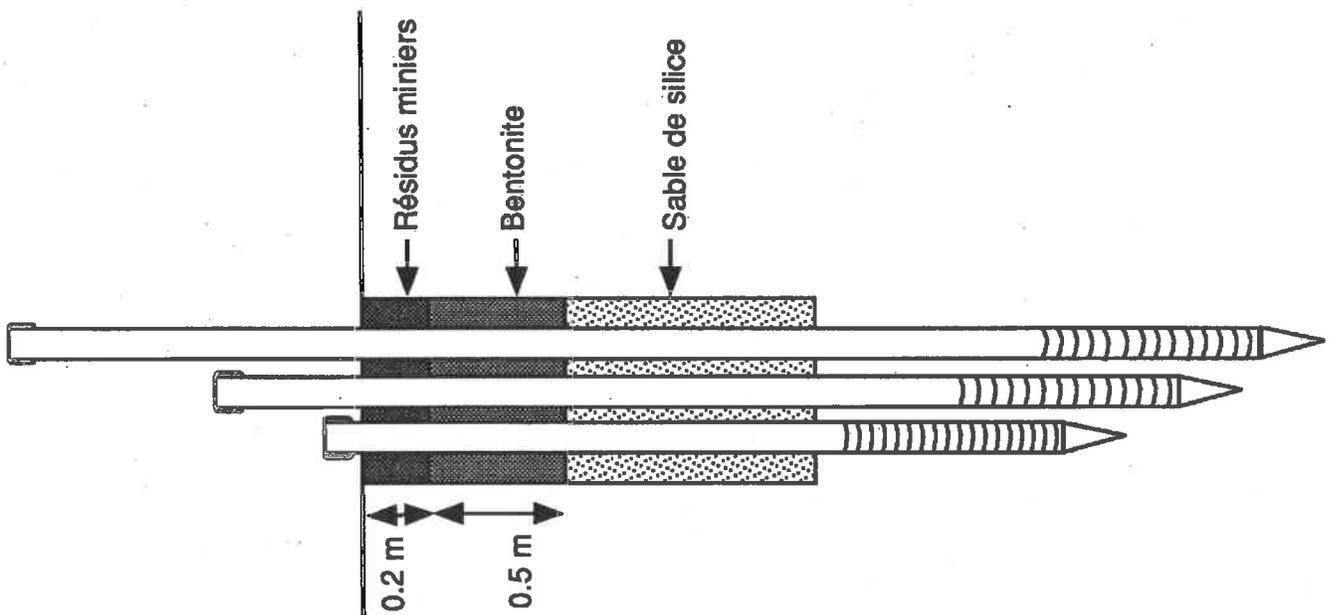


Figure 18. Schéma des piézomètres utilisés et de leur installation.

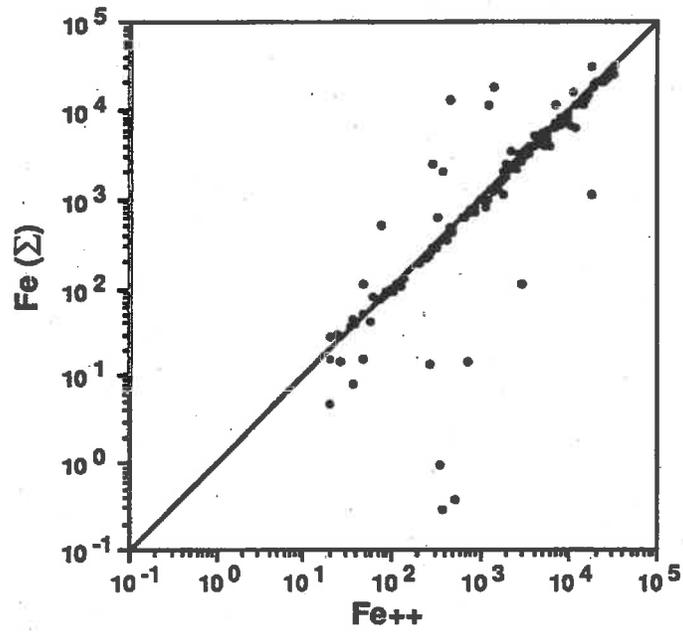
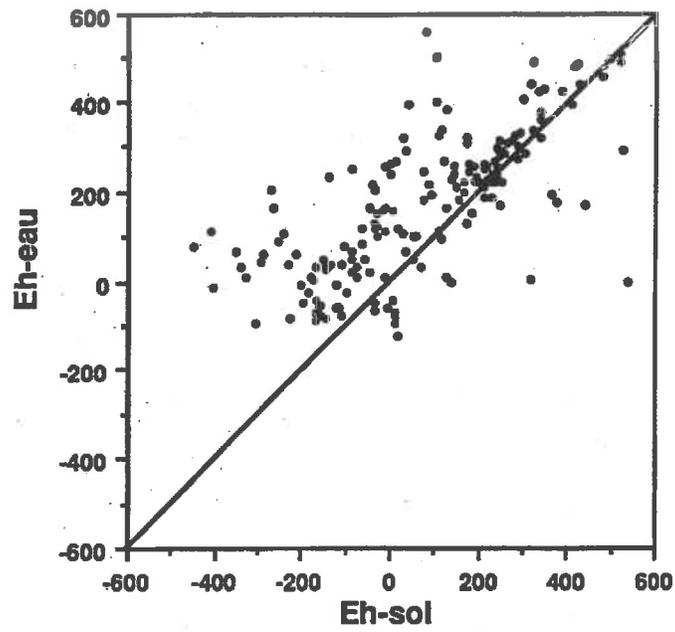
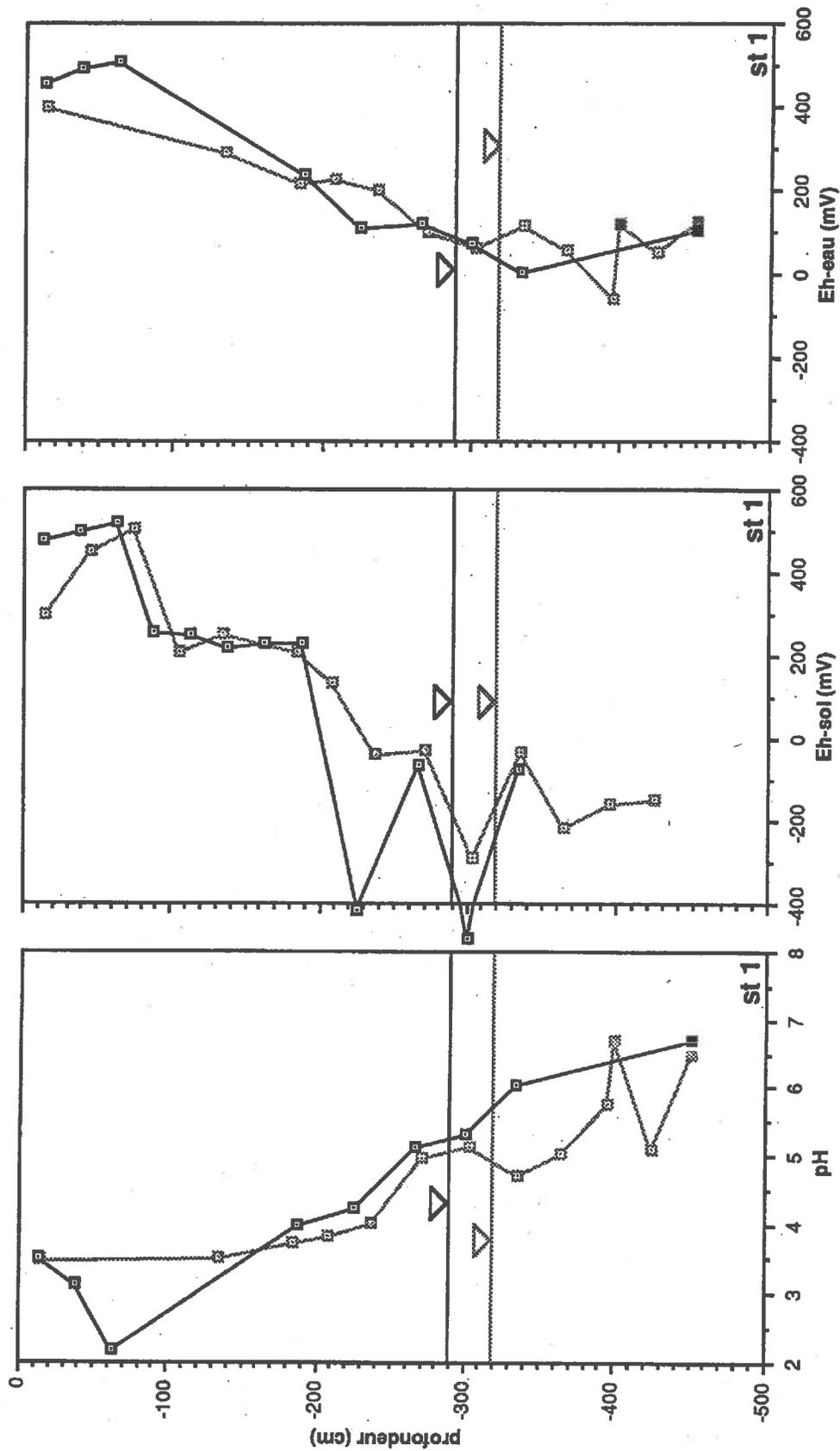
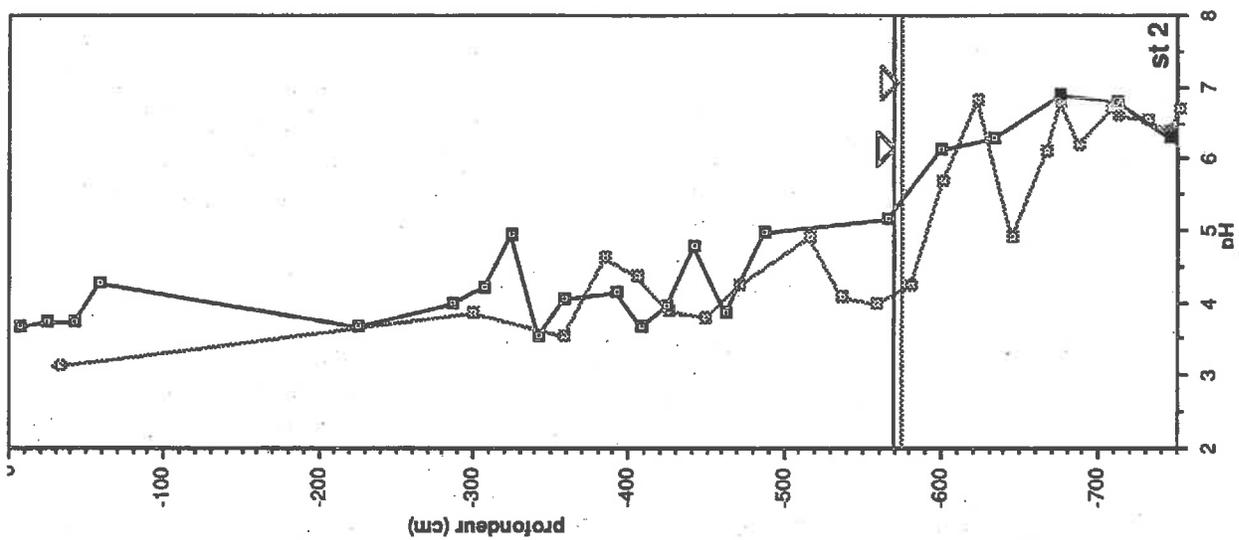
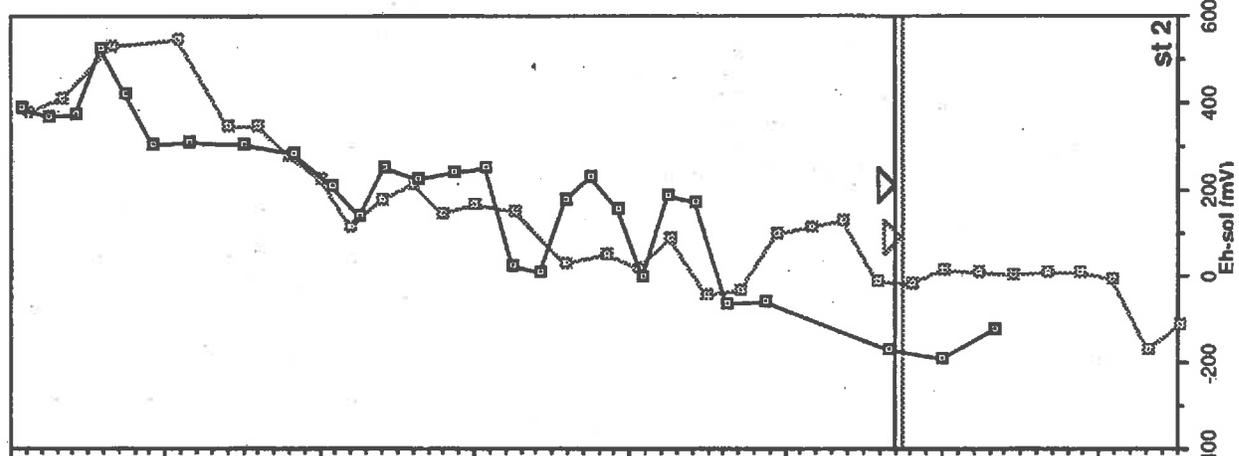
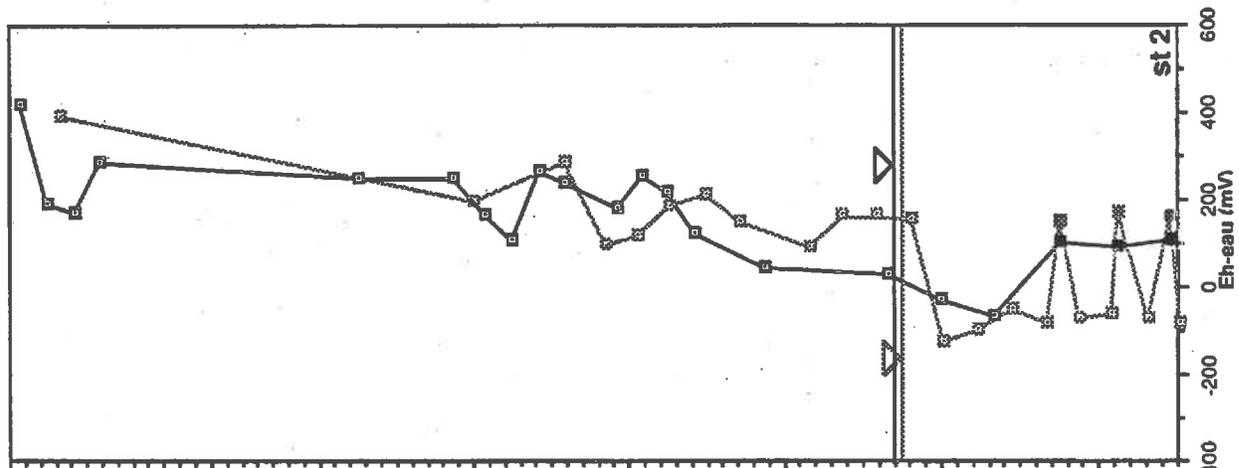
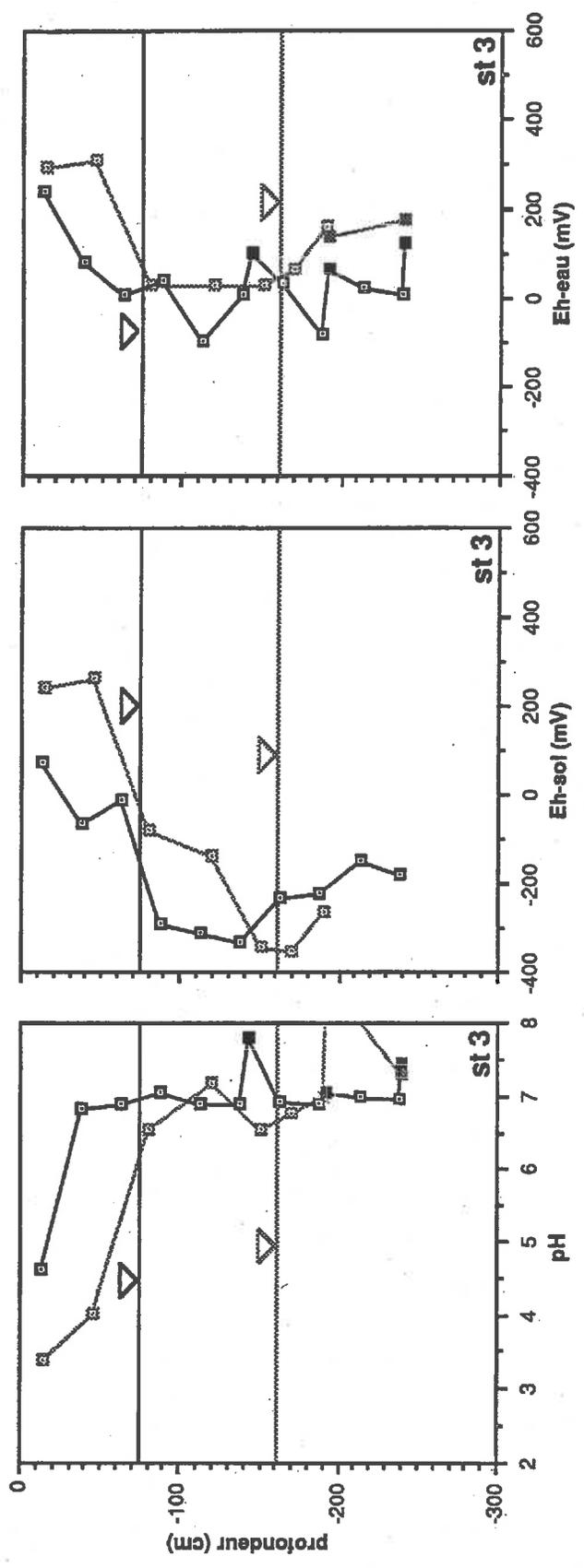


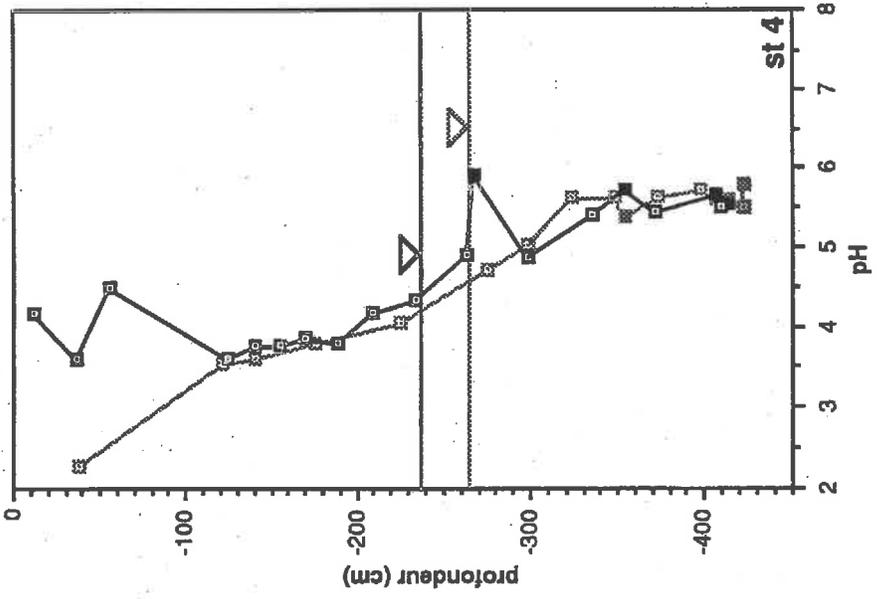
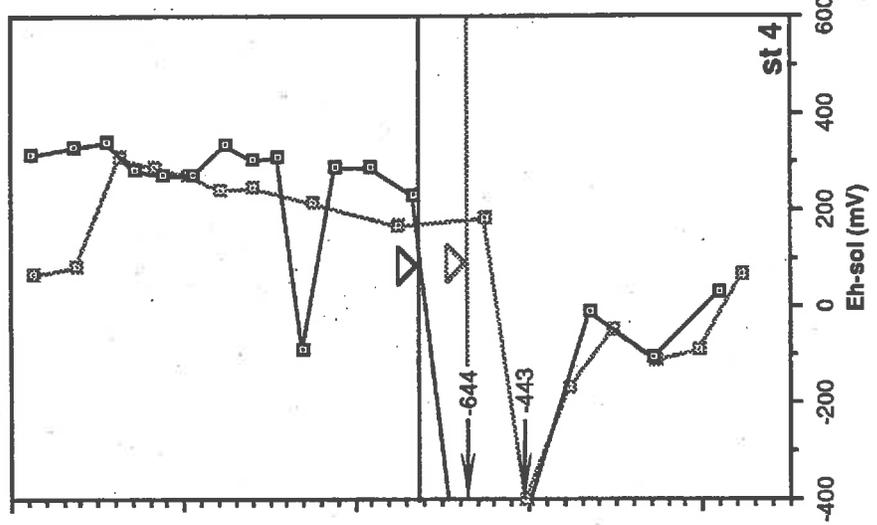
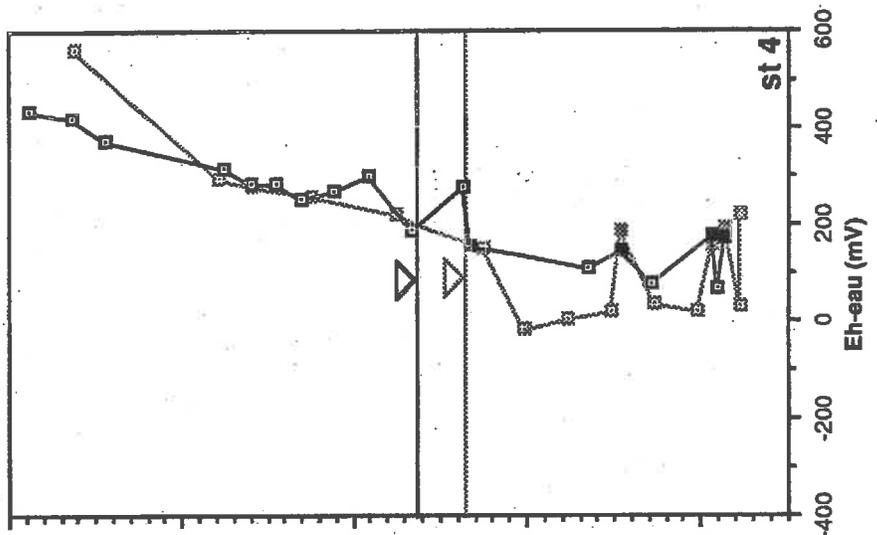
Figure 19. Comparaison Eh-sol vs Eh-eau et Fe+2 vs Fe(Σ). La diagonale indique des valeurs identiques pour le même échantillon.

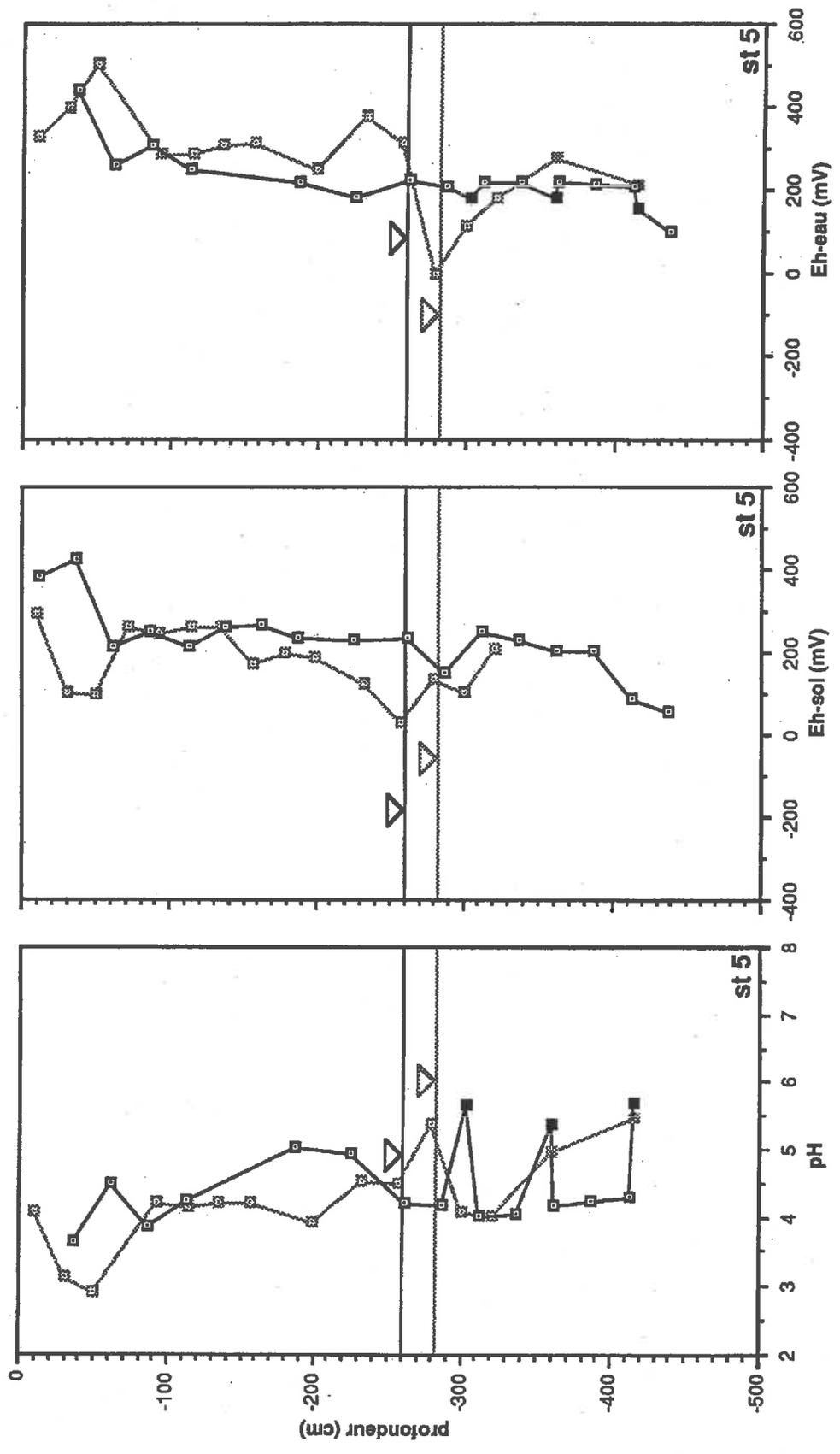
Figure 20. Profils des variations du pH et du Eh dans dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1). Les données du mois d'août apparaissent en gris et celles du mois d'octobre en noir. Les lignes avec un triangle inversé indiquent le niveau de la nappe phréatique le 4 septembre et le 30 octobre. Les carrés pleins correspondent à des analyses d'eau de piézomètres.

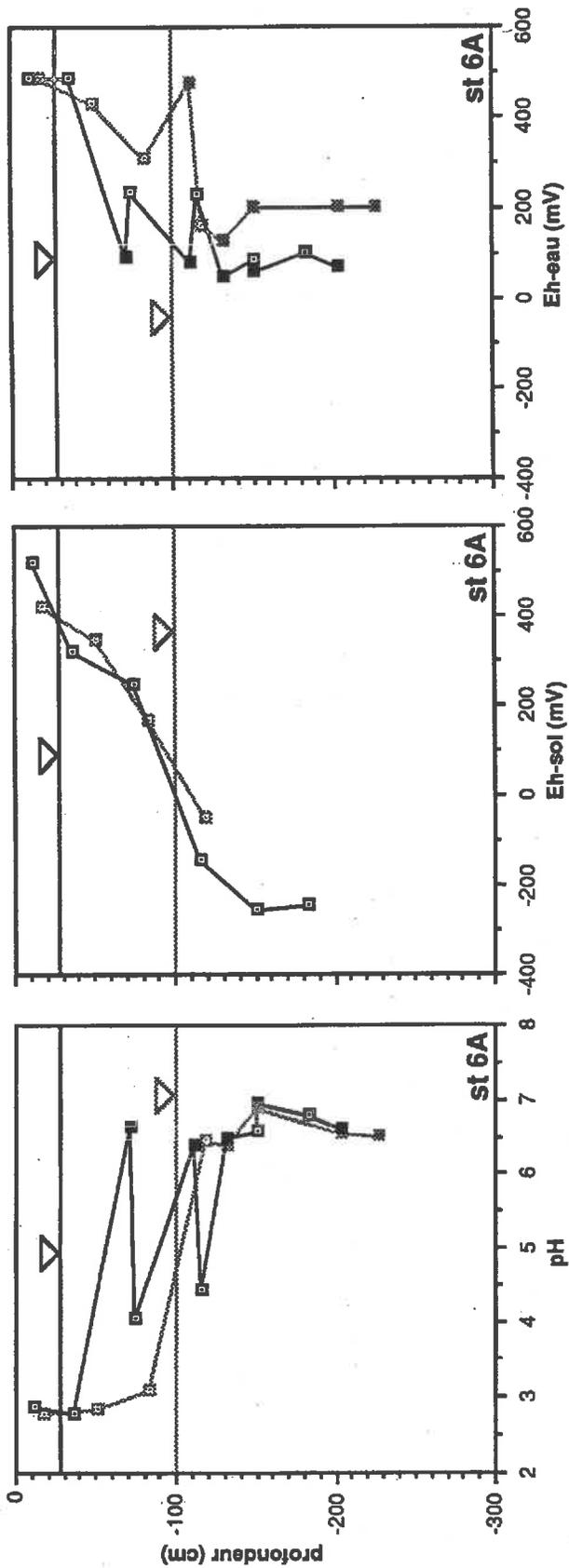


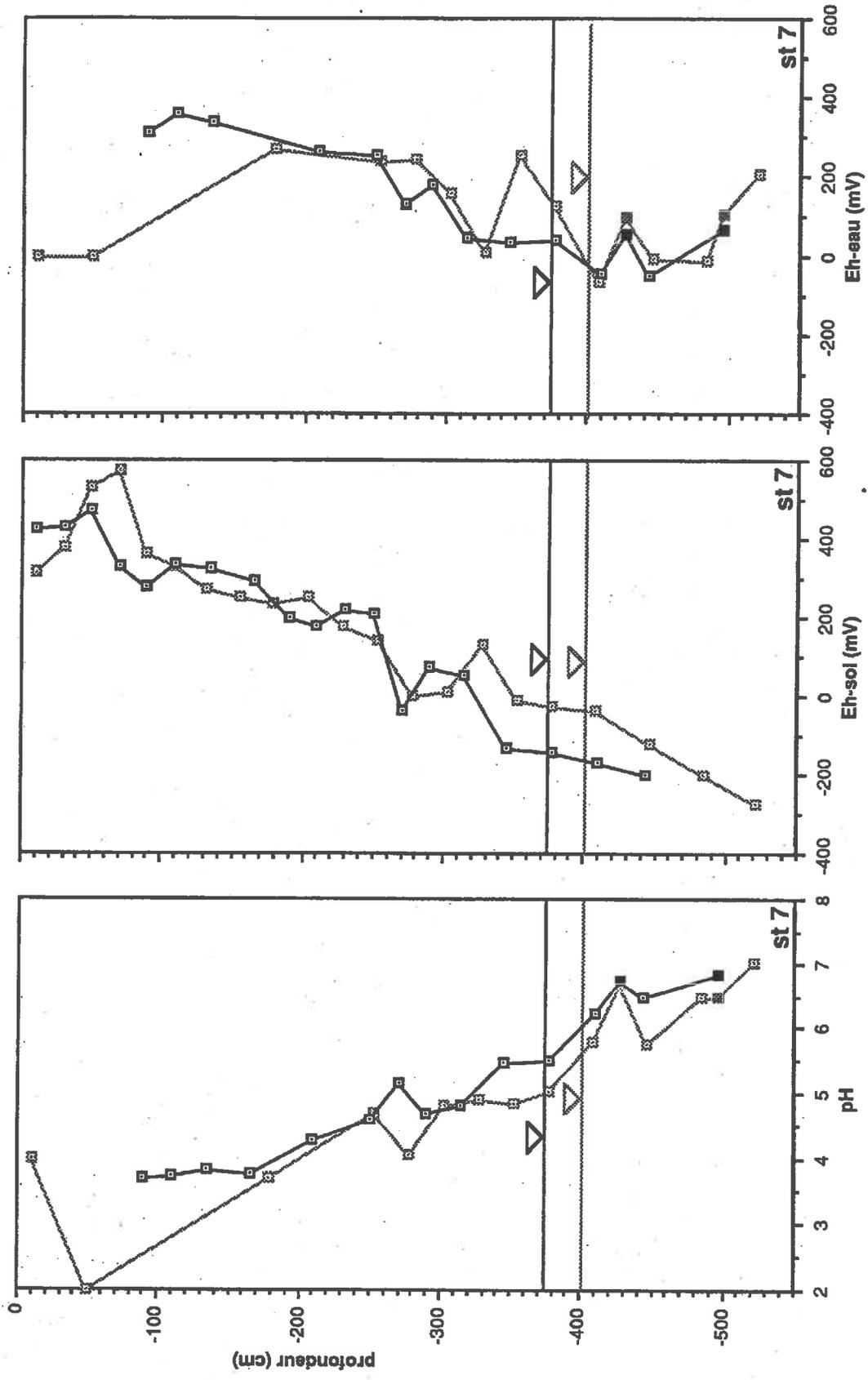












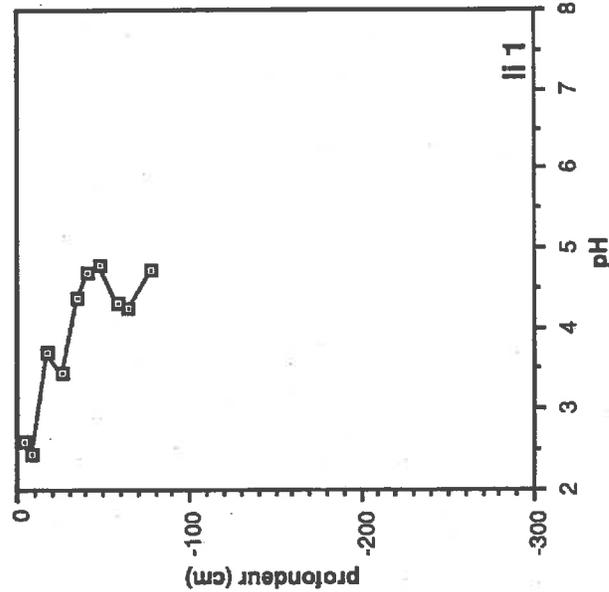
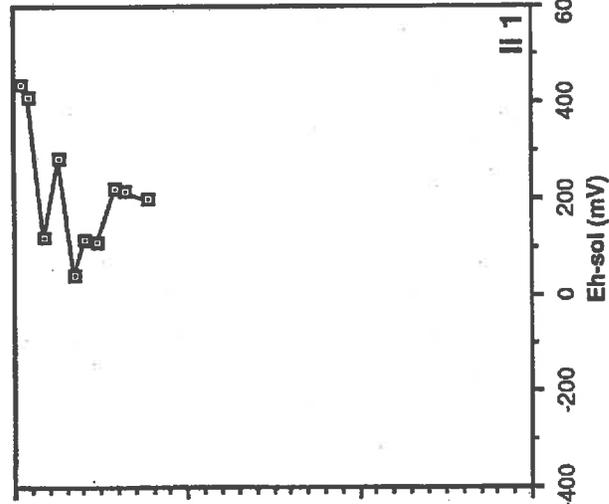
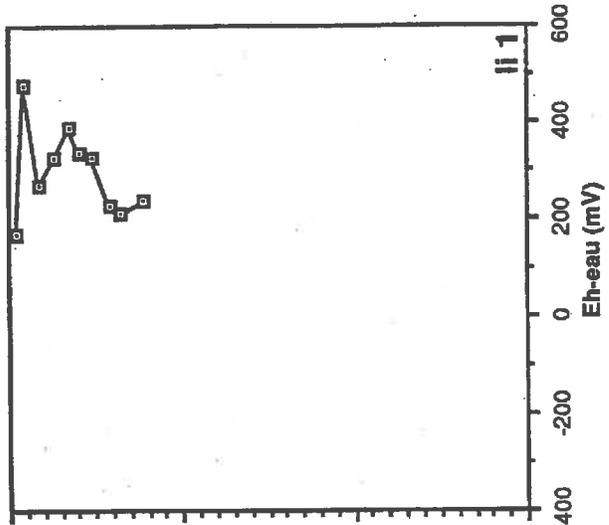
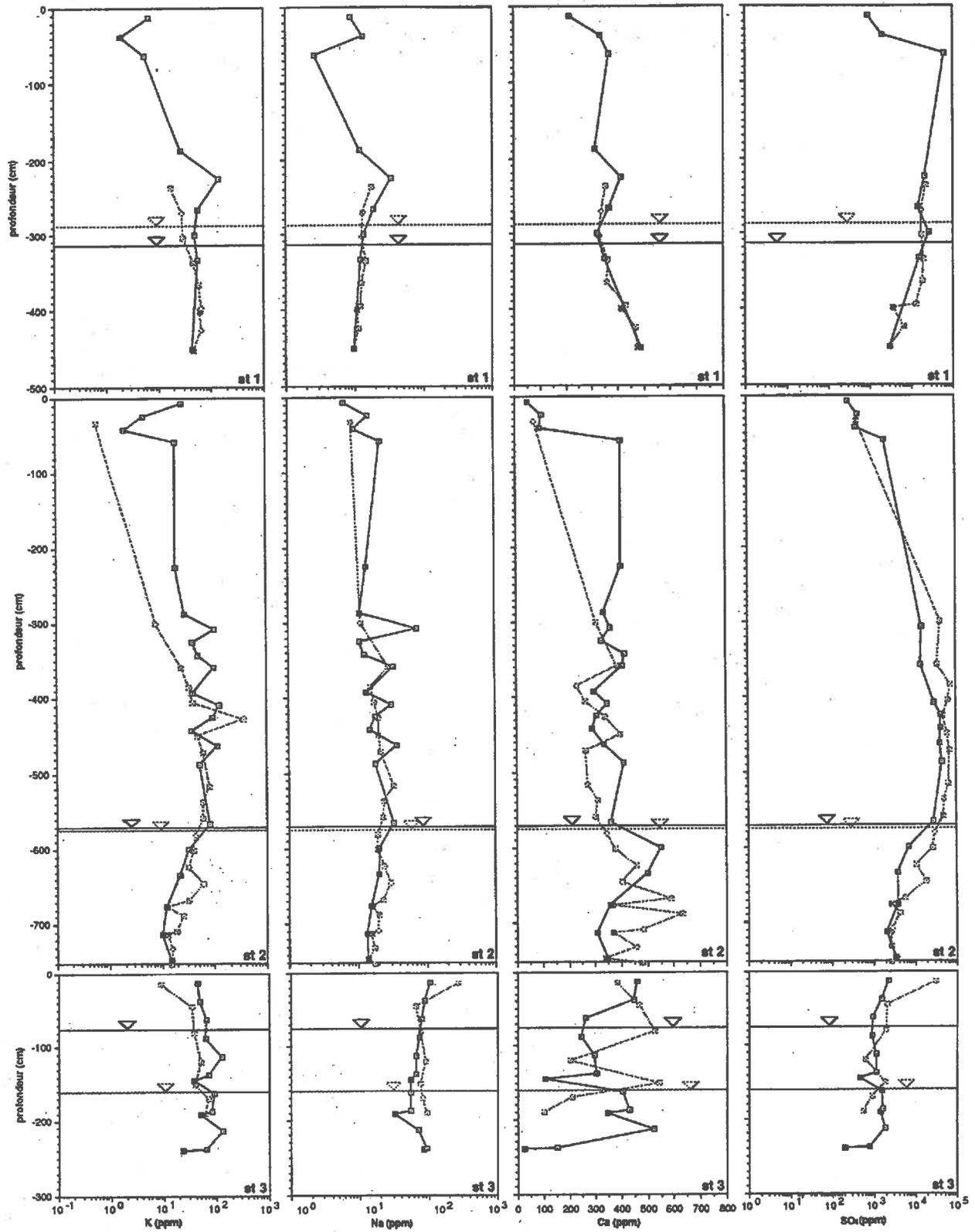
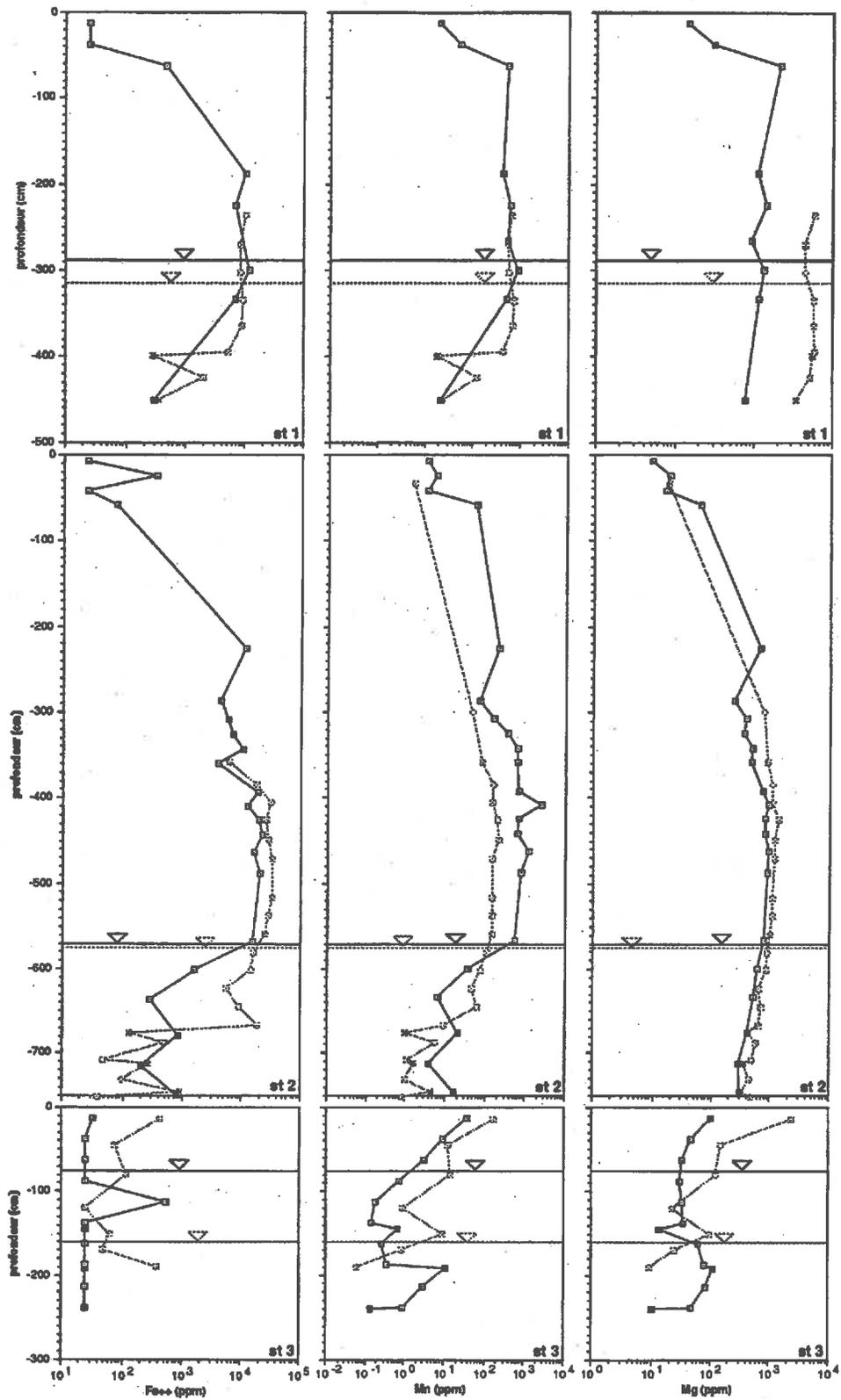
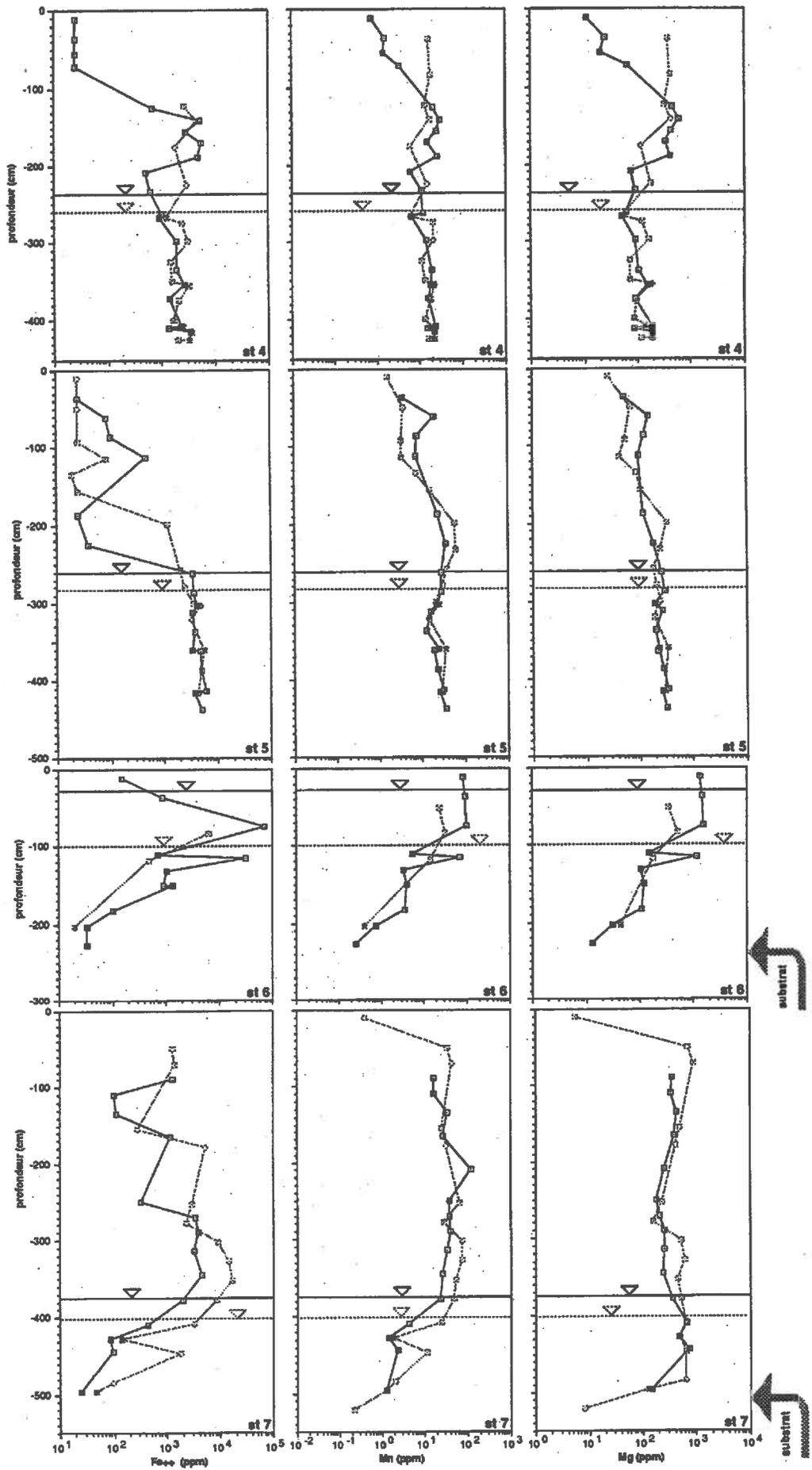
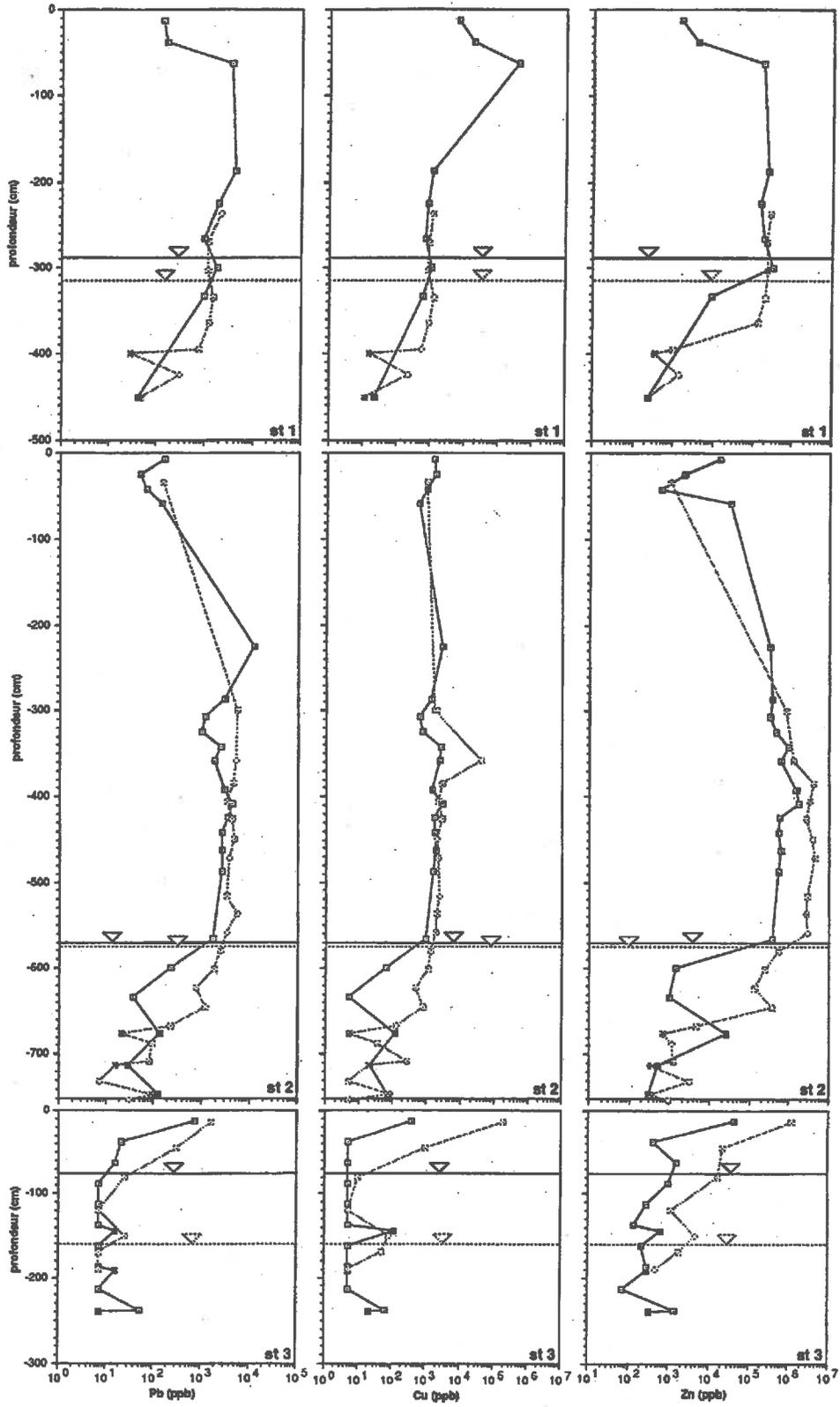


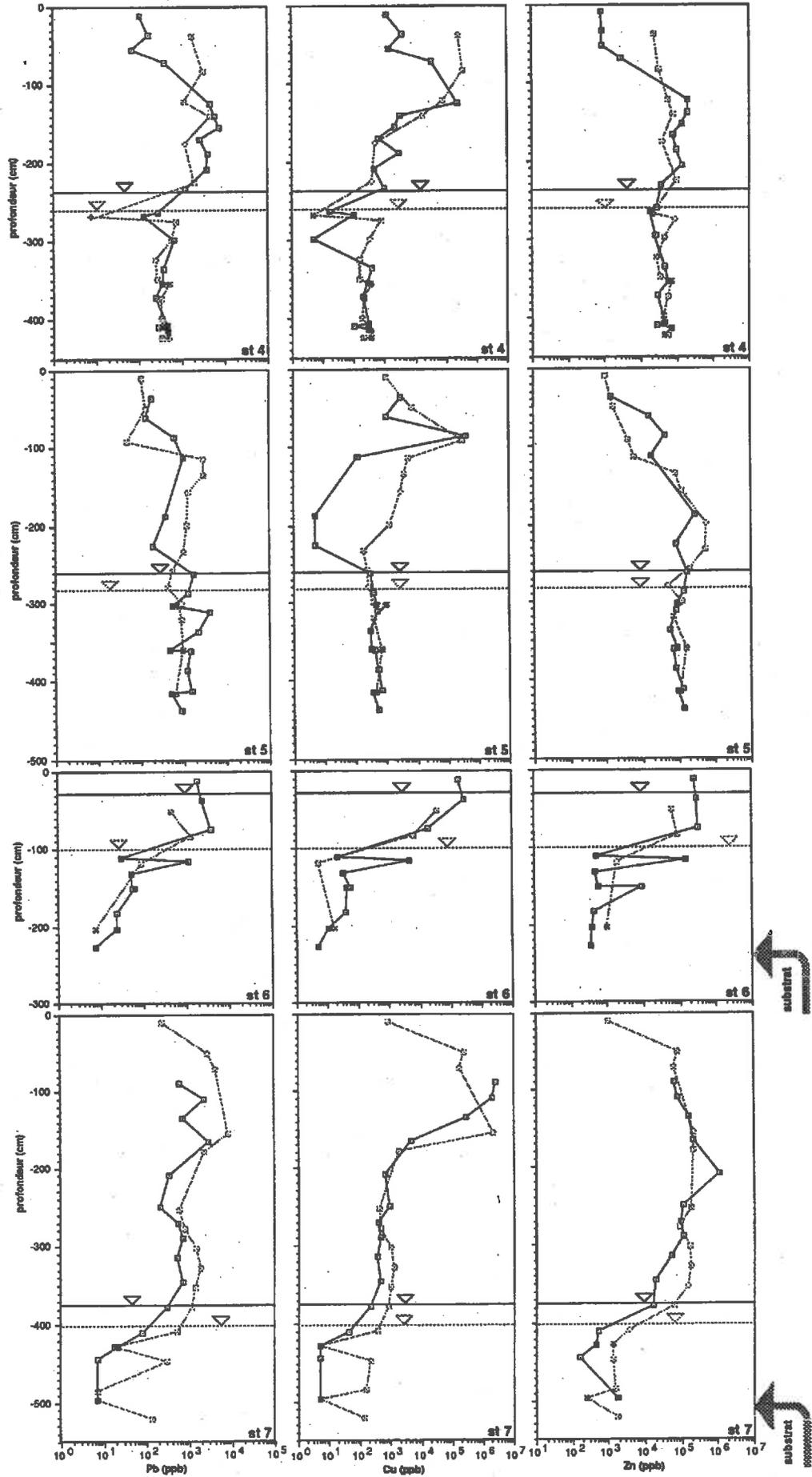
Figure 21. Profils des variations de Ca et SO_4^{2-} , K et Na, Fe, Mg et Mn, Pb, Cu et Zn, et Cd, Ni et Co dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1). Les données du mois d'août apparaissent en gris et celles du mois d'octobre en noir. Les lignes avec un triangle inversé indiquent le niveau de la nappe phréatique le 4 septembre et le 30 octobre. Les carrés pleins correspondent à des analyses d'eau de piézomètres.

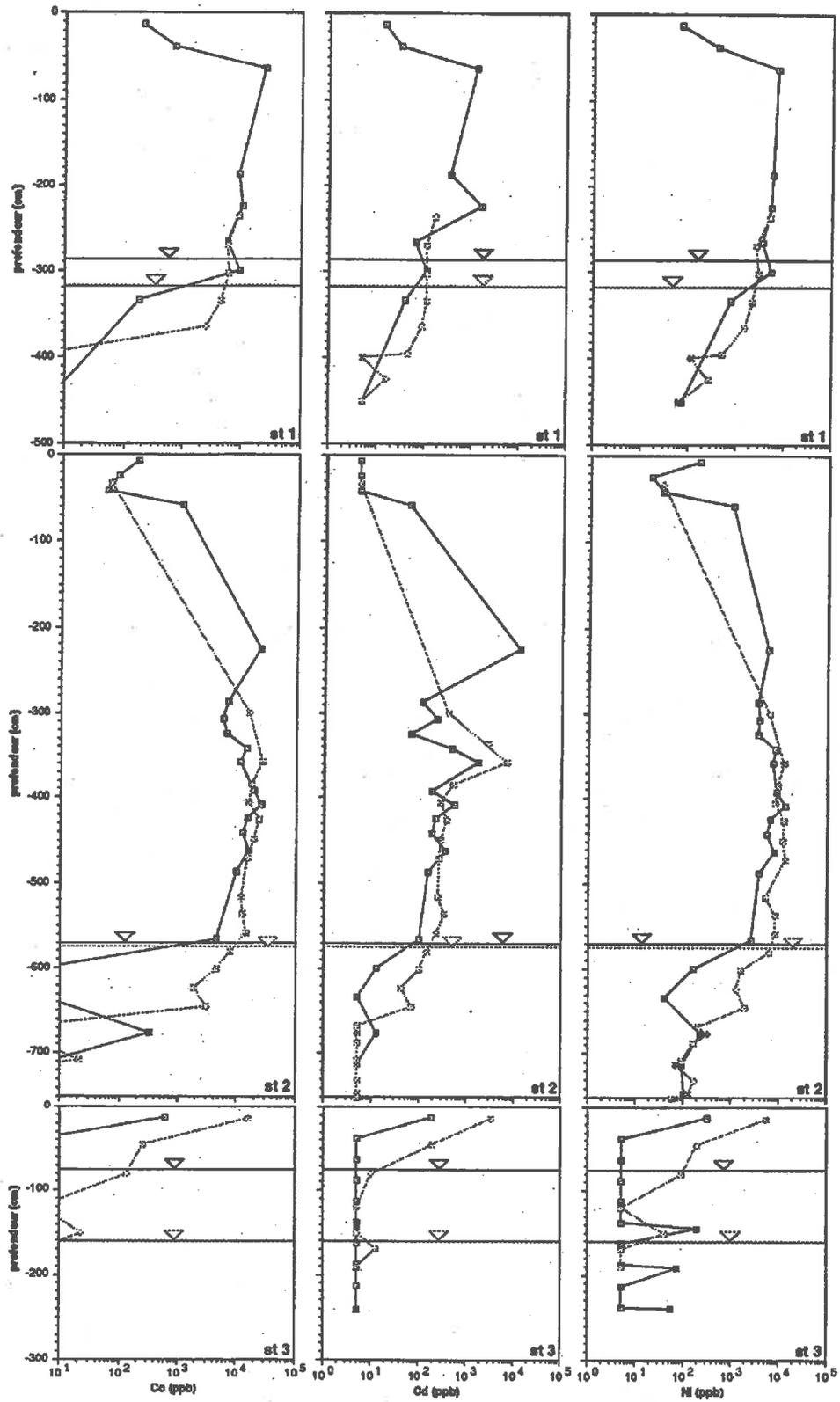


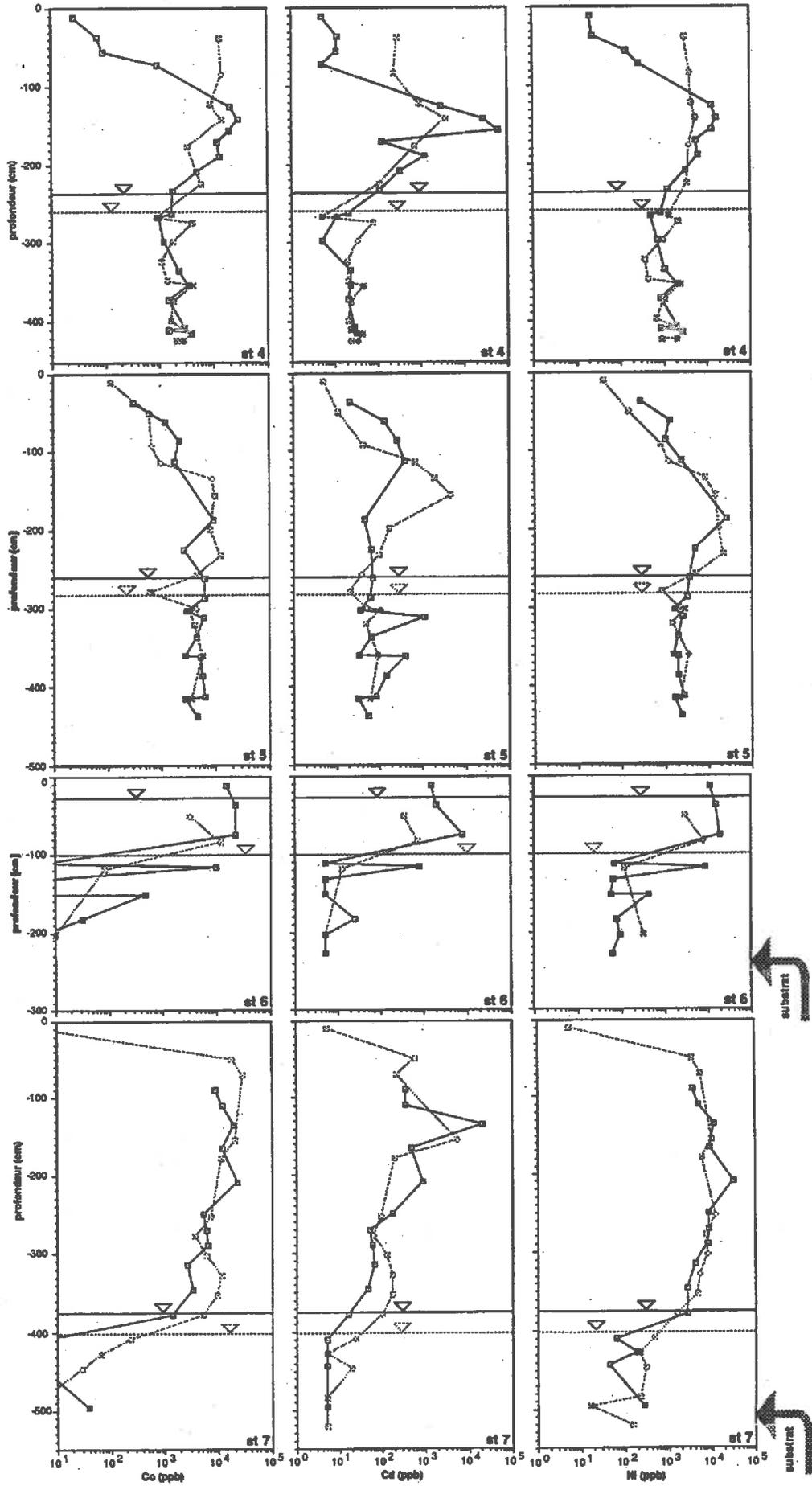


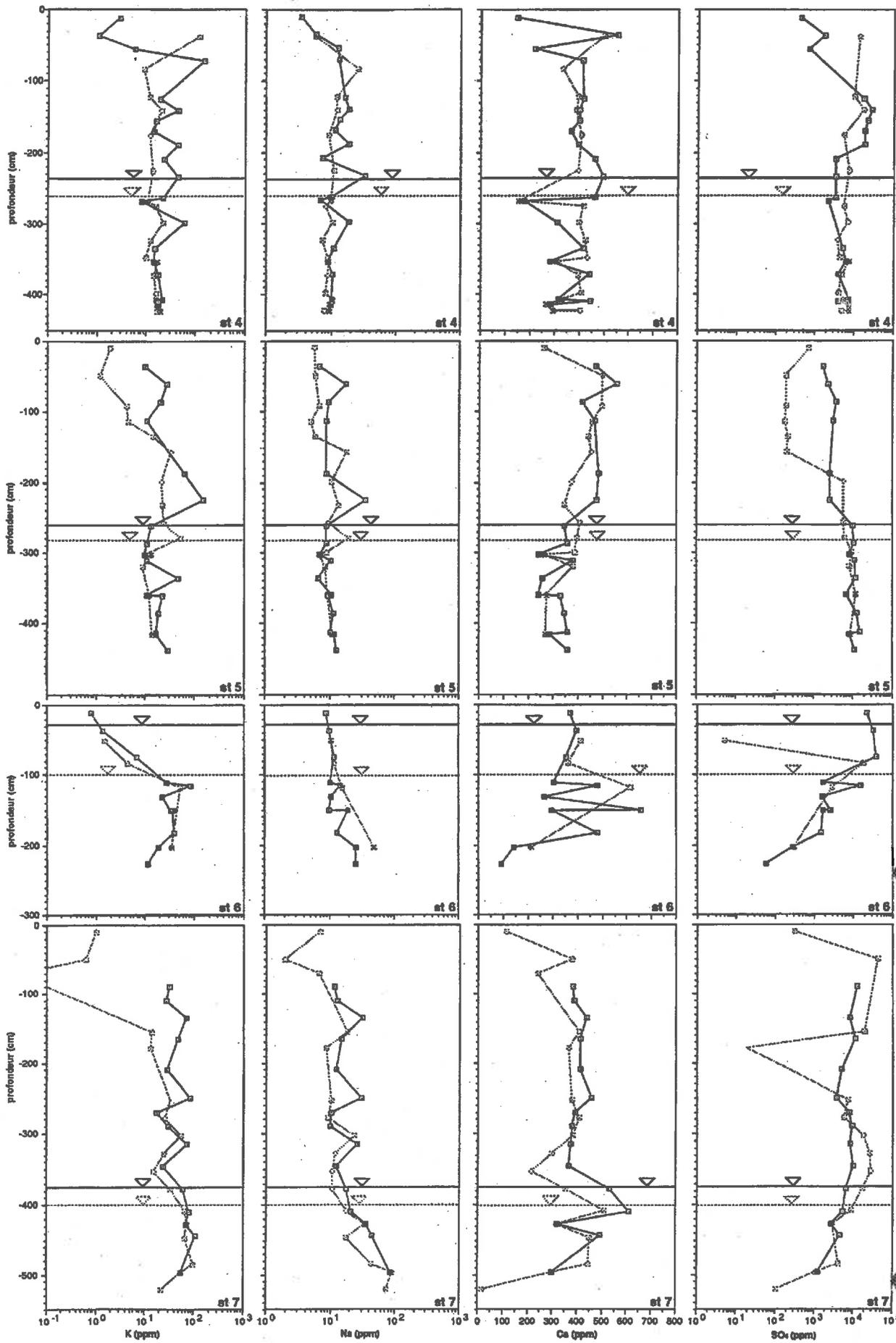


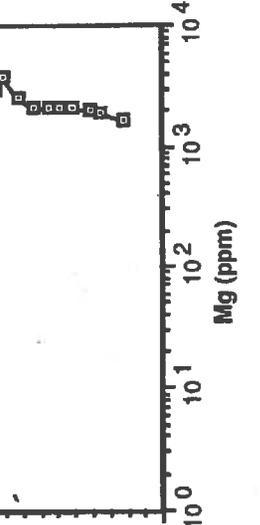
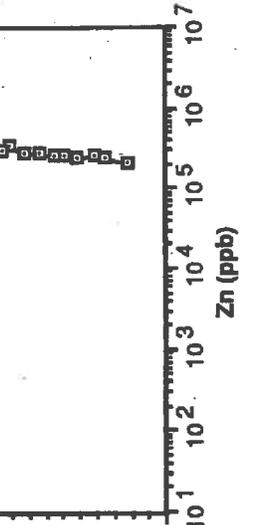
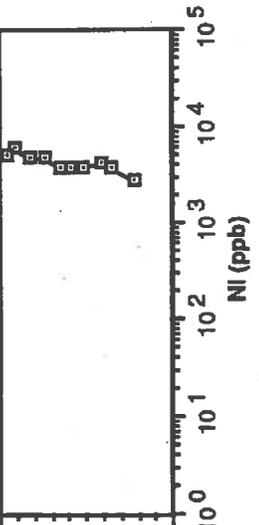
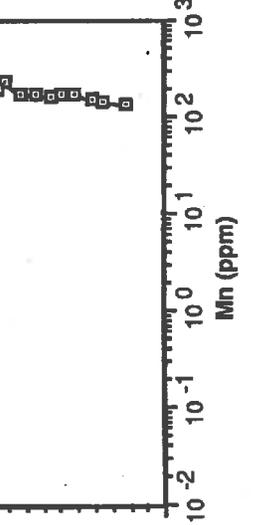
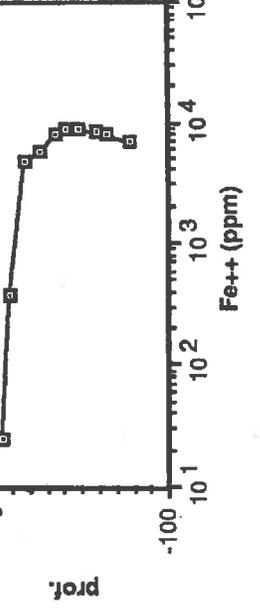
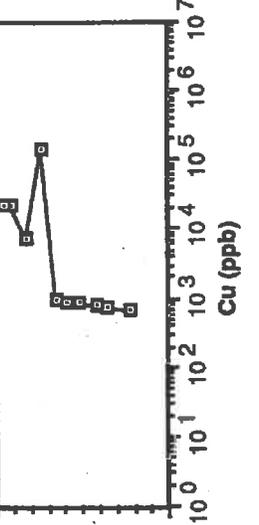
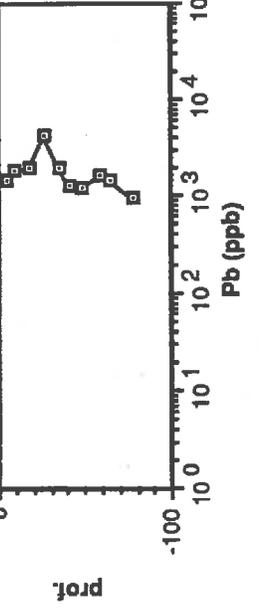
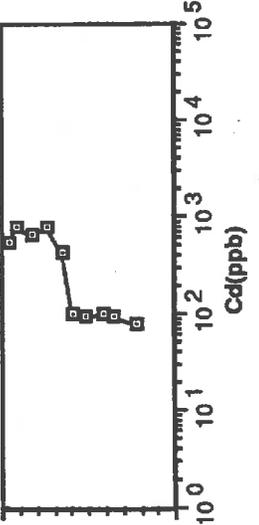
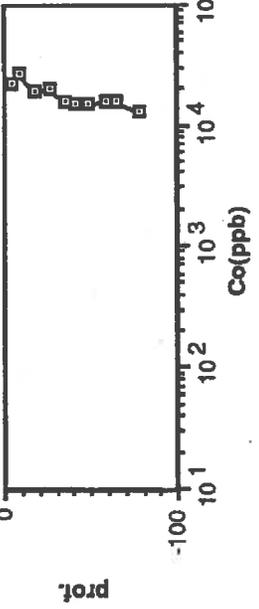
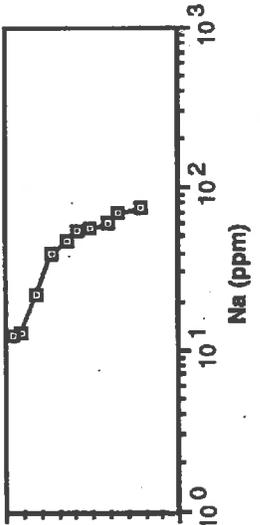
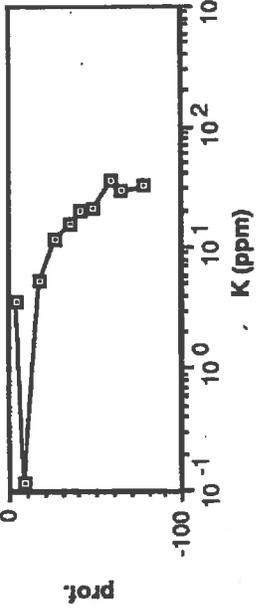
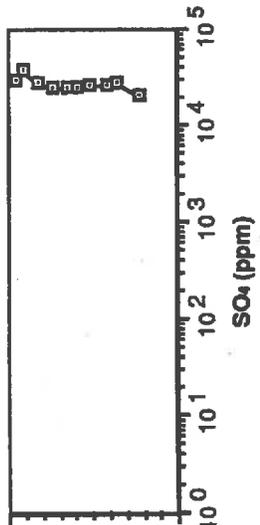
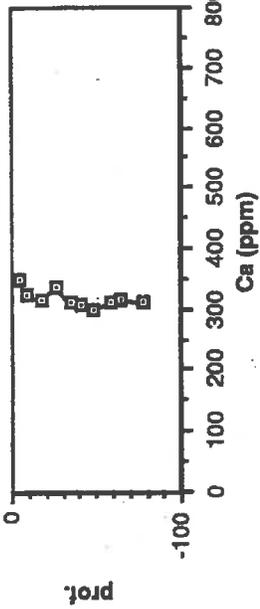












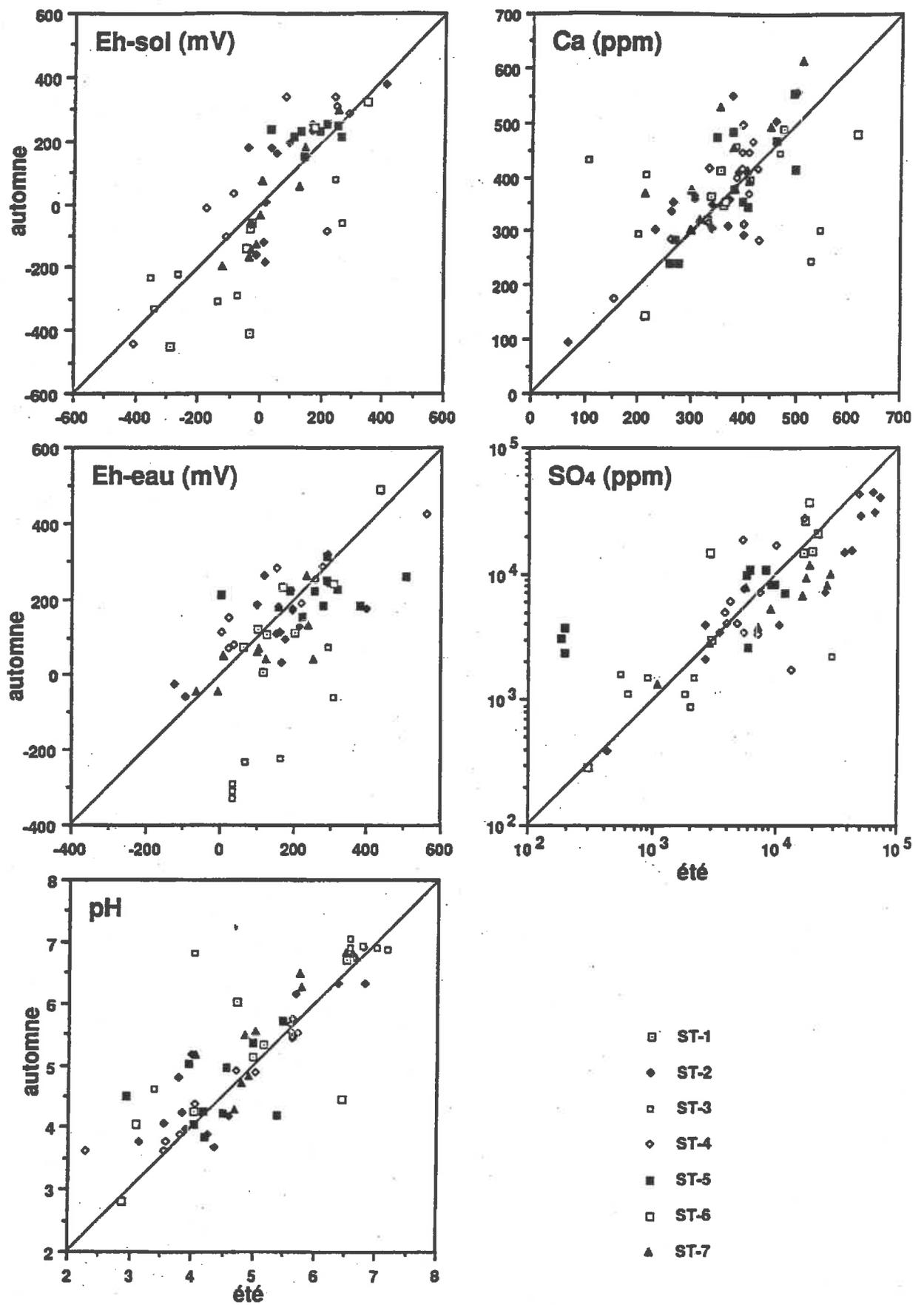


Figure 22. Comparaison des variations de composition des eaux interstitielles de mêmes profondeurs (± 15 cm) entre l'été et l'automne. La diagonale indique des compositions identiques aux deux périodes d'échantillonnage.

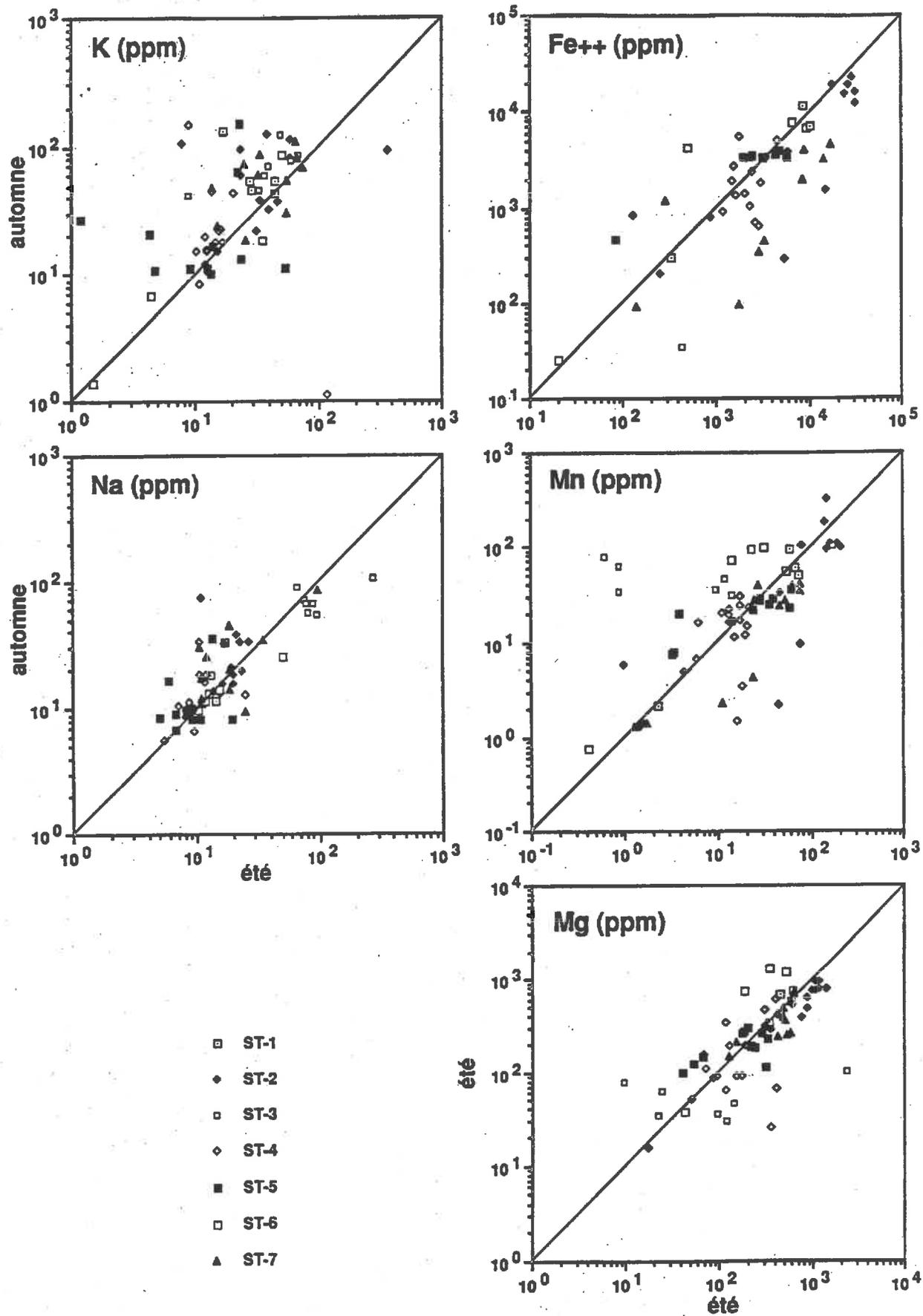


Figure 22. (suite): Comparaison des variations de composition des eaux interstitielles de mêmes profondeurs (± 15 cm) entre l'été et l'automne.

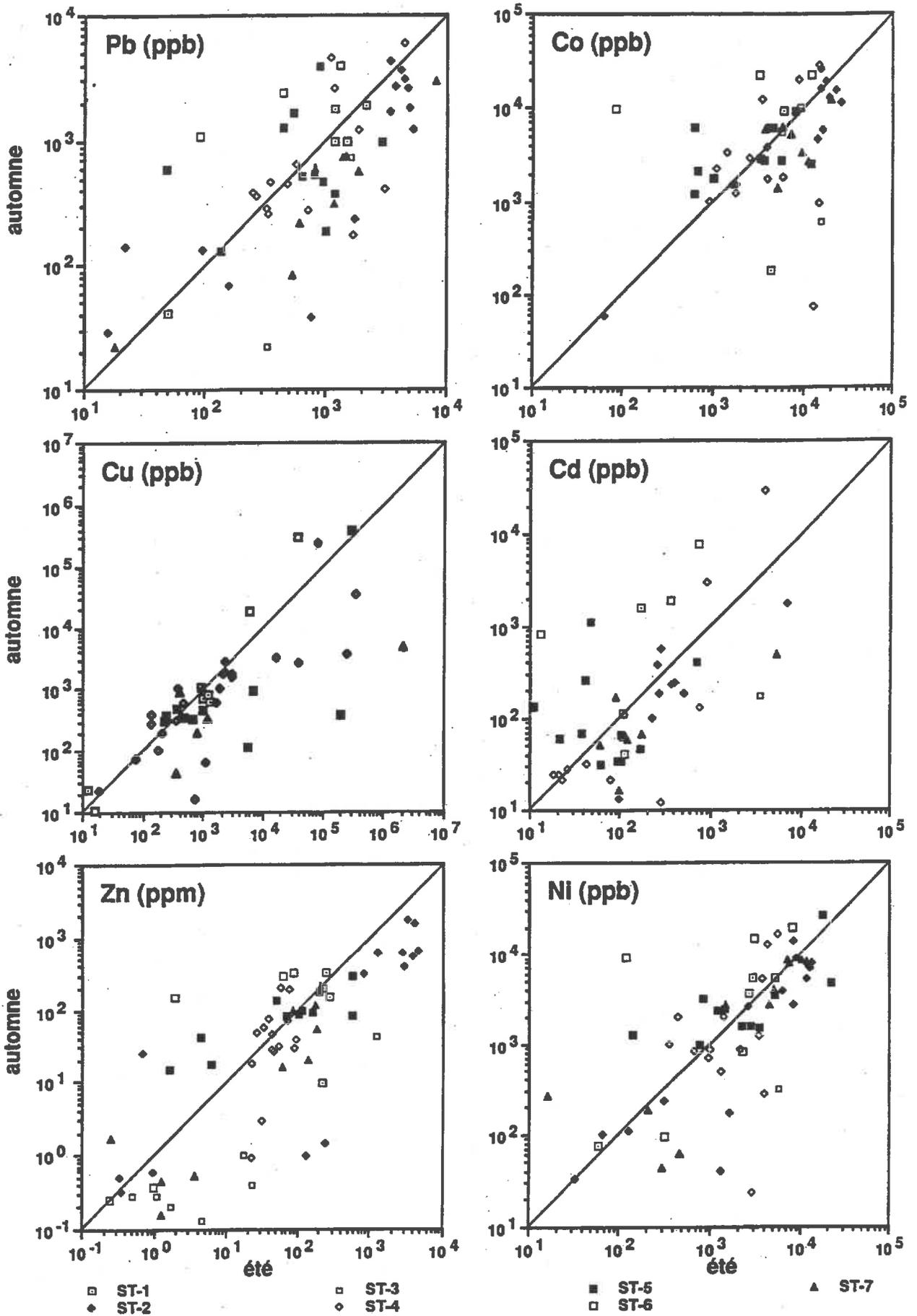


Figure 22. (suite): Comparaison des variations de composition des eaux interstitielles de mêmes profondeurs (± 15 cm) entre l'été et l'automne.

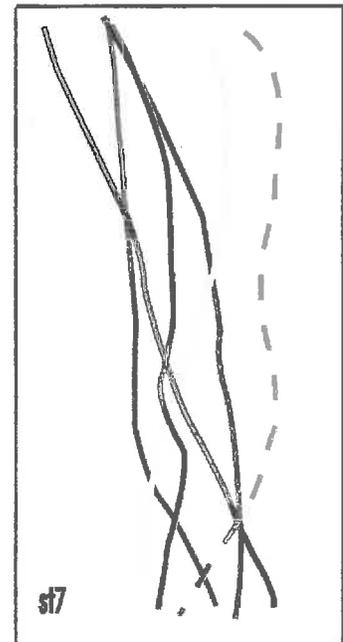
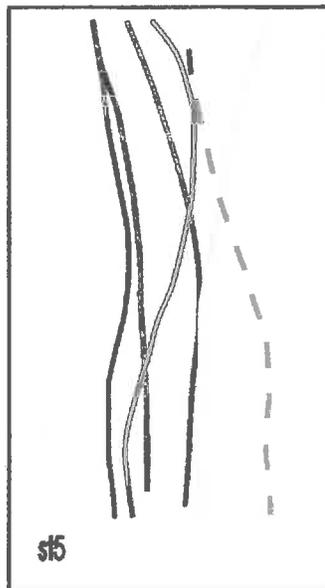
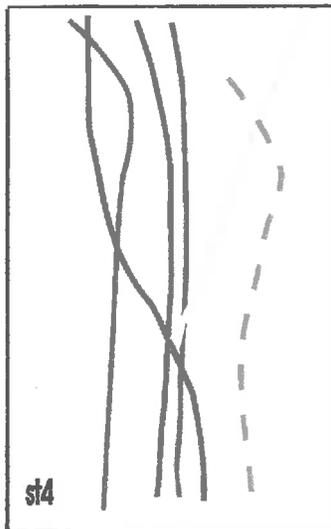
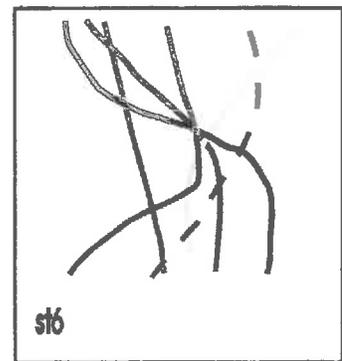
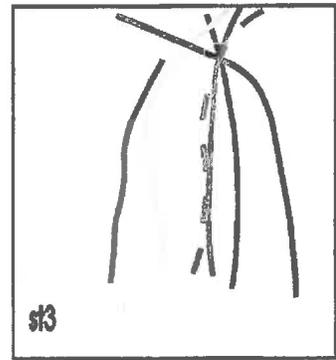
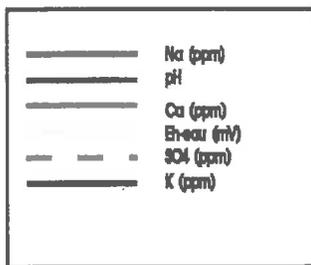
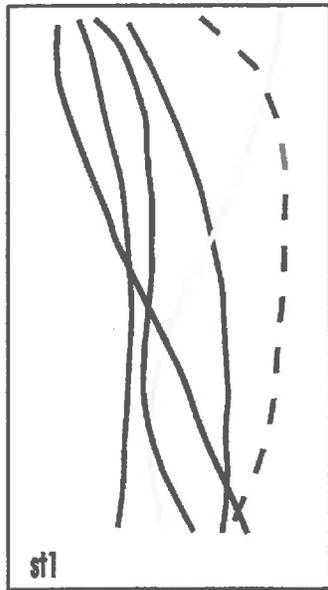


Figure 23. Comparaison des profils des paramètres mesurés lissés visuellement.

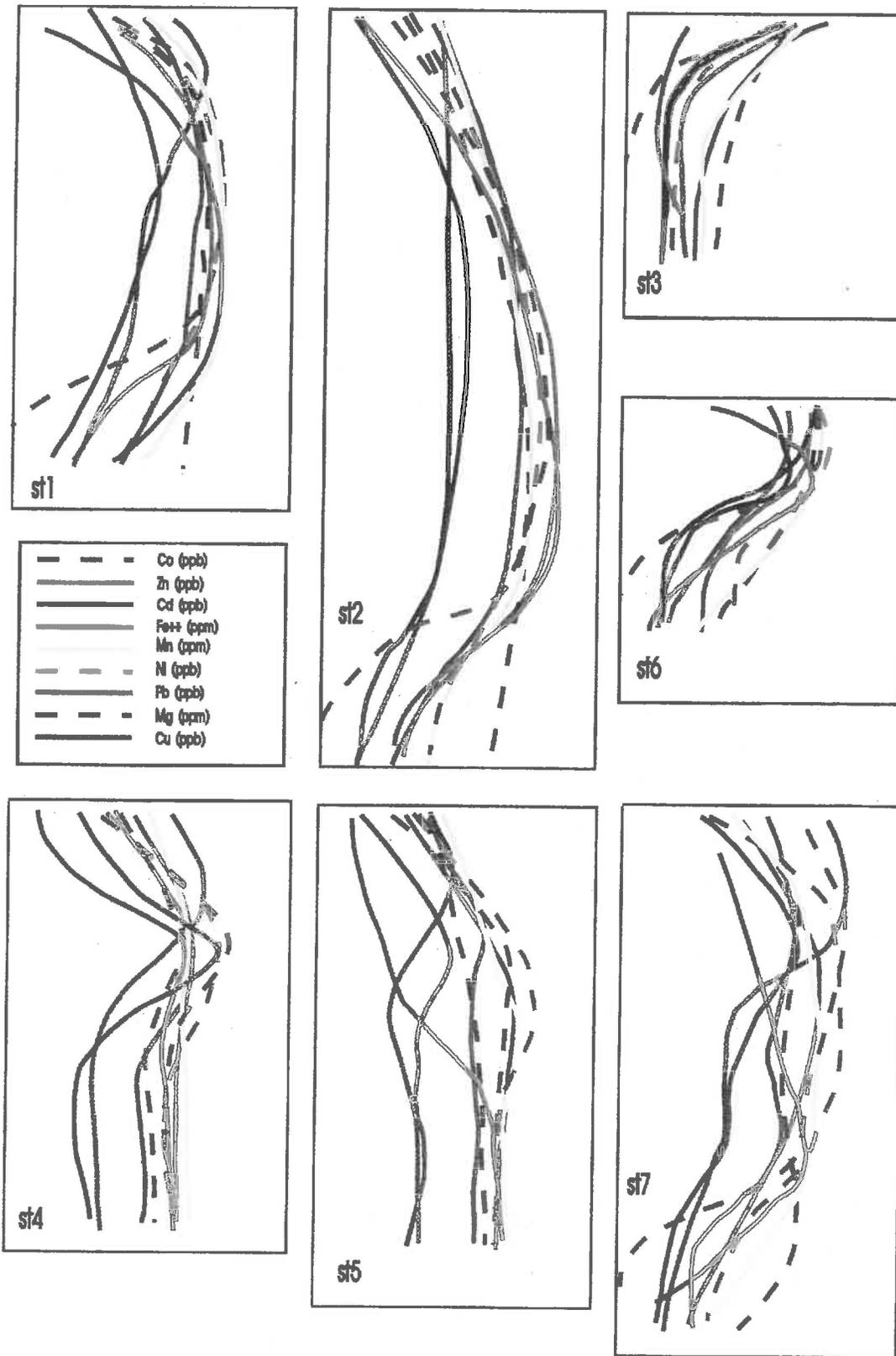


Figure 23. Suite: Comparaison des profils des paramètres mesurés lissés visuellement.

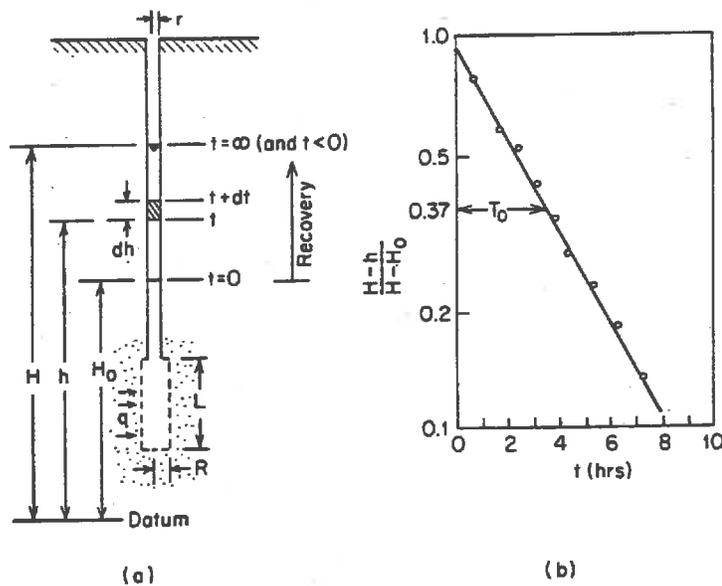


Figure 24. Définition des paramètres de mesure pour l'analyse de la conductivité hydraulique.

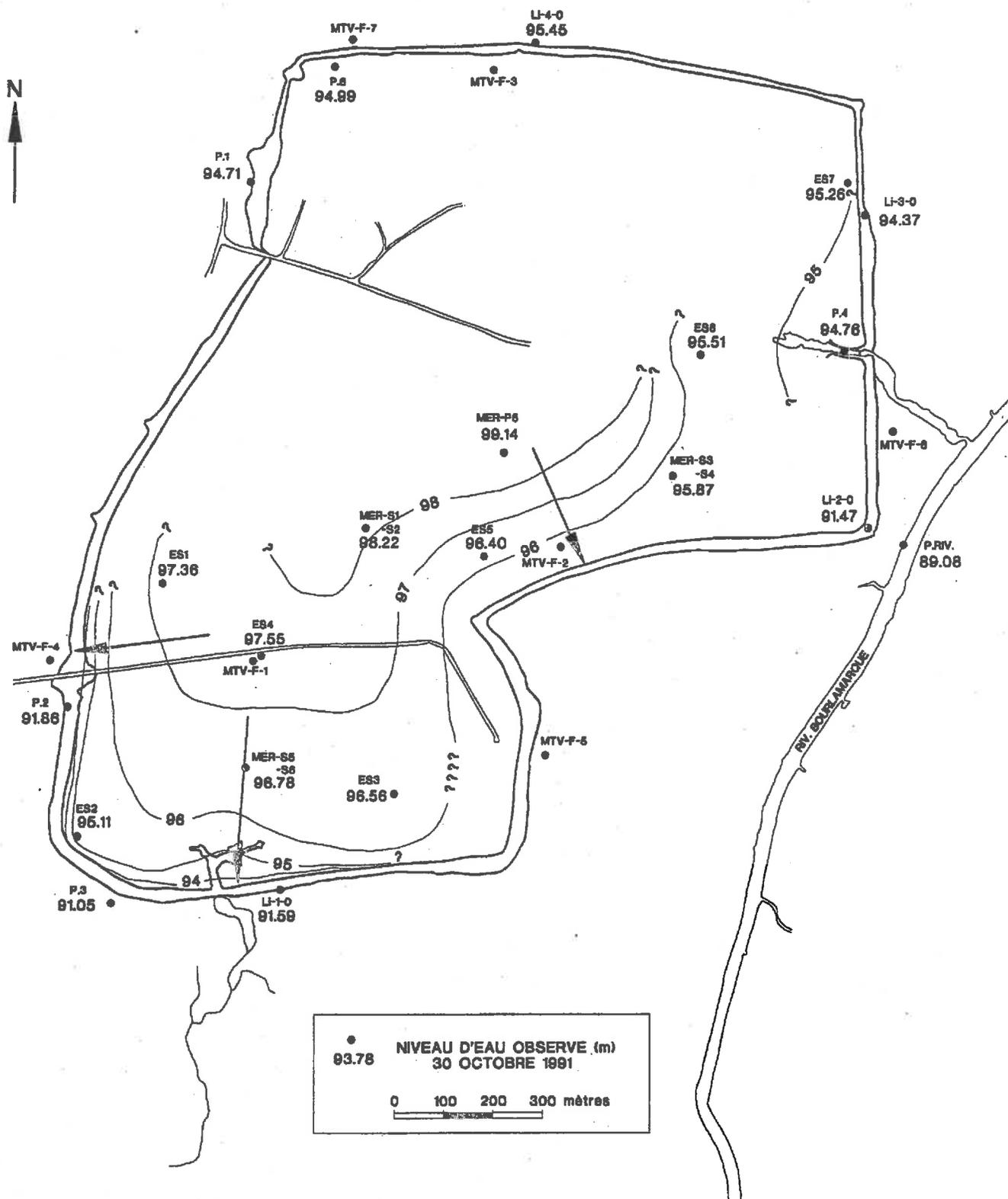


Figure 25. Contours de la surface de la nappe phréatique et directions générales d'écoulement.

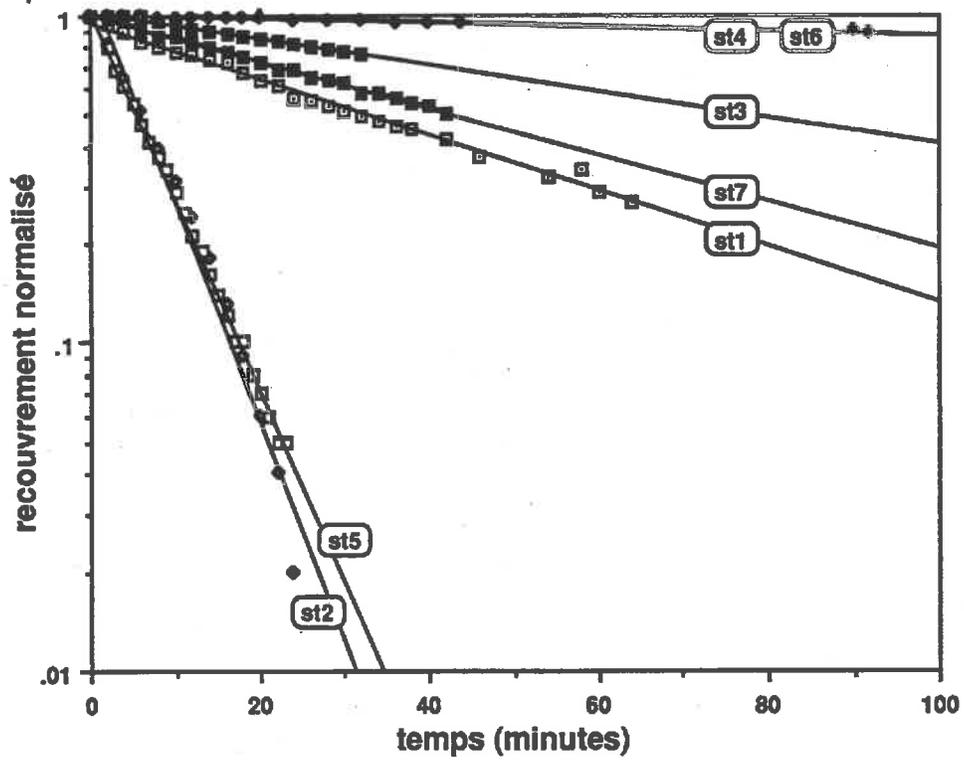


Figure 26. Recouvrement du niveau d'eau pour l'analyse de la conductivité hydraulique par la méthode Hvorslev.

Station	AOÛT (BATTAGE)				OCTOBRE (PRESSION HYDRAULIQUE)					
	Profondeur de nappe (m)	Pénétration... totale sous nappe (m)		Récupération... long. propor. (m) (%)		Profondeur de nappe (m)	Pénétration... totale sous nappe (m)		Récupération... long. propor. (m) (%)	
1	3.18	4.40	1.22	3.21	73	2.88	3.50	0.62	2.45	70
2	5.74	7.63	1.89	6.40	84	5.71	6.50	0.79	5.00	77
3	2.00	1.61	-0.39	1.41	88	0.74	2.50	1.76	1.90	76
4	2.60	4.50	1.90	3.36	75	2.37	4.29	1.92	3.62	84
5	2.83	3.20	0.37	2.92	91	2.60	4.50	1.90	3.07	68
6	1.00	1.35	0.35	0.68	50	0.27	2.00	1.73	1.06	53
7	4.02	5.40	1.38	4.21	78	3.74	4.60	0.86	3.91	85
moy.	3.05	4.01	0.96	3.17	77	2.62	3.98	1.37	3.00	73

STATION	ÉCHANTILLONS RÉCUPÉRÉS		ANALYSES DE EH ET PH				ANALYSES DE CATIONS			
	août	octobre	août résidus piézo.		octobre résidus piézo.		août résidus piézo.		octobre résidus piézo.	
1	15	12	11	2	8	1	7	2	8	1
2	33	28	20	3	19	3	20	3	19	3
3	7	10	7	2	10	3	7	2	10	3
4+4A*	16	18	12	5	15	4	13	5	16	4
5+5A*	15	17	13	3	14	3	12	3	14	3
6	4	6	4	6	6	5	3	6	6	5
7	21	19	13	2	13	2	15	2	13	2
Li-1**	10	-	10	-	-	-	10	-	-	-
TOTAL	121	110	90	23	85	21	87	23	86	21

Grands totaux:

Échantillons de résidus récupérés: 231

Échantillons analysés pour Eh et pH: 175 résidus + 44 piézomètres

Échantillons analysés pour les cations: 173 résidus + 44 piézomètres

* : Les segments 4A et 5A se rajoutant aux sondages 4 et 5 correspondent à un échantillonnage complémentaire sur des carottes prélevées pour fins de minéralogie

** : La station Li-1 a été échantillonnée le 5 septembre

Tableau 1. Sommaire des opérations d'échantillonnage et d'analyses des eaux interstitielles du parc de résidus East-Sullivan.

	Eh-eau	pH	Ca	Cd	Co	Cu	Fe++	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	SO4	Zn
Eh-eau	1.00														
pH	-0.67	1.00													
Ca	-0.01	-0.06	1.00												
Cd	0.56	-0.73	0.08	1.00											
Co	0.41	-0.69	-0.36	0.67	1.00										
Cu	0.50	-0.71	-0.02	0.72	0.60	1.00									
Fe++	-0.38	0.06	-0.55	-0.04	0.45	-0.10	1.00								
K	-0.31	0.23	0.08	-0.04	-0.03	-0.22	0.37	1.00							
Mg	0.03	-0.37	-0.31	0.48	0.63	0.52	0.58	0.21	1.00						
Mn	-0.07	-0.25	-0.35	0.28	0.62	0.31	0.66	0.35	0.86	1.00					
Na	-0.08	0.03	0.20	0.18	-0.04	0.03	0.03	0.56	0.32	0.35	1.00				
Ni	0.44	-0.65	-0.26	0.67	0.91	0.54	0.40	0.07	0.62	0.64	0.00	1.00			
Pb	0.28	-0.66	-0.27	0.70	0.81	0.52	0.48	0.07	0.65	0.55	0.01	0.76	1.00		
SO4	-0.07	-0.25	-0.39	0.30	0.55	0.34	0.64	0.20	0.76	0.72	0.18	-0.49	0.52	1.00	
Zn	0.14	-0.42	-0.43	0.42	0.79	0.37	0.59	0.26	0.73	0.84	0.29	0.73	0.70	0.63	1.00

Tableau 2. Matrice de corrélation des principaux paramètres analysés (données d'août et d'octobre combinées). Les calculs ont été faits sur le logarithme des valeurs, sauf pour Eh-eau, pH et Ca. Les coefficients indiquant une corrélation directe ou inverse supérieure à 0.65 ont été mis en relief.

St.	ZONE VADOSE					ZONE SATURÉE					Prob.	
	min.	max.	moy.	éc.-type	n	min.	max.	moy.	éc.-type	n		
Eh-eau (mV)	1	62	511	255	183	9	-57	126	67	61	9	0.0099
	2	33	423	197	92	27	-123	176	15	109	17	0.0001
	3	8	308	129	130	8	-96	180	57	83	14	0.1279
	4	187	561	316	96	15	-15	281	117	84	19	0.0001
	5	0	503	291	111	16	101	277	197	45	15	0.0047
	6	309	490	410	92	3	52	490	181	138	15	0.0154
	7	-2	358	174	122	17	-64	204	37	81	11	0.0029
	Σ	-2	561	234	131	95	-123	490	100	112	100	0.0001
pH	1	2.18	5.13	4.03	0.99	9	4.72	6.71	5.76	0.76	9	0.0007
	2	3.14	5.15	4.10	0.50	28	4.24	6.91	6.25	0.72	17	0.0001
	3	3.38	7.17	5.75	1.50	8	6.77	8.69	7.19	0.51	14	0.0033
	4	2.30	4.48	3.79	0.50	15	4.72	5.93	5.46	0.33	20	0.0001
	5	2.92	5.38	4.27	0.58	16	4.02	5.71	4.60	0.67	14	0.1531
	6	2.86	3.09	2.94	0.13	3	2.80	6.95	6.00	1.27	14	0.0010
	7	2.00	5.46	4.31	0.81	18	5.52	7.03	6.37	0.49	11	0.0001
	Σ	2.00	7.17	4.21	0.90	97	2.80	8.69	5.92	1.02	99	0.0001
Ca (ppm)	1	215	412	336	54	9	321	489	406	62	9	0.0200
	2	47	418	301	105	28	307	633	434	95	17	0.0001
	3	200	544	411	123	8	19	521	252	156	14	0.0223
	4	147	555	394	97	17	154	464	351	88	21	0.1812
	5	262	557	438	70	16	241	389	317	54	16	0.0001
	6	362	412	381	27	3	87	655	328	169	17	0.6004
	7	114	457	359	81	21	19	612	391	163	11	0.4706
	Σ	47	557	364	101	102	19	655	351	129	105	0.4264
Cd (ppb)	1	14	1600	2.18 (152)	0.68	9	16	115	1.76 (57)	0.33	6	0.1829
	2	58	13100	2.53 (340)	0.55	24	13	142	1.64 (44)	0.44	6	0.0010
	3	10	3400	2.27 (184)	1.03	4	13	13	1.11 (13)	#DIV/0!	1	0.3923
	4	11	61700	2.73 (539)	1.06	15	11	80	1.43 (27)	0.18	19	0.0001
	5	11	4600	2.10 (127)	0.75	15	31	1100	1.92 (82)	0.41	16	0.3866
	6	363	1500	2.87 (738)	0.31	3	11	7800	2.27 (187)	1.24	6	0.4518
	7	46	21100	2.38 (242)	0.68	20	16	23	1.28 (19)	0.08	3	0.0117
	Σ	10	61700	2.43 (266)	0.76	90	11	7800	1.70 (50)	0.56	57	0.0001
Co (ppb)	1	208	24100	3.64 (4346)	0.64	9	184	9200	3.32 (2077)	0.74	4	0.4418
	2	58	26800	3.78 (6045)	0.81	28	21	7700	3.02 (1055)	0.96	6	0.0526
	3	23	15600	2.57 (375)	1.04	5	11	11	1.04 (11)	#DIV/0!	1	0.2514
	4	27	28000	3.54 (3433)	0.94	17	907	4000	3.31 (2018)	0.21	21	0.2792
	5	119	12200	3.29 (1944)	0.61	16	2800	6400	3.65 (4453)	0.13	16	0.0269
	6	3200	15400	3.92 (8324)	0.36	3	10	22600	2.48 (300)	1.41	9	0.1192
	7	2700	27900	3.95 (8880)	0.29	20	29	1400	2.08 (119)	0.69	5	0.0001
	Σ	23	28000	3.62 (4187)	0.77	98	10	22600	3.11 (1293)	0.85	62	0.0001

Tableau 3. Comparaison sommaire des résultats d'analyse des eaux interstitielles. À l'exception de Eh-eau, pH et Ca, les moyennes et écart-types ont été calculés sur le logarithme des valeurs (entre parenthèses: antilog de la moyenne). "Prob." est la probabilité que les moyennes des zones vadose et saturée soient égales, dans un test de Student.

St.	ZONE VADOSE						ZONE SATURÉE					Prob.
	min.	max.	moy.	éc.-type	n	min.	max.	moy.	éc.-type	n		
Cu (ppb)	1	754	396000	3.52 (3291)	0.92	9	12	1300	2.30 (201)	0.84	9	0.0098
	2	586	40400	3.27 (1877)	0.33	28	20	1300	2.16 (146)	0.62	13	0.0001
	3	10	201000	2.75 (568)	1.61	5	22	114	1.77 (58)	0.27	5	0.2124
	4	382	353000	3.75 (5585)	1.04	17	16	763	2.32 (208)	0.35	19	0.0001
	5	118	392000	3.37 (2362)	1.08	14	293	1000	2.65 (449)	0.14	16	0.0129
	6	6000	181000	4.54 (34329)	0.74	3	11	293000	2.12 (131)	1.34	14	0.0094
	7	341	2600000	3.73 (5328)	1.42	21	42	359	2.18 (152)	0.31	6	0.0153
	Σ	10.	2600000	3.50 (3190)	1.04	97	11	293000	2.28 (190)	0.71	82	0.0001
Fe++ (ppm)	1	471	10335	3.73 (5372)	0.52	6	279	11754	3.36 (2294)	0.70	9	0.2898
	2	77	32611	4.01 (10217)	0.63	24	39	18346	2.91 (815)	0.89	17	0.0001
	3	34	428	1.98 (96)	0.41	5	49	535	2.35 (226)	0.46	4	0.2404
	4	498	5395	3.33 (2159)	0.39	11	914	3497	3.29 (1964)	0.17	21	0.7910
	5	20	2445	2.35 (223)	0.77	9	3144	6060	3.61 (4098)	0.09	16	0.0001
	6	77	6445	2.85 (704)	1.36	2	20	7787	2.30 (201)	0.79	16	0.3994
	7	104	16712	3.29 (1941)	0.65	19	47	3241	2.49 (312)	0.70	9	0.0065
	Σ	20	32611	3.35 (2232)	0.87	76	20	18346	2.99 (985)	0.76	92	0.0053
K (ppm)	1	1.9	134.0	1.25 (17.7)	0.56	9	43.1	64.6	1.72 (52.8)	0.07	9	0.0231
	2	0.6	366.0	1.54 (34.8)	0.57	28	10.2	59.2	1.33 (21.2)	0.23	17	0.1456
	3	8.6	64.4	1.55 (35.4)	0.26	8	22.9	128.0	1.77 (59.1)	0.22	14	0.0479
	4	1.1	148.0	1.24 (17.4)	0.53	17	8.3	60.3	1.23 (16.9)	0.17	21	0.8793
	5	1.2	153.0	1.18 (15.3)	0.56	16	9.0	46.1	1.18 (15.1)	0.19	16	0.9751
	6	0.8	4.3	0.24 (1.7)	0.37	3	1.4	86.3	1.36 (22.7)	0.41	17	0.0003
	7	0.6	86.1	1.33 (21.6)	0.54	20	21.6	109.0	1.81 (64.2)	0.18	11	0.0093
	Σ	0.6	366.0	1.33 (21.3)	0.57	101	1.4	128.0	1.43 (27.1)	0.34	105	0.1109
Mg (ppm)	1	35	1300	2.55 (358)	0.48	9	329	691	2.71 (517)	0.11	9	0.3480
	2	9	1400	2.60 (402)	0.66	28	285	874	2.69 (494)	0.15	17	0.5865
	3	22	2300	2.01 (103)	0.62	8	5	116	1.51 (32)	0.43	14	0.0350
	4	12	600	2.19 (154)	0.54	17	51	192	2.04 (109)	0.19	21	0.2614
	5	26	320	2.02 (104)	0.30	16	185	333	2.40 (253)	0.08	16	0.0001
	6	353	1000	2.75 (568)	0.23	3	17	1300	2.07 (116)	0.56	17	0.0544
	7	5	896	2.46 (289)	0.44	21	8	722	2.47 (296)	0.58	11	0.9556
	Σ	5	2300	2.37 (233)	0.57	102	5	1300	2.24 (172)	0.51	105	0.0842
Mn (ppm)	1	2.1	67.2	1.48 (29.9)	0.55	9	1.8	91.0	1.23 (17.0)	0.72	9	0.4299
	2	1.3	313.0	1.71 (51.8)	0.71	28	0.8	108.0	0.75 (5.7)	0.71	17	0.0001
	3	0.9	168.0	0.86 (7.3)	0.72	8	0.1	4.3	-0.51 (0.3)	0.61	14	0.0001
	4	0.7	29.7	0.95 (9.0)	0.49	17	6.2	23.4	1.20 (15.9)	0.16	21	0.0306
	5	1.6	62.0	1.06 (11.6)	0.50	16	12.7	36.3	1.37 (23.6)	0.13	16	0.0237
	6	23.3	81.0	1.59 (38.9)	0.28	3	0.3	98.9	0.59 (3.9)	0.81	17	0.0510
	7	0.4	118.0	1.49 (30.7)	0.48	21	0.2	24.5	0.46 (2.9)	0.61	11	0.0001
	Σ	0.4	313.0	1.35 (22.2)	0.65	102	0.1	108.0	0.75 (5.7)	0.81	105	0.0001

Tableau 3. (suite): Comparaison sommaire des résultats d'analyse des eaux interstitielles.

	St.	ZONE VADOSE					ZONE SATURÉE					Prob.
		min.	max.	moy.	éc.-type	n	min.	max.	moy.	éc.-type	n	
Na (ppm)	1	3	33	1.08 (12)	0.30	9	9	14	1.06 (11)	0.06	9	0.8537
	2	7	75	1.26 (18)	0.23	28	13	29	1.26 (18)	0.09	17	0.9347
	3	66	274	1.98 (95)	0.20	8	32	95	1.81 (65)	0.14	14	0.0280
	4	3	33	1.06 (11)	0.25	17	7	18	0.97 (9)	0.09	21	0.1284
	5	5	36	0.99 (10)	0.24	16	6	12	0.96 (9)	0.08	16	0.6082
	6	9	12	1.00 (10)	0.07	3	10	50	1.23 (17)	0.22	17	0.1093
	7	2	30	1.07 (12)	0.26	21	17	99	1.57 (37)	0.28	11	0.0001
	Σ	2	274	1.18 (15)	0.35	102	6	99	1.24 (17)	0.33	105	0.2123
Ni (ppb)	1	69	7300	3.33 (2146)	0.67	9	60	5400	2.67 (463)	0.69	9	0.0539
	2	20	13700	3.50 (3178)	0.82	28	40	6100	2.38 (242)	0.61	17	0.0001
	3	40	5600	2.42 (264)	0.81	5	56	192	1.93 (85)	0.22	5	0.2272
	4	21	16200	3.25 (1787)	0.90	17	356	2600	3.05 (1110)	0.26	21	0.3757
	5	39	27100	3.31 (2065)	0.82	16	1400	3500	3.34 (2204)	0.13	16	0.8929
	6	3000	11300	3.81 (6447)	0.30	3	58	19300	2.49 (306)	0.85	17	0.0177
	7	1500	30800	3.79 (6230)	0.28	20	16	2700	2.25 (176)	0.58	11	0.0001
	Σ	20	30800	3.43 (2670)	0.78	98	16	19300	2.69 (494)	0.67	96	0.0001
Pb (ppb)	1	137	4400	3.04 (1085)	0.53	9	29	1800	2.52 (334)	0.73	9	0.1099
	2	52	12300	3.24 (1756)	0.62	28	16	2500	2.16 (145)	0.69	16	0.0001
	3	16	1600	2.00 (99)	0.83	7	16	59	1.45 (28)	0.29	5	0.1931
	4	68	7200	3.14 (1392)	0.62	17	126	717	2.56 (366)	0.17	20	0.0005
	5	48	2900	2.65 (443)	0.53	16	475	4000	3.02 (1055)	0.25	16	0.0146
	6	443	1800	3.01 (1012)	0.32	3	20	3900	2.00 (100)	0.76	15	0.0427
	7	219	8200	3.04 (1093)	0.41	21	18	542	2.06 (115)	0.58	7	0.0001
	Σ	16	12300	2.98 (950)	0.65	101	16	4000	2.37 (235)	0.67	88	0.0001
SO4 (ppm)	1	907	60800	4.04 (10943)	0.60	8	3000	26300	3.95 (8972)	0.38	9	0.7261
	2	260	73500	4.21 (16176)	0.84	23	2100	30100	3.71 (5184)	0.37	17	0.0288
	3	615	29000	3.33 (2121)	0.50	8	146	1800	2.90 (797)	0.34	14	0.0269
	4	437	27700	3.82 (6556)	0.56	15	2200	7600	3.71 (5091)	0.15	19	0.4457
	5	180	6100	3.08 (1199)	0.62	15	7100	15200	4.01 (10181)	0.09	15	0.0001
	6	5	21600	3.10 (1271)	2.08	3	57	36800	3.13 (1347)	0.81	17	0.9687
	7	18	42500	3.83 (6762)	0.77	19	105	9100	3.39 (2438)	0.56	10	0.1197
	Σ	5	73500	3.75 (5622)	0.84	91	57	36800	3.53 (3422)	0.58	101	0.0384
Zn (ppm)	1	1.50	279	1.90 (79)	0.87	9	0.24	333	0.72 (5.20)	1.31	9	0.0377
	2	0.58	4500	2.61 (409)	1.08	28	0.31	533	0.63 (4.24)	1.15	17	0.0001
	3	0.40	1200	0.97 (9)	1.10	8	0.07	2	-0.44 (0.36)	0.38	14	0.0003
	4	0.82	203	1.45 (28)	0.84	17	18	90	1.62 (42)	0.19	21	0.2999
	5	1.00	570	1.48 (30)	0.92	16	57	175	2.01 (102)	0.14	16	0.0303
	6	61	264	2.05 (112)	0.33	3	0.35	653	0.71 (5.10)	1.27	17	0.0928
	7	0.97	1100	1.97 (93)	0.57	21	0.16	16	0.06 (1.14)	0.56	11	0.0001
	Σ	0.40	4500	0.87 (7)	1.13	102	0.07	653	0.85 (7.14)	1.13	105	0.0001

Tableau 3. (suite): Comparaison sommaire des résultats d'analyse des eaux interstitielles.

Piezomètres et piquets	Élévation sommet des piézomètres	Élévation partie supérieure crépines	Élévation niveau d'eau 4 sept. 91	Élévation niveau d'eau 15-16-18 sept. 91	Élévation niveau d'eau 22 sept. 91	Élévation niveau d'eau 12 oct. 91	Élévation niveau d'eau 30 oct. 91
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
L1-0-1.00	91.86	90.89	91.50	91.59	91.56		91.59
L1-0-1.42	91.90	90.93					91.60
L1-0-2.50	91.99	90.01					91.64
L1-0-4.50	91.87	87.85					91.61
L1-10-1.00	92.03						
L1-10-1.92	91.63						
L1-10-2.89	91.73						
L1-50-1.50	91.71	90.20		90.88			91.05
L1-50-2.00	91.70	89.71					91.02
L1-50-3.00	91.70	88.69					91.02
L1-100-1.50	91.61	90.10		90.73			90.95
L1-100-2.00	91.64	89.68					90.99
L1-100-3.00	91.70						90.99
L1-150-1.50	91.62	90.11		90.69			91.05
L1-150-2.00	91.73	89.71					91.03
L1-150-2.90	91.82	88.82					91.01
L1-170-1.50	91.53	90.06		90.74			91.01
L1-170-2.00	91.64	89.68					91.09
L1-170-3.00	91.70						90.53
L1-200-1.00	91.55	90.63					91.01
L1-200-1.50	91.58	90.11		91.31			90.92
L1-200-2.00	91.74	89.62					91.09
L1-250-1.00	91.34	90.59					90.99
L1-250-1.50	91.38	89.83					90.98
L1-250-2.00	91.54	89.50					91.24
L1-300-1.42	91.77	90.26					90.90
L1-350-1.42	91.54	89.87					91.22
L2-0-1.00	92.77	91.77					
L2-0-1.50	92.71	91.21					91.47
L2-0-1.66	92.57	90.91					91.50
L2-20-0.43	91.70	90.78					
L2-20-0.71	91.80	91.31					
L2-40-1.00	90.62	89.67		89.75	89.76		90.34
L2-40-1.50	90.70	89.19					90.03
L2-60-1.00	90.08	88.57			89.19		89.18
L2-60-1.50	89.59	88.08					88.93
L3-0-1.03	94.80	93.77					94.37
L3-0-1.10	94.88	93.78					94.31
L3-50-0.67p1	93.96	93.23					
L3-50-0.67p2	94.00	93.21					
L3-70-0.70	93.84	93.07					93.19
L3-100-0.60	93.74	93.09					93.35
L4-0-1.00	95.68	94.70		95.46	95.45		95.45
L4-0-1.80	95.94	94.50					94.84
L4-0-1.50	95.73	93.83					95.33
L4-30-1.00	95.35	94.30		95.12	95.15		94.74
L4-50-1.00	95.41	94.24			94.78		94.98
L4-50-1.33	95.49	93.99					95.01
L4-70-1.00	95.31	94.29			94.95		94.83
L4-100-1.00	95.31	94.39			94.97		94.85
L4-100-1.50	95.35	93.84					94.86
L4-100-2.00	95.53	93.36					
L5-0-1.00	94.01	92.51					93.05
L5-0-2.00	94.52	92.42					93.05
L5-0-3.00	93.59	90.60					93.07
L5-50-1.00	93.19	91.68					92.33
L5-50-1.50	92.72	91.21					92.36
L5-100-1.00	93.13	91.62					92.13
L5-100-1.50	92.71	91.20					91.84
L5-100-1.75	92.45	90.94					91.40
L5-150-1.00	94.51	93.00					

Tableau 4. Élévation des piézomètres et niveau d'eau.

Piezomètres et piquets	Élévation sommet des piézomètres (m)	Élévation partie supérieure crapinée (m)	Élévation niveau d'eau 4 sept. 91 (m)	Élévation niveau d'eau 15-16-18 sept. 91 (m)	Élévation niveau d'eau 22 sept. 91 (m)	Élévation niveau d'eau 12 oct. 91 (m)	Élévation niveau d'eau 30 oct. 91 (m)
L5-150-1.50	93.92	90.92					
L5-150-2.50	94.52	93.01					
L5-200-1.00	94.81	93.30					93.34
L5-200-1.28	94.54	93.03					93.38
L5-250-0.66	95.73	94.22					
L5-350-0.40	97.03	95.52					
ST1-P1	100.32	97.30					97.36
ST1-P2	100.25	95.72	96.54	96.54	96.55	96.73	96.80
ST1-P3	99.79	94.67	96.00	95.98	96.02	96.19	96.27
ST2-P1	98.34	91.19	92.21	92.20	92.25	92.10	92.23
ST2-P2	98.26	90.83	92.17	92.24	92.23	91.69	92.19
ST2-P3	98.47	90.51	92.17	92.24	92.31	92.80	92.20
ST2-P4	98.30						
ST2-P5	98.38						95.11
ST2-P6	98.46						
ST3-P1	97.50	96.56					
ST3-P2	97.65	96.15				96.32	96.56
ST3-P5	97.66	95.83			95.89	96.11	96.39
ST3-P3	97.77	95.38	95.69	95.58	96.89	95.97	96.39
ST3-P4	97.84	95.09	95.86	95.70	96.15	96.37	96.57
ST4-P3	100.08	97.24	97.32	97.29	97.33	98.52	97.55
ST4-P4	100.16	96.37	97.28	97.20	97.27	97.44	97.50
ST4-P2	100.42	95.97	97.24				
ST4-P5	100.26	95.77	97.23	97.16	97.27	97.41	97.44
ST4-P1	100.23	95.73	97.23	97.16	97.25	97.39	97.46
ST5-P1	99.16	95.94	96.15	96.10	96.16	96.29	96.38
ST5-P2	99.22	95.37	96.20	96.66	96.20	96.37	96.39
ST5-P3	99.26	94.81	96.14	96.11	96.18	96.32	96.40
ST6-P4	95.94	94.86		94.95	95.07	95.05	95.51
ST6-P3	95.98	94.66	94.77	95.26	94.90	94.82	95.39
ST6-P2	95.97	94.46	94.77	95.26	95.00	94.77	95.39
ST6-P1	96.22	94.28	94.73	95.08	94.96	94.95	95.42
ST6-P6	96.23	93.76	94.66	94.94	95.03	94.98	95.47
ST6-P7	96.28	93.52	94.73	94.44	95.12	95.12	95.50
ST6-P9	96.85	93.40	94.77	95.18	94.94	94.88	95.42
ST6-P8	96.33	93.36	94.43	93.71	94.23	94.98	94.59
ST7-P1	99.28	95.27					
ST7-P2	99.18	94.68	94.92	94.96	94.91	95.09	95.20
ST7-P3	99.33	93.99	94.92	95.33	94.94	95.10	95.26
ST7-P4	99.44	96.43					95.18
PB-1	91.83	90.27					90.83
PB-2	92.42	91.87					91.93
PB-3	92.35	90.84					91.49
PIQUET-1	95.25			94.64			94.71
PIQUET-2	92.36			91.86			91.86
PIQUET-3	91.57						91.05
PIQUET-4	95.23			94.78			94.76
PIQUET-5	96.60						
PIQUET-6	95.57			95.00			94.99
PIQUET-rivière	89.73			89.16			89.08
MER-Piez-1	99.63	85.52					96.15
MER-copo-P1	99.95						
MER-copo-P2	100.01						
MER-copo-P3	99.82						
MER-copo-P4	99.80						
MER-copo-P5	99.85	98.05					99.14
MER-copo-P6	99.84						
MER-copo-P7	99.83						
MER-copo-P8	99.76						
MER-copo-P9	99.56	98.36					

Tableau 4. (suite): Élévation des piézomètres et niveau d'eau.

Station et ligne	Section d'élévation ¹ (m)	Gradient hydraulique vertical ²		
		4 sept.	22 sept. 1991	30 oct.
ST 1	95.72 et 94.67	0.51	0.50	0.50
ST 2	91.19 et 90.51	0.06	-0.09	0.04
ST 3	96.15 et 95.38			0.22
ST 4	97.24 et 95.73	0.06	0.53 ³	0.06
ST 5	95.94 et 94.81	0.01	0.02	-0.02
ST 6	94.86 et 93.36	0.26	0.52	0.62
ST 7	94.68 et 93.99	0.00	-0.04	-0.09
Ligne 1-0	90.80 et 87.84			-0.01
Ligne 1-50	90.20 et 88.69			0.02
Ligne 1-150	90.11 et 88.82			0.03
Ligne 1-170	90.06 et 89.68			-0.21
Ligne 1-200	90.63 et 89.62			-0.08
Ligne 1-250	90.59 et 89.50			-0.23
Ligne 2-0	91.21 et 90.91			-0.10
Ligne 2-40	89.67 et 89.19			0.65
Ligne 2-60	88.57 et 88.08			0.51
Ligne 3				Aucune valeur
Ligne 4-0	94.70 et 93.60			0.11
Ligne 5-0	92.51 et 90.60			-0.01
Ligne 5-50	91.68 et 91.21			-0.06

Tableau 5. Gradients hydrauliques verticaux.

¹ La section indique la distance sur laquelle le gradient vertical est calculé.

² Un gradient positif indique un écoulement vers le bas.

³ Il y a sûrement eu une erreur de lecture.

Pression atmosphérique (1991)					
Données du ministère de l'Environnement Canada, Val d'Or					
Septembre	Pression (Kpascal) 10:00 hr	Pression (Kpascal) 12:00 hr	Pression (Kpascal) moyenne	Pression (bar) moyenne	log(pression) (bar)
12	98.13	98.13	98.13	0.981	-0.0082
13	97.79	97.76	97.78	0.978	-0.00977
15	96.96	96.84	96.9	0.969	-0.01368
16	96.89	96.71	96.8	0.968	-0.01412
17	96.65	96.92	96.79	0.968	-0.01419
18	97.16	96.96	97.06	0.971	-0.01296
20	98.36	98.37	98.37	0.984	-0.00716
21	98.53	98.46	98.5	0.985	-0.00659
22	98.14	98.01	98.08	0.981	-0.00844
Octobre					
1991					
18	97.29	97.54	97.42	0.974	-0.01137
20	98.03	97.98	98.01	0.98	-0.00875
21	97.54	97.41	97.48	0.975	-0.01111
25	97.32	97.25	97.29	0.973	-0.01195
26	98.47	98.53	98.5	0.985	-0.00656
28	99.72	99.72	99.72	0.997	-0.00122
29	99.61	99.58	99.6	0.996	-0.00176

Tableau 6. Sommaire des pressions atmosphériques au cours des périodes d'échantillonnage des gaz interstitiels.

aout

station	profondeur (cm)	force (moyen)	saleté CaCO3	alumine CaHCO3	arsénite CaCO3	gypse CaSO4.2H2O	nitrate CaCO3	potasse CaCO3	ferrous FeCO3	nickel FeCO3
st2	34	0.01	-5.12	-10.72	-5.27	-1.07	1.86	-1.63	-5.49	-3.77
st3	15	0.55	-5.15	-9.35	-5.31	0.22	0.55	-2.18	-6.03	-3.26
st4	122	0.22	-4.96	-9.85	-5.11	0.11	3.55	-0.68	-4.53	-2.29
st4	141	0.35	-4.84	-9.48	-4.99	0.16	3.67	-0.62	-4.47	-1.92
st4	175	0.13	-4.32	-9.04	-4.48	0.04	3.72	-0.60	-4.44	-1.86
st5	50	0.03	-5.09	-10.91	-5.24	-0.81	1.34	-1.78	-5.63	-5.99
st5	92	0.03	-3.17	-7.17	-3.33	-0.78	1.41	-1.75	-5.59	-4.08
st5	114	0.03	-2.96	-6.83	-3.12	-0.85	4.88	-0.02	-3.86	-1.91
st5	135	0.03	-2.97	-6.51	-3.12	-0.80	4.75	-0.08	-3.92	-2.52
st5	156	0.04	-2.62	-5.74	-2.77	-0.83	2.46	-1.22	-5.07	-3.48
st5	199	0.14	-3.47	-6.84	-3.62	0.02	3.94	-0.49	-4.34	-1.14
st5	258	0.14	-2.85	-5.91	-3.01	0.03	9.92	2.51	-1.34	-0.33
st6	51	0.05	-3.68	-7.30	-3.83	-2.98	-2.23	-3.66	-7.58	-4.49
st7	10	0.01	-4.59	-10.38	-4.74	-3.60	-6.99	-5.95	-9.79	-3.47
st7	253	0.19	-2.25	-4.57	-2.41	0.01	8.61	1.85	-2.00	0.47
st7	278	0.15	-2.84	-5.95	-3.00	-0.01	4.76	-0.08	-3.94	-0.26
st7	303	0.43	-2.32	-4.34	-2.48	0.10	7.20	1.14	-2.70	0.87
st7	328	0.64	-2.51	-4.54	-2.67	0.04	2.91	-1.00	-4.85	0.99

octobre

station	profondeur (cm)	force (moyen)	saleté CaCO3	alumine CaHCO3	arsénite CaCO3	gypse CaSO4.2H2O	nitrate CaCO3	potasse CaCO3	ferrous FeCO3	nickel FeCO3	gibbsite Al(OH)3
st1	13	0.027	-4.88	-10.01	-4.84	-0.48	5.99	0.54	-3.30	-3.80	-2.91
st1	38	0.050	-4.44	-9.27	-4.60	-0.23	4.77	-0.08	-3.94	-3.74	-3.89
st1	63	0.887	-5.63	-10.53	-5.79	-0.70	-0.42	-2.91	-7.25	-3.69	-8.09
st1	225	0.443	-2.71	-4.99	-2.68	0.12	1.97	-1.47	-5.33	0.37	-0.58
st1	450	0.082	-1.21	-2.51	-1.36	0.06	13.95	4.53	0.84	0.35	2.14
st2	58	0.049	-3.86	-8.37	-4.01	-0.06	5.29	0.19	-3.65	-2.75	-0.84
st2	308	0.340	-2.83	-5.46	-2.98	0.04	3.60	-0.68	-4.52	0.21	-0.87
st2	358	0.304	-3.03	-5.83	-3.18	0.09	4.93	0.00	-3.86	-0.21	-1.24
st2	408	0.858	-3.46	-6.32	-3.62	0.05	3.94	-0.51	-4.40	-0.09	-2.86
st2	425	0.917	-3.31	-6.03	-3.47	0.10	4.72	-0.10	-3.97	0.30	-2.27
st2	442	1.000	-2.52	-4.42	-2.67	0.11	6.56	0.82	-3.03	1.18	-0.03
st2	678	0.104	-1.14	-2.12	-1.29	-0.05	16.13	5.82	1.87	1.02	2.26
st2	712	0.082	-1.22	-2.37	-1.38	-0.20	13.87	4.49	0.75	0.39	2.23
st2	746	0.093	-1.81	-3.58	-1.97	-0.08	12.70	3.90	0.17	0.35	2.10
st3	13	0.058	-4.26	-9.03	-4.42	-0.01	4.86	0.03	-3.82	-3.57	0.21
st3	38	0.045	-0.16	-1.17	-0.31	-0.08	12.42	3.75	-0.09	0.42	2.40
st3	192	0.042	-0.81	-2.01	-0.97	-0.19	13.04	4.07	0.32	-0.16	2.28
st4	36	0.046	-4.11	-8.44	-4.27	0.03	4.99	0.04	-3.81	-3.64	-3.14
st4	56	0.022	-3.50	-7.88	-3.68	-0.51	8.87	1.98	-1.86	-2.63	-0.95
st4	124	0.259	-4.04	-7.87	-4.19	0.07	3.74	-0.59	-4.44	-1.98	-1.68
st4	140	0.449	-4.04	-7.73	-4.20	0.13	4.85	-0.03	-3.88	-1.10	-1.45
st4	155	0.358	-4.08	-7.95	-4.23	0.16	4.28	-0.32	-4.17	-1.39	-1.81
st4	407	0.172	-2.80	-5.70	-2.96	-0.01	11.91	3.51	-0.28	-0.12	1.83
st4	414	0.188	-2.97	-6.01	-3.12	-0.09	11.30	3.20	-0.52	-0.10	1.79
st5	62	0.063	-3.32	-7.07	-3.48	0.09	5.71	0.40	-3.44	-2.31	-1.25
st5	87	0.080	-4.05	-8.47	-4.20	0.02	3.57	-0.67	-4.51	-2.83	-1.71
st5	112	0.078	-3.06	-6.66	-3.22	0.03	5.07	0.08	-3.77	-1.23	-0.86
st5	187	0.084	-2.00	-4.49	-2.16	0.06	6.23	0.66	-3.18	-1.46	0.18
st5	225	0.089	-2.07	-4.41	-2.23	0.03	4.86	-0.02	-3.87	-1.34	0.00
st5	360	0.186	-3.31	-6.55	-3.47	-0.17	10.69	2.90	-0.82	-0.38	1.50
st5	416	0.210	-2.81	-5.54	-2.97	-0.07	11.78	3.44	-0.31	0.10	2.14
st6	12	0.305	-5.70	-10.80	-5.86	0.08	3.40	-0.76	-4.61	-4.54	-4.07
st6	37	0.422	-5.57	-10.44	-5.72	0.15	3.88	-0.52	-4.39	-3.86	-4.45
st6	111	0.051	-1.62	-3.39	-1.78	-0.24	11.65	3.37	-0.45	0.11	2.28
st6	131	0.049	-1.59	-3.41	-1.75	-0.30	11.30	3.20	-0.63	0.31	2.31
st6	151	0.052	-0.97	-2.29	-1.12	-0.25	14.75	4.92	1.09	0.97	2.40
st6	204	0.026	-1.48	-3.43	-1.64	-1.04	10.92	3.01	-0.81	-0.45	2.32
st7	90	0.222	-4.04	-7.97	-4.20	0.09	4.58	-0.17	-4.02	-1.69	-1.94
st7	135	0.153	-3.50	-6.87	-3.66	0.03	4.21	-0.35	-4.20	-2.26	-1.21
st7	250	0.094	-2.45	-5.16	-2.61	0.04	5.26	0.17	-3.68	-0.74	-1.11
st7	270	0.201	-1.76	-3.65	-1.92	0.03	7.83	1.46	-2.38	1.00	1.24
st7	290	0.231	-2.29	-4.61	-2.45	0.02	6.79	0.94	-2.91	0.56	0.04
st7	427	0.078	-1.28	-2.25	-1.44	-0.15	11.90	3.50	-0.32	-0.02	2.35
st7	496	0.042	-1.07	-2.33	-1.22	-0.28	11.72	3.41	-0.41	-0.34	2.36

Tableau 7. Indices de saturation calculés avec le logiciel PHREEQE.

Appendice 1. Liste des photos aériennes englobant le site depuis 1941.

Année	Echelle	Numéros	Disponibilité
1941	1:12000	A6837-30 et 31	Photothèque nationale de l'air
1952	1:18000	A-13532-5 et 6	Photothèque nationale de l'air
1956	1:36680	882A-22 et 23	Photocartotheque québécoise
1956	1:15840	843-36 et 37 et 826-43 et 44	Photocartotheque québécoise
1965	1:15000	Q65249-95 et 96	Photocartotheque québécoise
1966	1:40000	Q66322-65 et 66	Photocartotheque québécoise
1970	1:38000	A21678-157 et 158	Photothèque nationale de l'air
1972	1:15000	Q72100-67 à 69	Photocartotheque québécoise
1979	1:20000	Q79809-52 et 53	Photocartotheque québécoise
1981	1:50000	A25729-36 et 37	Photothèque nationale de l'air
1983	1:15000	Q83822-176 et 177 (infra-rouge N et B)	Photocartotheque québécoise
1985	1:40000	Q85881-35 et 36	Photocartotheque québécoise
1990	1:5000	Q90858-3 et 4, 9 et 10, 16 à 18; Q90859-3 à 5	Photocartotheque québécoise

Appendice 2. Sommaires météorologiques des mois de juillet, août, septembre et octobre
1991 à l'aéroport de Val d'Or.



Environnement
Canada
Service
de l'environnement
atmosphérique

Environnement
Canada
Atmosphère
Environment
Service

SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY

AÉROPORT DE VAL D'OR, Qc
VAL D'OR AIRPORT, Qc

AOUT 1991
AUGUST 1991

LAT: 48° 3' N		LONG: 77° 47' W		ALTITUDE: ELEVATION: 337,0		MÈTRES (NMM) METRES (ASL)		HEURE NORMALE UTILISÉE: STANDARD TIME USED: H.N.E. E.S.T.											
DATE	TEMPÉRATURE TEMPERATURE			DEGRÉS-JOURS DEGREE-DAYS			HUMIDITÉ REL. REL. HUMIDITY		ORAGE THUNDERSTORM	PRÉCIPITATIONS PRECIPITATION			NEIGE AU SOL SNOW ON GROUND	VITESSE MOYENNE AVERAGE SPEED	VENT WIND			INSOLATION EFFECTIVE BRIGHT SUNSHINE	
	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM	MOYENNE MEAN	DE CHAUFFE HEATING	DE CROISSANCE GROWING	DE RÉFRIGÉRATION COOLING	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM		PLUIE (HAUTEUR) RAINFALL	NEIGE (HAUTEUR) SNOWFALL	PRÉCIP. TOTALES TOTAL PRECIP			DIRECTION DOMINANTE PREVAILING DIRECTION	VITESSE MOYENNE MAX. EN 2 MIN. MAX. 2 MIN. MEAN SPEED & DIRECTION	HEURES HOURS		
1	25,5	14,4	20,0		15,0	2,0	93	47	1	7,8	7,8		11,0	SW	NNW	24	6,9		
2	22,0	13,8	17,9	0,1	12,9		93	61		2,4	2,4		10,5	NNW	NW	23	5,4		
3	22,5	11,5	17,0	1,0	12,0		94	52		TR	TR		5,2	NNE	N	15	7,1		
4	17,1	10,9	14,0	4,0	9,0		94	71		TR	TR		15,0	N	NNW	24	0,2		
5	14,0	10,9	12,5	5,5	7,5		94	86		8,2	8,2		15,2	NNW	N	24	0,0		
6	19,9	9,5	14,7	3,3	9,7		97	59					3,3	NNW	NNW	9	7,5		
7	22,5	7,6	15,1	2,9	10,1		98	50					2,8	W	NNW	13	7,2		
8	26,1	12,2	19,2		14,2	1,2	93	40	1	TR	TR		5,8	NNW	NNW	20	12,2		
9	23,8	13,6	18,7		13,7	0,7	97	54	1	8,4	8,4		8,9	N	NNE	17	5,2		
10	17,2	14,2	15,7	2,3	10,7		98	88		26,8	26,8		8,3	N	N	19	0,0		
11	26,3	13,5	19,9		14,9	1,9	95	45		0,2	0,2		12,5	N	N	22	12,1		
12	28,1	13,0	20,6		15,6	2,6	84	37					8,5	NW	NW	17	13,2		
13	31,5	18,1	24,8		19,8	6,8	66	39					11,6	W	W	19	10,6		
14	27,2	15,2	21,2		16,2	3,2	89	47					7,0	W +	NNW	15	11,9		
15	29,4	10,9	20,2		15,2	2,2	94	47	1	9,2	9,2		11,4	SW	N	22	7,3		
16	18,2	10,1	14,2	3,8	9,2		95	58	1	3,6	3,6		8,0	S	N +	19	5,0		
17	23,2	13,3	18,3		13,3	0,3	95	73		6,4	6,4		21,7	S	S	35	0,4		
18	18,6	8,6	13,6	4,4	8,6		94	54		0,2	0,2		11,5	NNE	N	20	4,3		
19	19,0	5,2	12,1	5,9	7,1		87	40					10,7	N	N	17	13,5		
20	23,5	4,5	14,0	4,0	9,0		89	32					2,6	S	S	15	13,5		
21	22,9	7,4	15,2	2,8	10,2		96	56					7,3	SSE	SSE	17	5,1		
22	15,7	8,0	11,9	6,1	6,9		96	76		6,8	6,8		18,7	NNW	NNW	31	0,5		
23	13,6	4,6	9,1	8,9	4,1		87	53					13,6	NNW	NW	24	9,1		
24	19,8	2,4	11,2	6,8	6,2		91	43					4,9	SSE	NNW	11	12,9		
25	21,2	7,4	14,3	3,7	9,3		88	50		0,2	0,2		19,3	S	SSW	31	4,3		
26	27,0	14,9	21,0		16,0	3,0	96	60	1	20,0	20,0		18,5	SSW	SW	30	4,0		
27	24,7	17,8	21,3		16,3	3,3	96	79	1	10,2	10,2		7,3	S +	WSW	20	0,5		
28	26,8	14,5	20,7		15,7	2,7	97	38					9,7	NW	NW	22	10,3		
29	29,8	14,5	22,2		17,2	4,2	82	48					17,5	SSW	WSW	28	11,5		
30	27,9	10,6	19,3		14,3	1,3	92	56	1	9,0	9,0		15,9	WSW	N +	33	7,3		
31	12,3	4,3	8,3	9,7	3,3		88	49		TR	TR		29,2	NNW	NNW	39	7,9		
	MOY. MEAN	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY. MEAN	DOMINANTE PREVAILING	MAXIMALE MAXIMUM	TOTAL			
	22,5	10,7	16,7	75,2	363,2	35,4	92	56	8	119,4		119,4	11,6	N	NNW	39	216,9		
NORMALE NORMAL	21,4	9,6	15,5	96,4	327,7	21,0			5	101,1		101,1		5			235,6		
SOMMAIRE DE DEGRÉS-JOURS/DEGREE-DAY SUMMARY										JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS TOTALES: DAYS WITH TOTAL PRECIPITATION:					JOURS AVEC CHUTES DE NEIGE: DAYS WITH SNOWFALL:				
AU-DESSOUS DE 10°C BELOW 10°C		ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	AU-DESSUS DE 5°C ABOVE 5°C		ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	0,2 OU PLUS	1,0 OU PLUS	2,5 OU PLUS	5,0 OU PLUS	0,2 OU PLUS	1,0 OU PLUS	2,5 OU PLUS	5,0 OU PLUS		
TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH		75,2	78,6	96,4	TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH		363,2	350,3	327,7	OR MORE	OR MORE	OR MORE	OR MORE	OR MORE	OR MORE	OR MORE	OR MORE		
CUMUL. DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET ACCUMULATED SINCE JULY 1		121,6	135,2	161,4	CUMUL. DEPUIS LE 1 ^{er} AVRIL ACCUMULATED SINCE APRIL 1		1336,0	1221,0	1155,7	15	12	12	3	0	0	0	0		

UDC 551.506.1 ()

Avis/Note

1. - Journée climatologique/Climatological Day
2. Normale-Normal 1951-1980
3. TR = Trace
4. M = Manquant/Missing
5. Pas de valeur/No entry = Pas d'événement/No occurrence
6. * Indique la première de plusieurs des directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale en 2 minutes (voir page 4)./Indicate first or more than one prevailing direction and/or maximum 2 minutes mean speed (see page 4).
7. C = Calme/Calm



		CE MOIS-CI THIS MONTH				ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR		NORMALE NORMAL	RECORDS DU MOIS RECORDS FOR THE MONTH								
		RELEVÉ VALUE		JOUR DAY		RELEVÉ VALUE			JOUR DAY		MAXIMUM ABSOLU HIGHEST EVER			MINIMUM ABSOLU LOWEST EVER			N° D'ANNÉES NO OF YEARS
		RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY		RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	ANNÉE YEAR	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	ANNÉE YEAR			
TEMPÉRATURE MAXIMALE HIGHEST TEMPERATURE (MAXIMUM)	*Celsius	31,5	13	28,0	2*			36,2	1	1975					41		
TEMPÉRATURE MINIMALE LOWEST TEMPERATURE (MINIMUM)	*Celsius	2,6	24	2,6	19						-2,8	25	1951		41		
TEMPÉRATURE MENSUELLE MOYENNE MEAN MONTHLY TEMPERATURE	*Celsius	16,7		16,3		15,5		18,5		1973	12,9		1982		41		
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE PLUIE TOTAL MONTHLY RAINFALL	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	119,4		86,6		101,1		217,2		1963	37,3		1971		41		
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE NEIGE TOTAL MONTHLY SNOWFALL	Centimètres (cm) Centimètres (cm)							0,0		1965*					41		
PRÉCIPITATIONS TOTALES MENSUELLES TOTAL MONTHLY PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	119,4		86,6		101,1		217,2		1963	37,3		1971		41		
N° DE JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS MESURABLES NO OF DAYS WITH MEASURABLE PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	15		14		14		24		1964	8		1952		41		
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST RAINFALL IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	26,8	10	38,0	17			64,0	4	1963					41		
HAUTEUR DE NEIGE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST SNOWFALL IN ONE DAY	Centimètres (cm) Centimètres (cm)							0,0	29	1965*					41		
PRÉCIPITATIONS MAXIMALES EN UNE JOURNÉE GREATEST PRECIPITATION IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	26,8	10	38,0	17			64,0	4	1963					41		
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE ENREGISTRÉE EN: MAXIMUM RAINFALL RECORDED IN:																	
5 MINUTES	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	5,5	15	6,8	28			8,6	25	1975					31		
10 MINUTES	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	10,1	26	7,2	28			17,2	7	1985					31		
15 MINUTES	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	12,1	26	7,6	29			19,8	25	1975					31		
30 MINUTES	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	15,2	26	11,6	17			35,1	25	1975					31		
60 MINUTES	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	16,4	26	13,0	17			35,1	25	1975					31		
24 HEURES CONSÉCUTIVES CONSECUTIVE HOURS	Millimètres (mm) Millimètres (mm)	29,2	9/10	39,0	17/18			64,3	3	1963*					31		
VITESSE MOYENNE DU VENT (km/h) MEAN WIND SPEED (km/h)		11,4		9,0		11,6		16,9		1978	7,4		1985		41		
VITESSE MAXIMALE (moyenne en 2 min.) (km/h) MAXIMUM SPEED (2 min. mean) (km/h)		NNW 39	31	S 31	8			N 48	24	1986					41		
POINTE MAXIMALE (km/h) MAXIMUM GUST SPEED (km/h)		NNW 80	30	SSW 41	8			SW 84	29	1973					41		
TOTAL DES HEURES D'INSOLATION TOTAL HOURS OF SUNSHINE		216,9		253,2		235,6		296,5		1974	162,9		1988		41		
PRESSION MOYENNE À LA STATION (kPa) MEAN STATION PRESSURE (kPa)		97,62		97,69		97,62		97,73		1985	97,03		1958		37		
PRESSION MAXIMALE À LA STATION (kPa) GREATEST STATION PRESSURE (kPa)		99,38	24	98,92	19			99,38	22	1957					37		
PRESSION MINIMALE À LA STATION (kPa) LEAST STATION PRESSURE (kPa)		95,96	17	96,15	28						95,10	30	1955		37		

DONNÉES CLIMATOLOGIQUES CE MOIS-CI POUR LES CLIMATOLOGICAL DATA THIS MONTH FOR THE PAST											10 DERNIÈRES ANNÉES YEARS			
ANNÉE YEAR	TEMP. MAXIMALE MAXIMUM TEMP.	TEMP. MINIMALE MINIMUM TEMP.	TEMP. MOYENNE MEAN TEMP.	HAUTEUR DE PLUIE RAINFALL	HAUTEUR DE NEIGE SNOWFALL	PRÉCIPITATIONS TOTALES TOTAL PRECIPITATION	VITESSE MOYENNE DES VENTS MEAN WIND SPEED	VITESSE MAXIMALE DES VENTS MAXIMUM WIND SPEED	HEURES D'INSOLATION SUNSHINE HOURS	DEGRES-JOURS DE CHAUFFE HEATING DEGREE-DAYS	DEGRES-JOURS DE CROISSANCE GROWING DEGREE-DAYS	DEGRES-JOURS DE REFROIDISSEMENT COOLING DEGREE-DAYS	S.S.N. S.A.S.	
1982	27,5	0,4	12,9	90,5	TR	90,5	10,6	SW 32*	198,1	162,9	246,1	5,7		
1983	29,9	3,4	17,3	52,0	0,0	52,0	9,3	NW 39	253,8	51,7	381,2	29,4		
1984	30,2	-0,1	16,8	97,8	0,0	97,8	8,7	NNW 37	225,5	73,3	365,8	36,1		
1985	27,9	1,5	15,2	99,2	0,0	99,2	7,4	S 26	239,5	100,7	317,2	14,9		
1986	26,8	2,5	14,5	114,3	TR	114,3	11,2	N 48	202,2	117,7	290,6	9,9		
1987	30,4	1,4	15,0	68,6	0,0	68,6	16,6	NW 39*	237,6	114,2	310,2	19,3		
1988	30,0	3,3	16,5	169,2	0,0	169,2	9,6	W 35	162,9	85,2	355,8	38,0		
1989	29,9	-0,6	15,5	78,2	0,0	78,2	11,0	NNW 37	191,0	100,2	325,2	22,4		
1990	29,0	2,6	16,3	86,6	0,0	86,6	9,0	S 31	253,2	78,6	350,3	25,9		
1991	31,5	2,6	16,7	119,4	0,0	119,4	11,4	NNW 39	216,9	75,2	363,2	35,4		

A.S.N. = Accumulation saisonnière de neige. / S.A.S. = Seasonal accumulated snow.

Avis/Note

- Journée climatologique/Climatological Day
- Normale/Normal: 1951-1980
- Extrêmes pour la période de registre/Extremes for period of record
- Hauteur de pluie maximale enregistrée en: peut être pour plus d'une journée du calendrier/Maximum rainfall recorded in: may overlap calendar days
- ** Indique le plus récent/Indicates most recent occurrence
- * Indique le premier de plusieurs/Indicates first of more than one occurrence



Environnement
Canada
Service
de l'environnement
atmosphérique

Environment
Canada
Atmospheric
Environment
Service

SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY

AÉROPORT DE VAL D'OR, Qc
VRL D'OR AIRPORT, Qc

JUILLET 1991
JULY 1991

LAT.: 48° 3' N		LONG.: 77° 47' W		ALTITUDE: ELEVATION: 337,0		MÈTRES (MM) METRES (ASL)		HEURE NORMALE UTILISÉE: H.N.E. STANDARD TIME USED: E.S.T.									
DATE	TEMPÉRATURE TEMPERATURE			DEGRÉS-JOURS DEGRÉE-DAYS			HUMIDITÉ REL. REL. HUMIDITY		ORAGE THUNDERSTORM	PRÉCIPITATIONS PRECIPITATION			NEIGE AU SOL SNOW ON GROUND	VENT WIND			INSOLATION EFFECTIVE BRIGHT SUNSHINE
	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM	MOYENNE MEAN	DE CHAUFFE HEATING	DE CROISSANCE GROWING	DE RÉFRIGÉRATION COOLING	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM		PLUIE (HAUTEUR) RAINFALL	NEIGE (HAUTEUR) SNOWFALL	PRÉCIP. TOTALES TOTAL PRECIP.		VITESSE MOYENNE AVERAGE SPEED	DIRECTION DOMINANTE PREVAILING DIRECTION	VITESSE MOYENNE MAX. EN 2 MIN. & DIRECTION MAX 2 MIN. MEAN SPEED & DIRECTION	
	°C	°C	°C	BASE 18,0°C	BASE 5,0°C	BASE 18,0°C	%	%	mm	cm	mm	cm	km/h		km/h		
1	20,5	5,8	13,2	4,8	8,2		79	33					14,6	N	N*	24	15,3
2	23,1	4,1	13,6	4,4	8,6		85	28					5,0	NNE*	SSE	15	11,6
3	26,9	8,1	17,5	0,5	12,5		82	31					8,2	S*	S	28	15,2
4	27,8	11,1	19,5		14,5	1,5	84	34	1	3,4	3,4		13,3	SSE	SSE	26	9,4
5	24,8	16,8	20,8		15,8	2,8	92	63		0,4	0,4		16,8	SSE	S*	22	3,1
6	26,5	15,3	20,9		15,9	2,9	94	53	1				18,1	SSW	SW	30	5,9
7	28,4	17,9	23,2		18,2	5,2	82	39					16,3	W	W	28	10,6
8	19,6	7,1	13,4	4,6	8,4		87	56		0,2	0,2		23,3	NW	NNW	35	1,6
9	20,7	5,2	13,0	5,0	8,0		88	39					18,3	NW	NW	35	9,5
10	20,7	8,5	14,6	3,4	9,6		91	42		1,4	1,4		14,5	NNW	NNW	30	8,5
11	21,6	9,2	15,4	2,6	10,4		88	48					14,4	NW	NW*	24	12,1
12	26,5	13,1	19,8		14,8	1,8	85	36					13,7	W	NNW*	20	7,0
13	22,3	12,5	17,4	0,6	12,4		88	31		1,2	1,2		16,3	N	NNW	35	12,9
14	23,9	10,3	17,1	0,9	12,1		80	39					16,7	NW	NW*	26	15,0
15	28,7	6,9	17,5	0,5	12,5		89	30					14,1	W	W	24	14,1
16	32,2	15,0	23,6		18,6	5,6	93	39	1	11,0	11,0		24,5	SW*	WSW	35	10,9
17	25,2	17,2	21,2		16,2	3,2	94	67	1	7,2	7,2		12,8	NNW	NNW	24	7,0
18	31,7	16,1	23,9		18,9	5,9	95	39					8,0	SW*	W*	17	12,2
19	32,7	20,2	26,5		21,5	8,5	82	38		TR	TR		17,8	SSW*	SSW	28	10,6
20	29,8	14,7	23,3		18,3	5,3	90	31		0,8	0,8		10,1	WSW	SW	20	10,5
21	23,8	10,1	17,0	1,0	12,0		91	45		TR	TR		10,1	NNW	NNW	24	10,6
22	25,7	7,2	16,5	1,5	11,5		94	40		5,2	5,2		11,0	SSE	S	20	7,6
23	23,9	12,3	18,1		13,1	0,1	96	44		3,0	3,0		19,7	W	W	33	10,8
24	21,1	10,3	15,7	2,3	10,7		88	46		TR	TR		18,7	SW	W	31	10,5
25	19,8	10,0	14,9	3,1	9,9		90	50		TR	TR		10,6	NW	NNW	19	3,4
26	18,1	10,7	14,4	3,6	9,4		83	48		0,2	0,2		9,7	N*	NW	19	3,7
27	20,7	9,6	15,2	2,8	10,2		91	52		0,6	0,6		9,8	W	W	22	5,9
28	22,6	6,2	14,4	3,6	9,4		95	45					3,8	NNE	NNW	15	11,6
29	25,1	8,5	16,8	1,2	11,8		92	32					3,8	SE	SE	13	6,6
30	22,4	13,9	18,2		13,2	0,2	95	60	1	10,2	10,2		8,2	SE	SE	24	0,4
31	23,9	14,3	19,1		14,1	1,1	97	52		5,0	5,0		10,5	SSW	WSW*	19	4,7
	MOY. 24,5	MOY. 11,3	MOY. 17,9	TOTAL 46,4	TOTAL 400,7	TOTAL 44,1	MOY. 89	MOY. 43	TOTAL 5	TOTAL 49,8	TOTAL 49,8		MOY. 13,3	DOMINANTE W	MAXIMALE NNW*	TOTAL 35	TOTAL 278,8
NORMALE NORMAL	23,3	10,8	17,1	65,0	373,0	35,1			7	101,5	101,5		12,0	SW			259,8

SOMMAIRE DE DEGRÉS-JOURS/DEGREE-DAY SUMMARY

JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS TOTALES: DAYS WITH TOTAL PRECIPITATION: mm

JOURS AVEC CHUTES DE NEIGE: DAYS WITH SNOWFALL: cm				
0,2 OU PLUS OR MORE	1,0 OU PLUS OR MORE	2,0 OU PLUS OR MORE	10,0 OU PLUS OR MORE	50,0 OU PLUS OR MORE
14	9	7	2	0

AU-DESSOUS DE 18°C BELOW 18°C	ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	AU-DESSUS DE 5°C ABOVE 5°C	ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL
TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH	46,4	56,6	65,0	TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH	400,7	379,3	373,0
CUMUL DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET ACCUMULATED SINCE JULY 1	46,4	56,6	65,0	CUMUL DEPUIS LE 1 ^{er} AVRIL ACCUMULATED SINCE APRIL 1	972,8	870,7	828,0

UDC 551.506.1 ()

Avis/Note

1. Journée climatologique/Climatological Day
2. Normale/Normal 1951-1980
3. TR = Trace
4. M = Manquant/Missing
5. Pas de valeur/No entry = Pas d'événement/No occurrence
6. * Indique la première de plusieurs des directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale en 2 minutes (voir page 4)./Indicate first or more

RELEVÉS COMPARATIFS A:
COMPARATIVE RECORDS AT:

AÉROPORT DE VAL D'OR, Qc
VAL D'OR AIRPORT, Qc

JUILLET 1991
JULY 1991

		CE MOIS-CI THIS MONTH		ANNEE PRECEDENTE PREVIOUS YEAR		NORMALE NORMAL	RECORDS DU MOIS RECORDS FOR THE MONTH							
		RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY		MAXIMUM ABSOLU HIGHEST EVER			MINIMUM ABSOLU LOWEST EVER			N° D'ANNEES NO OF YEAR	
							RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	ANNEE YEAR	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	ANNEE YEAR		
TEMPÉRATURE MAXIMALE HIGHEST TEMPERATURE (MAXIMUM)	° Celsius	32,7	19	30,4	27*		36,2	31	1975					40
TEMPÉRATURE MINIMALE LOWEST TEMPERATURE (MINIMUM)	° Celsius	4,1	2	4,0	7						-0,1	3	1982	40
TEMPÉRATURE MENSUELLE MOYENNE MEAN MONTHLY TEMPERATURE	° Celsius	17,9		17,2		17,1	20,0		1955	13,7			1965	40
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE PLUIE TOTAL MONTHLY RAINFALL	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	49,8		123,6		101,5	201,4		1985	32,4			1988	40
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE NEIGE TOTAL MONTHLY SNOWFALL	Centimètres (cm) Centimetres (cm)						0,0		1988					40
PRÉCIPITATIONS TOTALES MENSUELLES TOTAL MONTHLY PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	49,8		123,6		101,5	201,4		1985	32,4			1988	40
N° DE JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS MESURABLES NO OF DAYS WITH MEASURABLE PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	14		12		14	21		1984	5			1955	40
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST RAINFALL IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	11,0	16	32,8	3		67,8	9	1952					40
HAUTEUR DE NEIGE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST SNOWFALL IN ONE DAY	Centimètres (cm) Centimetres (cm)						0,0	19	1988					40
PRÉCIPITATIONS MAXIMALES EN UNE JOURNÉE GREATEST PRECIPITATION IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	11,0	16	32,8	3		67,8	9	1952*					40
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE ENREGISTRÉE EN: MAXIMUM RAINFALL RECORDED IN:														
5 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	4,3	16	7,5	24		11,9	29	1975					31
10 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	6,9	16	12,8	24		14,4	13	1981					31
15 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	7,6	16	16,0	24		17,0	14	1983					31
30 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	7,8	16	20,1	24		22,6	14	1983					31
60 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	10,6	16	21,5	24		32,5	16	1969					31
24 HEURES CONSÉCUTIVES CONSECUTIVE HOURS	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	18,3	16/17	34,0	2/3		67,8	9	1952*					31
VITESSE MOYENNE DU VENT (km/h) MEAN WIND SPEED (km/h)		13,3		9,7		12,0	16,2		1977	9,2			1988	37
VITESSE MAXIMALE (moyenne en 2 min.) (km/h) MAXIMUM SPEED (2 min. mean) (km/h)		NSW 35	8*	NSW 33	16		NNW 56	1	1957					37
POINTE MAXIMALE (km/h) MAXIMUM GUST SPEED (km/h)		SW 59	16	SW 46	16		W 100	8	1977					37
TOTAL DES HEURES D'INSOLATION TOTAL HOURS OF SUNSHINE		278,8		279,0		259,8	335,8		1981	212,1			1970	23
PRESSION MOYENNE À LA STATION (kPa) MEAN STATION PRESSURE (kPa)		97,33		97,55		97,31	97,67		1989	97,08			1975	37
PRESSION MAXIMALE À LA STATION (kPa) GREATEST STATION PRESSURE (kPa)		98,38	28*	98,73	27		99,11	1	1981					37
PRESSION MINIMALE À LA STATION (kPa) LEAST STATION PRESSURE (kPa)		96,16	23	96,12	4					94,85	5	1957		37

DONNÉES CLIMATOLOGIQUES CE MOIS-CI POUR LES
CLIMATOLOGICAL DATA THIS MONTH FOR THE PAST

10 DERNIÈRES ANNÉES
YEARS

ANNEE YEAR	TEMP. MAXIMALE MAXIMUM TEMP.	TEMP. MINIMALE MINIMUM TEMP.	TEMP. MOYENNE MEAN TEMP.	HAUTEUR DE PLUIE RAINFALL	HAUTEUR DE NEIGE SNOWFALL	PRÉCIPITATIONS TOTALES TOTAL PRECIPITATION	VITESSE MOYENNE DES VENTS MEAN WIND SPEED	VITESSE MAXIMALE DES VENTS MAXIMUM WIND SPEED	HEURES D'INSOLATION SUNSHINE HOURS	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFE HEATING DEGREE-DAYS	DEGRÉS-JOURS DE CROISSANCE GROWING DEGREE-DAYS	DEGRÉS-JOURS DE REFROIDISSEMENT COOLING DEGREE-DAYS	A.S.N. S.A.S.
1982	30,1	-0,1	16,7	72,3	0,0	72,3	13,4	NSW 44	285,9	68,9	363,9	29,8	
1983	30,6	4,8	17,9	88,4	0,0	88,4	10,1	NNW 37	269,8	50,4	399,5	46,9	
1984	29,7	6,2	17,2	97,8	0,0	97,8	10,1	NW 30	237,1	48,4	379,7	25,1	
1985	28,7	5,4	16,0	201,4	0,0	201,4	11,4	SSW 33	251,5	77,1	339,7	13,8	
1986	29,4	4,0	16,8	54,2	0,0	54,2	10,6	N 39	222,2	70,0	363,0	30,0	
1987	31,1	1,4	17,8	108,6	0,0	108,6	9,5	SSW 37*	240,4	64,6	396,5	58,1	
1988	34,7	3,1	19,0	32,4	TR	32,4	9,2	NW 31*	259,4	37,0	435,0	69,0	
1989	32,1	4,0	18,0	92,0	0,0	92,0	10,9	NW 39	324,2	45,8	404,6	47,4	
1990	30,4	4,0	17,2	123,6		123,6	9,7	NSW 33	279,0	56,6	379,3	32,9	
1991	32,7	4,1	17,9	49,8		49,8	13,3	NNW 35*	278,8	46,4	400,7	44,1	

Avis/Note

1. Journée climatologique/Climatological Day
2. Normale/Normal 1951-1980
3. Extrêmes pour la période de registre/Extremes for period of record
4. Hauteur de pluie maximale enregistrée en: peut être pour plus d'une journée du calendrier/Maximum rainfall recorded in: may overlap calendar days
5. **Indique le plus récent/Indicates most recent occurrence

A.S.N. = Accumulation saisonnière de neige. / S.A.S. = Seasonal accumulated snow.



Environnement
Canada

Environment
Canada

Service
de l'environnement
atmosphérique

Atmospheric
Environment
Service

SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY

AÉROPORT DE VAL D'OR, Qc
VAL D'OR AIRPORT, Qc

OCTOBRE 1991
OCTOBER 1991

LAT.: 48° 3' N		LONG.: 77° 47' W		ALTITUDE: ELEVATION: 337,0		MÈTRES (NMM) METRES (ASL)		HEURE NORMALE UTILISÉE: STANDARD TIME USED:		H.N.E. E.S.T.																									
DATE	TEMPÉRATURE TEMPERATURE			DEGRÉS-JOURS DEGREE-DAYS			HUMIDITÉ REL. REL. HUMIDITY		ORAGE THUNDERSTORM	PRÉCIPITATIONS PRECIPITATION			NEIGE AU SOL SNOW ON GROUND	VENT WIND			INSOLATION INSOLATION BRIGHT SUNSHINE																		
	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM	MOYENNE MEAN	DE CHAUFFE HEATING BASE 18.0°C	DE CROISSANCE GROWING BASE 5.0°C	DE RÉFRIGÉRATION COOLING BASE 18.0°C	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM		PLUIE (HAUTEUR) RAINFALL	NEIGE (HAUTEUR) SNOWFALL	PRÉCIP. TOTALES TOTAL PRECIP		VITESSE MOYENNE AVERAGE SPEED	DIRECTION DOMINANTE PREVAILING DIRECTION	VITESSE MOYENNE MAX. EN 2 MIN & DIRECTION MAX. 2 MIN. MEAN SPEED & DIRECTION		HEURES HOURS																	
1	12,8	3,2	8,0	10,0	3,0		99	52		TR	TR	16,0	WSW	SW#	26	6,0																			
2	12,1	6,1	9,1	8,9	4,1		100	85		1,2	1,2	12,0	S	S	20	0,0																			
3	13,6	3,9	8,8	9,2	3,8		100	61				3,6	SSW	S	19	3,0																			
4	9,6	3,2	6,4	11,6	1,4		96	55		0,2	0,2	7,7	NW	NNW#	17	7,0																			
5	18,0	3,9	11,0	7,0	6,0		100	80	1	27,8	27,8	19,2	E	E	37	0,0																			
6	10,9	-0,3	5,3	12,7	0,3		95	48		0,6	0,4	1,0																							
7	3,1	-3,6	-0,3	18,3			94	66		1,2	1,0	1	17,1	WSW	W	28	0,1																		
8	11,2	-3,5	3,9	14,1			85	56				13,3	SSW	WSW	26	4,6																			
9	14,6	3,1	8,9	9,1	3,9		86	56				17,5	S	SSW	33	2,3																			
10	9,6	-2,6	3,5	14,5			96	54				11,7	NNW	NNW#	24	3,3																			
11	5,6	-3,9	0,9	17,1			95	70		0,6	0,6	3,1	ESE	SSE	11	1,5																			
12	6,6	0,7	3,7	14,3			92	47			TR	13,4	NNW#	NNW	28	1,0																			
13	1,9	-4,7	-2,4	20,4			89	59				17,5	NNW	NNW	31	0,2																			
14	7,2	-8,0	-0,4	18,4			93	46		0,6	TR	14,2	SSE	S	28	5,4																			
15	9,0	2,7	5,9	12,1	0,9		96	72		5,4	5,4	23,0	S	SSW	33	0,0																			
16	6,4	-1,1	2,7	15,3			94	51		TR	0,2	TR	SW	SSW	35	1,4																			
17	18,9	1,7	10,3	7,7	5,3		86	43				26,8	S	SSW#	39	9,9																			
18	13,8	-0,7	6,6	11,4	1,6		71	47				18,1	NNW	NNW	39	6,2																			
19	3,1	-7,1	-2,0	20,0			72	47				10,6	NNW	NNW	19	2,2																			
20	3,8	-8,4	-2,3	20,3			96	43			2,6	2,0	S	SSW#	24	3,9																			
21	5,1	-4,2	0,5	17,5			98	69		6,0	TR	6,0	S	S	33	0,0																			
22	3,2	-2,5	0,4	17,6			93	61		0,2	TR	0,2	N	NW	31	2,5																			
23	16,7	-0,7	8,0	10,0	3,0		96	69	1	4,6	4,6	20,3	S	SSE#	33	4,0																			
24	17,8	13,1	15,5	2,5	10,5		91	77	1	TR	TR	20,9	S	S	31	0,2																			
25	17,5	4,8	11,2	6,8	6,2		95	81		1,4	1,4	20,3	S	S#	30	0,0																			
26	4,9	0,5	2,7	15,3			98	72		3,2	3,2	8,7	NNE	N	15	1,4																			
27	3,1	-0,1	1,5	14,5			99	91		7,0	TR	13,9	N	N	26	0,0																			
28	5,9	-3,6	1,2	16,8			94	58			TR	8,4	E	NE	19	6,7																			
29	7,7	-4,3	1,7	14,3			93	37				17,1	SSE	SSE	28	8,2																			
30	10,6	-0,1	5,3	12,7	0,3		63	27				15,7	SSE	SSE	33	1,2																			
31	6,4	-0,9	2,8	15,2			99	67				10,6	N	NNW#	20	2,3																			
	MOY. MEAN	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY. MEAN	DOMINANTE PREVAILING	MAXIMALE	TOTAL																			
	9,4	-0,5	4,5	419,6	50,3	0,0	92	60	3	58,8	4,4	62,4	15,2	S	SSW 48	91,9																			
	NORMALE NORMAL	9,0	0,1	414,3	62,1	0,2			1	68,5	14,5	82,3	13,6	S		89,1																			
SOMMAIRE DE DEGRÉS-JOURS/DEGREE-DAY SUMMARY										JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS TOTALES: DAYS WITH TOTAL PRECIPITATION:					JOURS AVEC CHUTES DE NEIGE: DAYS WITH SNOWFALL:																				
AU-DESSOUS DE 18°C BELOW 18°C		ANNÉE EN COURS THIS YEAR		ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR		NORMALE NORMAL		AU-DESSUS DE 5°C ABOVE 5°C		ANNÉE EN COURS THIS YEAR		ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR		NORMALE NORMAL		0,2 OU PLUS OR MORE		1,0 OU PLUS OR MORE		2,0 OU PLUS OR MORE		10,0 OU PLUS OR MORE		50,0 OU PLUS OR MORE		0,2 OU PLUS OR MORE		1,0 OU PLUS OR MORE		2,0 OU PLUS OR MORE		10,0 OU PLUS OR MORE		50,0 OU PLUS OR MORE	
TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH		419,6		450,1		414,3		50,3		22,7		62,1		16		11		7		1		0		4		2		1		0		0			
CUMUL. DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET ACCUMULATED SINCE JULY 1		815,6		403,2		807,5		CUMUL. DEPUIS LE 1 ^{er} AVRIL ACCUMULATED SINCE APRIL 1		1525,1		1350,1		1323,7																					

UDC 551.508.1 ()

Avia/Note

1. Journée climatologique/Climatological Day
2. Normale/Normal 1951-1980
3. TR = Trace
4. M = Manquant/Missing
5. Pas de valeur/No entry = Pas d'événement/No occurrence
6. * Indique la première de plusieurs des directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale en 2 minutes (voir page 4). Indicate first or more

		CE MOIS-CI THIS MONTH		ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR		NORMALE NORMAL	RECORDS DU MOIS RECORDS FOR THE MONTH						
		RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY		MAXIMUM ABSOLU HIGHEST EVER			MINIMUM ABSOLU LOWEST EVER			N° D'ANNÉES NO OF YEAR
							RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	ANNÉE YEAR	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	ANNÉE YEAR	
TEMPÉRATURE MAXIMALE HIGHEST TEMPERATURE (MAXIMUM)	*Celsius	18,9	17	16,1	3		26,1	16	1968				41
TEMPÉRATURE MINIMALE LOWEST TEMPERATURE (MINIMUM)	*Celsius	-8,4	20	-8,3	26					-13,3	25	1976	41
TEMPÉRATURE MENSUELLE MOYENNE MEAN MONTHLY TEMPERATURE	*Celsius	4,5		3,5		4,6	9,2		1963	1,1		1980	41
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE PLUIE TOTAL MONTHLY RAINFALL	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	58,8		110,4		68,5	131,6		1979	10,9		1953	41
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE NEIGE TOTAL MONTHLY SNOWFALL	Centimètres (cm) Centimetres (cm)	4,4		7,4		14,5	50,9		1979	0,0		1953	41
PRÉCIPITATIONS TOTALES MENSUELLES TOTAL MONTHLY PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	62,4		117,8		82,3	177,5		1979	10,9		1953	41
N° DE JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS MESURABLES NO OF DAYS WITH MEASURABLE PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	16		19		16	24		1965	7		1953	41
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST RAINFALL IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	27,8	5	17,6	17		50,6	24	1951				41
HAUTEUR DE NEIGE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST SNOWFALL IN ONE DAY	Centimètres (cm) Centimetres (cm)	2,6	20	3,4	19		20,8	24	1957				41
PRÉCIPITATIONS MAXIMALES EN UNE JOURNÉE GREATEST PRECIPITATION IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	27,8	5	17,6	17		51,0	18	1988				41
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE ENREGISTRÉE EN: MAXIMUM RAINFALL RECORDED IN:													
5 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	3,0	5	1,4	10		8,1	16	1962				31
10 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	5,6	5	2,5	10		11,7	16	1962				31
15 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	5,9	5	3,2	10		13,2	16	1962				31
30 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	6,1	5	4,4	10*		13,5	16	1962				31
60 MINUTES	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	6,3	5	6,3	17		16,2	21	1979				31
24 HEURES CONSÉCUTIVES CONSECUTIVE HOURS	Millimètres (mm) Millimetres (mm)	27,9	4/ 5	21,4	10		52,0	17/18	1988				31
VITESSE MOYENNE DU VENT (km/h) MEAN WIND SPEED (km/h)		15,2		12,1		13,6	20,4		1978	10,0		1984	37
VITESSE MAXIMALE (moyenne en 2 min.) (km/h) MAXIMUM SPEED (2 min. mean) (km/h)		SSW 48	6	NNW 52	19		SSW 57	30	1978				37
POINTE MAXIMALE (km/h) MAXIMUM GUST SPEED (km/h)		SSW 67	5*	SSW 80	18		SSW 98	30	1984				37
TOTAL DES HEURES D'INSOLATION TOTAL HOURS OF SUNSHINE		91,9		83,1		89,1	136,6		1977	49,4		1980	23
PRESSION MOYENNE À LA STATION (kPa) MEAN STATION PRESSURE (kPa)		97,52		97,37		97,44	98,02		1956	97,00		1966	37
PRESSION MAXIMALE À LA STATION (kPa) GREATEST STATION PRESSURE (kPa)		99,72	28	98,86	8		99,83	24	1956				37
PRESSION MINIMALE À LA STATION (kPa) LEAST STATION PRESSURE (kPa)		95,88	5	94,93	18					93,96	16	1972	37

DONNÉES CLIMATOLOGIQUES CE MOIS-CI POUR LES
CLIMATOLOGICAL DATA THIS MONTH FOR THE PAST

DERNIÈRES ANNÉES
10 YEARS

ANNÉE YEAR	TEMP MAXIMALE MAXIMUM TEMP.	TEMP MINIMALE MINIMUM TEMP.	TEMP MOYENNE MEAN TEMP.	HAUTEUR DE PLUIE RAINFALL	HAUTEUR DE NEIGE SNOWFALL	PRÉCIPITATIONS TOTALES TOTAL PRECIPITATION	VITESSE MOYENNE DES VENTS MEAN WIND SPEED	VITESSE MAXIMALE DES VENTS MAXIMUM WIND SPEED	HEURES D'INSOLATION SUNSHINE HOURS	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFE HEATING DEGREE-DAYS	DEGRÉS-JOURS DE CROISSANCE GROWING DEGREE-DAYS	DEGRÉS-JOURS DE RÉFRIGÉRATION COOLING DEGREE-DAYS	A.S.N. S.A.S.
1982	20,3	-5,9	7,8	64,4	2,4	66,8	12,4	SSW 43	79,5	363,8	70,8	0,0	
1983	23,8	-8,4	4,8	76,2	1,4	77,6	13,3	NNW 50	124,0	408,7	56,6	0,0	
1984	22,0	-8,5	6,2	45,0	6,2	52,2	10,0	SSW 44	136,3	367,6	78,6	0,0	
1985	17,8	-7,6	4,2	51,4	4,4	55,8	12,1	NW 39	128,8	409,1	44,1	0,0	
1986	17,3	-10,3	3,1	96,6	9,0	105,4	11,7	N 44	89,6	463,2	22,0	0,0	
1987	18,4	-6,9	2,7	54,2	13,6	68,6	12,5	SW 41*	95,6	473,2	27,7	0,0	
1988	18,1	-10,8	2,7	87,6	35,4	125,8	13,0	NW 46	70,9	472,9	25,3	0,0	
1989	21,5	-8,8	5,9	71,0	12,6	82,8	14,4	NNW 57	106,4	377,6	89,1	0,0	
1990	16,1	-8,3	3,4	110,4	7,4	117,8	12,1	NNW 52	83,1	450,1	22,7		
1991	18,9	-8,4	4,5	58,8	4,4	62,4	15,2	SSW 48	91,9	419,6	50,3		

Avis Note

1. Journée climatologique/Climatological Day
2. Normale/Normal 1951-1980
3. Extrêmes pour la période de registre-Extremes for period of record
4. Hauteur de pluie maximale enregistrée en: peut être pour plus d'une journée du calendrier/Maximum rainfall recorded in: may overlap calendar days
5. ** Indique le plus récent/Indicates most recent occurrence

A.S.N. = Accumulation saisonnière de neige. / S.A.S. = Seasonal accumulated snow.



Environnement
Canada
Service
de l'environnement
atmosphérique

Environment
Canada
Atmospheric
Environment
Service

SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY

AÉROPORT DE VAL D'OR, Qc
VAL D'OR AIRPORT, Qc

SEPTEMBRE 1991
SEPTEMBER 1991

LAT.: 48° 3' N		LONG.: 77° 47' W		ALTITUDE: ELEVATION: 337,0		MÈTRES (NMM) METRES (ASL)		HEURE NORMALE UTILISÉE: STANDARD TIME USED: H.N.F. E.S.T.									
DATE	TEMPÉRATURE TEMPERATURE			DEGRÉS-JOURS DEGRÉE-DAYS			HUMIDITÉ REL. REL. HUMIDITY		ORAGE THUNDERSTORM	PRÉCIPITATIONS PRECIPITATION			NEIGE AU SOL SNOW ON GROUND	VENT WIND			INSOLATION EFFECTIVE BRIGHT SUNSHINE
	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM	MOYENNE MEAN	DE CHAUFFE HEATING	DE CROISSANCE GROWING	DE RÉFRIGÉRATION COOLING	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM		PLUIE (HAUTEUR) RAINFALL	NEIGE (HAUTEUR) SNOWFALL	PRÉCIP. TOTALES TOTAL PRECIP		VITESSE MOYENNE AVERAGE SPEED	DIRECTION DOMINANTE PREVAILING DIRECTION	VITESSE MOYENNE MAX EN 2 MIN A DIRECTION MAX 2 MIN. MEAN SPEED & DIRECTION	
1	15,1	1,6	8,4	9,6	3,4		92	48							N #	N 13	8,5
2	22,4	6,5	14,5	9,5			86	40							SSW	SW# 22	12,3
3	23,7	8,3	16,0	11,0			94	52			8,0				SSW	NNW 46	5,8
4	19,3	10,6	15,0	10,0			93	50			1,8				NW	NW 24	7,6
5	16,0	7,3	11,7	6,3			94	59			2,4				E	NW 9	6,0
6	18,4	9,9	14,2	3,8			93	57			0,8				W	WNW 13	5,9
7	21,7	5,5	13,6	4,4			94	54							W	WSW 22	9,8
8	16,7	6,0	11,4	6,6			91	41							NNE	ENE 13	12,0
9	18,6	4,8	11,7	6,3			92	68			0,6				SSE	SSE# 22	0,1
10	20,4	7,1	13,8	4,2			97	69			8,0				NNW	NNW# 30	1,2
11	13,4	2,1	7,8	10,2			90	44							NNW	NW 26	10,2
12	14,7	-0,4	7,2	10,8			94	44							N	NNW# 15	7,0
13	14,7	3,0	8,9	9,1			94	61			0,8				S	SSE 17	0,1
14	18,6	9,5	14,1	3,9			95	62							S	SSE 11	3,2
15	19,6	12,6	16,1	1,9			99	85			15,6				SSE#	SSE 24	0,0
16	21,8	14,8	18,3	13,3		0,3	97	64			6,2				SSW	SSW 28	0,0
17	14,9	2,9	8,9	9,1			95	66			0,4				SW	NW 33	1,0
18	12,9	2,1	7,5	10,5			95	83			9,6				SSE	WSW 30	0,0
19	6,7	-0,9	2,9	15,1			96	59			TR				W	N 24	3,7
20	8,0	-1,3	3,4	14,6			95	63			TR				WNW	WNW# 17	3,8
21	11,4	-3,2	4,1	13,9			98	51							SSW	WSW# 22	8,0
22	16,6	2,5	9,6	8,4			98	51							S	S 33	7,9
23	13,5	4,0	8,8	9,2			96	61			4,4				S	WSW# 30	2,3
24	8,6	-0,7	4,0	14,0			94	53			0,2				W	WNW# 19	2,5
25	12,2	-2,2	5,0	13,0			95	54			0,4				SSE	SE 20	5,4
26	10,8	1,8	6,3	11,7		1,3	98	85			10,6				SSE	SE# 22	0,2
27	4,8	-0,4	2,2	15,8			94	75			0,8				W	W# 24	0,8
28	4,5	-2,3	1,1	16,9			95	57							N	WSW 17	2,6
29	5,8	-4,7	0,6	17,4			97	58							W	W# 26	2,9
30	3,2	-5,6	-1,2	19,2			99	76			6,6				S	S 28	0,0
	MOY. MEAN	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY. MEAN	DOMINANTE PREVAILING	MAXIMALE	TOTAL	
	14,3	3,4	8,9	274,4	138,8	0,3	95	60	2	77,2	5,8	83,8	12,9	S	NNW 46	130,8	
NORMALE NORMAL	15,8	5,1	10,4	231,8	168,0	4,2			2	106,1	1,2	107,4	12,7	S		141,2	

SOMMAIRE DE DEGRÉS-JOURS/DEGREE-DAY SUMMARY								JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS TOTALES: DAYS WITH TOTAL PRECIPITATION:					JOURS AVEC CHUTES DE NEIGE: DAYS WITH SNOWFALL:				
AU-DESSOUS DE 10°C BELOW 10°C	ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	AU-DESSUS DE 5°C ABOVE 5°C	ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	0,2 OU PLUS OR MORE	1,0 OU PLUS OR MORE	2,0 OU PLUS OR MORE	10,0 OU PLUS OR MORE	50,0 OU PLUS OR MORE	0,2 OU PLUS OR MORE	1,0 OU PLUS OR MORE	2,0 OU PLUS OR MORE	10,0 OU PLUS OR MORE	50,0 OU PLUS OR MORE
TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH	274,4	268,0	231,8	TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH	138,8	129,1	168,0	19	12	10	2	0	4	1	1	0	0
CUMUL DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET ACCUMULATED SINCE JULY 1	396,0	403,2	393,2	CUMUL DEPUIS LE 1 ^{er} AVRIL ACCUMULATED SINCE APRIL 1	1474,8	1350,1	1323,7										

UDC 551.508.1 ()

Avia/Note

1. Journée climatologique/Climatological Day
2. Normale/Normal 1951-1980
3. TR = Trace
4. M = Manquant/Missing
5. Pas de valeur/No entry = Pas d'événement/No occurrence
6. * Indique la première de plusieurs des directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale en 2 minutes (voir page 4)./Indicate first or more than one prevailing direction and/or maximum 2 minutes mean speed (see page 4).
7. C = Calme/Calm



RELEVÉS COMPARATIFS A:
COMPARATIVE RECORDS AT:

AÉROPORT DE VAL D'OR, Qc
VAL D'OR AIRPORT, Qc

SEPTEMBRE 1991
SEPTEMBER 1991

		CE MOIS-CI THIS MONTH		ANNEE PRECEDENTE PREVIOUS YEAR		NORMALE NORMAL	RECORDS DU MOIS RECORDS FOR THE MONTH					N° D'ANNEES NO OF YEAR	
		RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY		MAXIMUM ABSOLU HIGHEST EVER			MINIMUM ABSOLU LOWEST EVER			
							RELEVÉ VALUE	JOUR DAY	ANNEE YEAR	RELEVÉ VALUE	JOUR DAY		ANNEE YEAR
TEMPÉRATURE MAXIMALE HIGHEST TEMPERATURE (MAXIMUM)	*Celsius	23,7	3	26,5	1		32,2	1	1953			40	
TEMPÉRATURE MINIMALE LOWEST TEMPERATURE (MINIMUM)	*Celsius	-5,6	30	-2,9	18					-5,7	28	1980	40
TEMPÉRATURE MENSUELLE MOYENNE MEAN MONTHLY TEMPERATURE	*Celsius	8,9		9,1		10,4	14,4		1968	8,2		1956	40
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE PLUIE TOTAL MONTHLY RAINFALL	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	77,2		147,6		106,1	174,5		1974	60,2		1959	40
HAUTEUR TOTALE MENSUELLE DE NEIGE TOTAL MONTHLY SNOWFALL	Centimètres (cm) Centimeters (cm)	5,8		5,4		1,2	11,8		1980				40
PRÉCIPITATIONS TOTALES MENSUELLES TOTAL MONTHLY PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	83,8		153,0		107,4	184,9		1974	61,0		1959	40
N° DE JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS MESURABLES NO OF DAYS WITH MEASURABLE PRECIPITATION	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	19		20		15	21		1986	10		1963	40
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST RAINFALL IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	15,6	15	37,8	14		53,8	11	1974				40
HAUTEUR DE NEIGE MAXIMALE EN UNE JOURNÉE GREATEST SNOWFALL IN ONE DAY	Centimètres (cm) Centimeters (cm)	4,6	29	3,4	24		9,6	17	1980				40
PRÉCIPITATIONS MAXIMALES EN UNE JOURNÉE GREATEST PRECIPITATION IN ONE DAY	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	15,6	15	37,8	14		53,8	11	1974				40
HAUTEUR DE PLUIE MAXIMALE ENREGISTRÉE EN: MAXIMUM RAINFALL RECORDED IN:													
5 MINUTES	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	1,9	3	6,4	14		11,5	13	1979				30
10 MINUTES	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	2,9	3	8,3	14		12,7	13	1979				30
15 MINUTES	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	4,0	3	9,6	14		14,2	1	1966				30
30 MINUTES	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	4,2	3	11,1	14		20,8	1	1966				30
60 MINUTES	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	6,0	15	15,8	14		25,9	1	1966				30
24 HEURES CONSÉCUTIVES CONSECUTIVE HOURS	Millimètres (mm) Millimeters (mm)	15,6	15	54,4	14/15		57,7	11/12	1974				30
VITESSE MOYENNE DU VENT (km/h) MEAN WIND SPEED (km/h)		12,9		13,0		12,7	17,2		1978	9,9		1985	36
VITESSE MAXIMALE (moyenne en 2 min.) (km/h) MAXIMUM SPEED (2 min. mean) (km/h)		NNW 46	3	S 39	8		S 48	15	1957				36
POINTE MAXIMALE (km/h) MAXIMUM GUST SPEED (km/h)		NNW 74	3	NNW* 48	7*		SSE 98	9	1977				36
TOTAL DES HEURES D'INSOLATION TOTAL HOURS OF SUNSHINE		130,8		112,2		141,2	189,3		1989	89,4		1975	22
PRESSION MOYENNE À LA STATION (kPa) MEAN STATION PRESSURE (kPa)		97,65		97,41		97,55	97,87		1963	97,18		1966	36
PRESSION MAXIMALE À LA STATION (kPa) GREATEST STATION PRESSURE (kPa)		99,19	1	98,97	3		99,54	13	1985				36
PRESSION MINIMALE À LA STATION (kPa) LEAST STATION PRESSURE (kPa)		95,36	26	95,77	15					93,25	18	1966	36

DONNÉES CLIMATOLOGIQUES CE MOIS-CI POUR LES
CLIMATOLOGICAL DATA THIS MONTH FOR THE PAST

10 DERNIÈRES ANNÉES
YEARS

ANNEE YEAR	TEMP. MAXIMALE MAXIMUM TEMP.	TEMP. MINIMALE MINIMUM TEMP.	TEMP. MOYENNE MEAN TEMP.	HAUTEUR DE PLUIE RAINFALL	HAUTEUR DE NEIGE SNOWFALL	PRÉCIPITATIONS TOTALES TOTAL PRECIPITATION	VITESSE MOYENNE DES VENTS MEAN WIND SPEED	VITESSE MAXIMALE DES VENTS MAXIMUM WIND SPEED	HEURES D'INSOLATION SUNSHINE HOURS	DEGRES-JOURS DE CHAUFFE HEATING DEGREE-DAYS	DEGRES-JOURS DE CROISSANCE GROWING DEGREE-DAYS	DEGRES-JOURS DE REFROIDISSEMENT COOLING DEGREE-DAYS	A.S.N. S.A.S.
1982	28,2	-1,3	11,3	103,4	0,0	103,4	11,2	SSW 30	102,4	211,9	189,9	11,7	
1983	29,5	-3,4	12,6	81,0	0,0	81,0	11,6	W 32*	133,7	179,3	231,2	19,2	
1984	25,3	-0,6	14,3	61,6	0,2	61,8	12,4	NW 41	151,9	265,1	129,6	0,0	
1985	27,0	-1,0	11,6	63,0	0,0	63,0	9,9	SSW 26*	137,3	195,6	198,2	3,8	
1986	23,2	-4,0	8,7	138,3	0,4	138,7	10,6	NNW 39	116,2	279,8	114,8	0,0	
1987	26,1	-4,8	11,7	74,6	0,2	74,8	10,8	NNW 33	149,2	189,6	206,6	2,2	
1988	26,3	-2,4	10,6	124,8	0,0	124,8	14,2	NW 39	224,7	224,0	171,1	2,1	
1989	27,3	-4,0	11,8	66,9	8,0	74,9	14,3	NW 46	189,3	192,7	208,6	5,8	
1990	26,5	-2,9	9,1	147,6	5,4	153,0	13,0	S 33	112,2	268,0	129,1	2,0	
1991	23,7	-5,6	8,9	77,2	5,8	83,8	12,9	NNW 46	130,8	274,4	138,8	0,3	

Avis/Note

- Journée climatologique/Climatological Day
- Normale/Normal 1951-1980
- Extrêmes pour la période de registre/Extremes for period of record
- Hauteur de pluie maximale enregistrée en: peut être pour plus d'une journée du calendrier/Maximum rainfall recorded in: may overlap calendar days
- ** Indique le plus récent/Indicates most recent occurrence
- * Indique le premier de plusieurs/Indicates first of more than one occurrence

A.S.N. = Accumulation saisonnière de neige. / S.A.S. = Seasonal accumulated snow.

Appendice 3. Composition de la fraction gazeuse dans les interstices des résidus miniers: été
et automne.

Station	Prof. (cm)	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	N2 (%)	TOTAL (%)
ST-1	10			20.16	80.22	100.38
ST-1	20			20.36	78.98	99.34
ST-1	30			20.57	78.86	99.43
ST-1	40		0.68	19.61	79.78	100.07
ST-1	50		1.49	17.09	81.09	99.67
ST-1	60		6.25	2.22	91.79	100.26
ST-1	70		5.79	2.26	91.82	99.87
ST-1	80	0.10	7.20	3.17	89.33	99.80
ST-1	90	0.08	8.33	2.81	88.86	100.08
ST-1	110	0.22	14.03	2.85	83.80	100.99
ST-1	130	0.20	13.91	1.47	85.24	100.82
ST-1	140	0.29	20.03	1.72	77.74	99.78
ST-1	200	0.80	49.06	2.42	50.07	102.91
ST-2	10			15.91	80.53	96.44
ST-2	20			14.58	82.60	97.18
ST-2	30			16.53	84.73	101.26
ST-2	40		1.56	10.60	86.76	98.92
ST-2	50		1.54	6.75	78.10	86.59
ST-2	70		4.15	2.37	94.61	101.13
ST-2	80		3.55	1.39	91.71	96.65
ST-2	120		2.35	2.62	91.82	96.80
ST-2	130		5.10	2.11	90.11	97.33
ST-2	140		2.54	3.01	89.86	95.41
ST-2	190		14.66	3.42	83.57	101.65
ST-2	205		15.49	3.19	84.58	103.26
ST-2	210		22.21	1.74	77.38	101.33
ST-2	220		23.03	2.10	78.26	103.39
ST-2	230		22.16	2.10	76.36	100.62
ST-2	250		28.19	1.76	68.98	98.94
ST-2	260		27.62	2.71	68.36	98.69
ST-2	270		27.95	1.70	68.67	98.32
ST-3	10		0.77	5.93	92.55	99.55
ST-3	20		1.57	10.13	89.40	101.10
ST-4	10			20.14	79.87	100.01
ST-4	20			19.83	81.39	101.22
ST-4	30			13.16	86.85	100.01
ST-4	40			5.40	95.57	100.97
ST-4	50		0.15	4.03	98.09	102.27
ST-4	60			3.18	95.72	98.90
ST-4	70			3.29	101.54	104.83
ST-4	80			2.77	97.62	100.39
ST-4	100	0.09	0.75	4.00	94.09	98.93
ST-4	110	0.23	0.64	2.29	96.40	99.56
ST-4	120	0.26	0.68	2.00	98.45	101.39
ST-4	130	0.62	0.47	2.31	94.29	98.12
ST-4	140	0.62	0.99	1.86	95.70	99.62
ST-4	150	0.67		1.78	94.12	97.04
ST-4	160	1.18	1.46	1.85	94.43	99.93
ST-4	170	1.37	1.36	2.25	93.74	99.92

Composition de la fraction gazeuse dans les interstices des résidus miniers: été.

Station	Prof. (cm)	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	N2 (%)	TOTAL (%)
ST-5	10			21.79	79.78	101.57
ST-5	20			21.48	81.50	102.98
ST-5	30			20.56	83.36	103.92
ST-5	40		0.30	18.59	89.36	108.25
ST-5	50		0.45	10.56	91.53	102.54
ST-5	60		1.01	3.10	98.02	102.13
ST-5	70		1.40	2.35	95.22	98.97
ST-5	80		1.33	2.52	94.89	98.74
ST-5	90		1.52	2.45	94.65	98.62
ST-5	100		2.44	2.61	100.90	105.95
ST-5	110	0.12	1.45	1.78	94.37	97.72
ST-5	120	0.15	7.21	2.50	94.16	104.02
ST-5	140	0.18	1.89	2.87	90.13	95.07
ST-5	150	0.20	8.75	2.29	93.81	105.05
ST-5	160	0.14	6.70	3.71	87.05	97.60
ST-5	170	0.18	7.62	2.85	90.11	100.76
ST-5	190		6.35	3.41	87.14	96.90
ST-5	200	0.17	6.95	3.70	89.10	99.92
ST-5	220	0.29	10.03	1.99	88.15	100.46
ST-5	230	0.34	12.42	1.90	93.34	108.00
ST-5	240	0.36	13.33	2.06	95.93	111.68
ST-5	250	0.32	9.28	3.63	83.70	96.93
ST-6	10			16.97	82.00	98.97
ST-6	20		0.50	15.14	85.10	100.73
ST-6	30		0.77	11.15	88.41	100.33
ST-6	40		1.07	8.41	90.82	100.29
ST-6	50		20.01	2.88	79.54	102.43
ST-7	10		0.33	19.86	85.81	106.00
ST-7	20			17.93	85.51	103.44
ST-7	30		1.60	11.72	90.85	104.17
ST-7	40		2.47	5.22	100.08	107.77
ST-7	50		2.66	4.02	98.20	104.88
ST-7	60		2.54	2.95	96.20	101.69
ST-7	70		3.02	2.36	97.78	103.16
ST-7	80		2.18	4.07	91.00	97.25
ST-7	90		2.07	4.30	89.83	96.20
ST-7	100		2.83	2.22	93.98	99.03
ST-7	110		2.79	2.03	95.78	100.60
ST-7	150		8.70	1.65	89.01	99.36
ST-7	160	0.14	10.85	1.57	85.88	98.44
ST-7	220	0.44	19.31	2.59	75.70	98.04
ST-7	230	0.45	20.26	2.34	75.99	99.32
ST-7	240	0.44	19.57	2.57	75.43	98.29
ST-7	250	0.44	19.93	2.36	75.12	98.12
ST-7	260	0.45	19.60	2.45	75.20	97.97
ST-7	270	0.46	19.91	2.24	74.54	97.15
ST-7	280	0.44	18.42	1.84	76.82	97.52
ST-7	290	0.39	15.22	4.08	78.77	98.56
ST-7	300	0.66	18.33	2.12	78.12	99.61
ST-7	310	0.90	18.11	1.87	76.61	98.17

Composition de la fraction gazeuse dans les interstices des résidus miniers: été.

Station	Prof. (cm)	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	N2 (%)	TOTAL (%)
ST-1	10		0.58	18.93	79.76	99.27
ST-1	20		1.43	18.15	82.39	101.97
ST-1	30		2.48	14.36	81.74	98.58
ST-1	40		3.26	11.80	84.14	99.18
ST-1	50		5.19	6.26	88.03	99.48
ST-1	60	0.33	6.44	4.00	87.80	98.57
ST-1	70	0.44	8.02	2.99	88.81	100.26
ST-1	80	0.53	8.95	2.36	89.14	100.98
ST-1	90	0.49	9.57	2.19	87.04	99.29
ST-1	100	0.65	11.30	2.46	85.54	99.95
ST-1	110	0.79	14.42	2.48	83.17	100.84
ST-1	120	1.02	16.20	2.48	82.15	101.85
ST-1	130	0.69	11.20	1.82	84.97	98.71
ST-1	140	0.67	11.00	3.41	85.03	100.07
ST-1	150	0.79	13.62	2.16	83.69	100.26
ST-1	180	2.20	37.85	2.00	59.50	101.55
ST-1	190	2.28	36.65	1.96	57.37	98.26
ST-1	210	3.03	44.69	1.78	49.74	99.24
ST-1	220	2.50	38.90	2.71	57.86	101.98
ST-2	10			20.64	78.72	99.36
ST-2	20			18.83	80.55	99.38
ST-2	30			18.49	81.21	99.70
ST-2	40			18.10	79.43	97.53
ST-2	50			19.60	77.70	97.31
ST-2	60		0.65	7.04	89.86	97.55
ST-2	70		0.72	2.90	95.92	99.54
ST-2	80		1.57	2.19	94.35	98.11
ST-2	90		1.37	2.83	93.38	97.58
ST-2	100		1.77	2.54	94.57	98.88
ST-2	110		1.80	1.96	95.69	99.45
ST-2	120		2.04	1.96	96.17	100.17
ST-2	130		1.91	2.03	95.90	99.84
ST-2	140		3.03	2.02	94.70	99.75
ST-2	150		7.66	2.37	90.12	100.15
ST-2	160		7.35	1.80	90.08	99.23
ST-2	170		7.00	2.30	86.98	96.28
ST-2	180		13.81	2.08	82.30	98.19
ST-2	190		16.44	2.07	83.65	102.16
ST-2	200		13.84	2.34	81.00	97.18
ST-2	210		14.24	1.56	85.61	101.41
ST-2	220		13.92	1.95	85.81	101.68
ST-2	230		1.77	2.54	94.57	98.88
ST-2	240		21.00	1.77	78.40	101.17
ST-2	250		17.09	3.57	76.37	97.03
ST-2	260		18.38	2.98	76.40	97.76
ST-2	270		17.40	3.16	79.28	99.82
ST-2	280		19.08	2.16	77.55	98.79
ST-2	290		19.74	1.97	76.12	97.83
ST-2	300		21.90	1.95	74.48	98.33
ST-2	310		22.37	1.65	74.76	98.78
ST-2	320		8.52	3.90	86.15	98.57
ST-2	330		22.53	1.53	74.69	98.75
ST-2	340		16.89	2.46	79.46	98.81
ST-2	350		14.20	2.77	82.55	99.52
ST-2	360		19.26	2.22	78.59	100.07
ST-2	370		20.27	2.01	75.65	97.93
ST-2	380		25.08	1.90	70.26	97.24
ST-2	390		24.43	1.64	71.04	97.11
ST-2	400		25.48	1.94	71.47	98.89
ST-2	410		24.60	1.76	72.20	98.56
ST-2	420		22.96	2.18	72.49	97.63
ST-2	450		20.05	3.36	75.85	99.26
ST-2	460		22.01	2.07	75.61	99.69

Composition de la fraction gazeuse dans les interstices des résidus miniers: automne.

Station	Prof. (cm)	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	N2 (%)	TOTAL (%)
ST-3	10		0.11	12.55	85.62	98.28
ST-3	20			17.12	79.65	96.77
ST-3	30			20.60	76.36	96.96
ST-3	40		2.11	4.25	92.97	99.33
ST-4	10			21.47	79.60	101.07
ST-4	20			20.61	77.39	98.00
ST-4	30	0.35	1.21	3.80	93.57	98.93
ST-4	40	0.37	1.21	2.89	93.58	98.05
ST-4	50	0.37	1.69	2.79	92.49	97.34
ST-4	70	0.61	1.49	2.14	95.38	99.62
ST-4	80	1.06	0.69	2.15	93.44	97.34
ST-4	90	1.42	1.12	2.64	94.53	99.71
ST-4	100	1.52	0.96	2.09	94.60	99.17
ST-4	120	5.70	3.93	2.62	90.36	102.61
ST-4	130	5.40	3.59	2.66	89.31	100.97
ST-4	140	6.16	3.87	2.09	89.02	101.14
ST-4	150	6.17	3.83	2.16	87.34	99.50
ST-5	10			22.16	78.91	101.07
ST-5	20			21.50	79.76	101.26
ST-5	40			17.38	82.90	100.28
ST-5	50			9.34	90.38	99.72
ST-5	60		1.05	2.93	99.41	103.39
ST-5	70		1.13	2.97	96.98	101.08
ST-5	80		1.12	3.53	96.97	101.62
ST-5	90		1.61	2.43	97.43	101.47
ST-5	100		3.20	2.61	96.49	102.30
ST-5	110		4.51	2.18	96.33	103.02
ST-5	120		6.09	2.25	93.88	102.22
ST-5	130		7.38	2.49	93.10	102.97
ST-5	140		8.29	2.63	95.40	106.32
ST-5	150		7.54	2.48	92.98	103.00
ST-5	160		7.65	2.45	92.81	102.91
ST-5	170		8.00	1.84	93.67	103.51
ST-5	190		8.17	2.74	93.30	104.21
ST-5	200		7.95	2.48	93.14	103.57
ST-5	210		9.45	2.30	92.16	103.91
ST-5	220		7.90	2.28	88.33	98.51
ST-5	230		8.96	1.87	88.79	99.62
ST-6	10		0.63	8.42	91.67	100.72
ST-6	20		0.73	6.50	92.77	100.00
ST-7	10			21.49	78.71	100.20
ST-7	20		0.09	20.22	79.70	100.01
ST-7	30		0.65	15.27	84.73	100.65
ST-7	40		2.01	10.00	89.87	101.88
ST-7	50		1.83	9.79	89.67	101.29
ST-7	60		2.14	8.90	91.53	102.57
ST-7	70		5.88	5.05	100.00	110.93
ST-7	80		3.68	2.18	94.40	100.26
ST-7	90		3.72	2.38	94.19	100.29
ST-7	100		3.67	2.26	91.98	97.91
ST-7	110		3.84	2.20	93.38	99.42
ST-7	120		3.95	2.27	94.72	100.94
ST-7	128		6.46	3.01	88.43	97.90
ST-7	150	0.49	15.81	1.84	83.99	102.13
ST-7	180	0.54	18.25	2.18	80.66	101.63
ST-7	190	0.85	18.73	2.16	76.95	98.69
ST-7	230	0.93	20.24	2.20	75.62	98.99
ST-7	240	1.02	21.26	1.56	76.24	100.08
ST-7	250	1.04	21.67	2.27	77.75	102.73
ST-7	260	1.09	20.77	2.26	78.06	102.18
ST-7	270	1.00	19.32	1.93	75.47	97.72
ST-7	290	1.10	19.87	1.99	77.79	100.75

Composition de la fraction gazeuse dans les interstices des résidus miniers: automne.

Appendice 4. Résultats des analyses de Eh, pH et Fe⁺² dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1).

Echantillon	Profondeur (cm)	Eh-sol (mv)	Eh-eau (mv)	pH	Fe++ (ppm)	Alcalinité (ppm CaCO3)
ST-1-août-0-20	15	300	402	3.47	< 50	
ST-1-août-20-40	45	450				40.9
ST-1-août-40-60	75	503				
ST-1-août-60-80	105	209			4170	
ST-1-août-80-100	135	251	288	3.53	1076	
ST-1-août-100-120	162					
ST-1-août-120-140	185	212	218	3.75	6957	
ST-1-août-140-160	208	138	228	3.83	6247	
ST-1-août-160-180	237	-35	201	4.01	10043	
ST-1-août-180-200	270	-26	98	4.97	8283	
ST-1-août-200-220	303	-290	62	5.13	8383	
ST-1-août-220-240	335	-32	116	4.72	9181	
ST-1-août-240-260	365	-214	59	5.03	8657	
ST-1-août-260-280	395	-157	-57	5.75	5153	
ST-1-août-P2-399	399		120	6.69	279	
ST-1-août-280-300	425	-150	51	5.10	1940	
ST-1-août-P3-450	450		126	6.50	336	
ST-2-août-0-20	11	379				
ST-2-août-20-40	34	408	396	3.14	<50	
ST-2-août-40-60	66	531				
ST-2-août-60-80	109	548				
ST-2-août-80-100	140	349				
ST-2-août-100-120	160	349				
ST-2-août-120-140	180	281				
ST-2-août-140-160	200	225				
ST-2-août-160-180	220	116				
ST-2-août-180-200	240	178				
ST-2-août-200-220	260	218				
ST-2-août-220-240	280	150				
ST-2-août-240-260	300	168	198	3.86		
ST-2-août-260-280	326	154				
ST-2-août-280-300	359	32	290	3.56	5937	
ST-2-août-300-320	385	53	100	4.61	17594	
ST-2-août-320-340	405	19	119	4.36	31886	
ST-2-août-340-360	426	90	192	3.89	26101	
ST-2-août-360-380	449	-40	217	3.79	28489	
ST-2-août-380-400	471	-30	151	4.25	32117	
ST-2-août-400-420	494	99				
ST-2-août-420-440	516	116	95	4.90	32611	
ST-2-août-440-460	537	129	161	4.07	27788	
ST-2-août-460-480	559	-10	165	4.00	24116	
ST-2-août-480-500	581	-17	159	4.24	15935	
ST-2-août-500-520	602	17	-123	5.69	14587	
ST-2-août-520-540	624	12	-94	6.83	5451	
ST-2-août-540-560	645	6	-45	4.92	9050	
ST-2-août-560-580	667	9	-78	6.12	18346	
ST-2-août-P1-676	676		154	6.79	130	
ST-2-août-580-600	688	10	-71	6.19	490	
ST-2-août-600-620	709	-5	-59	6.72	48	
ST-2-août-P2-712	712		176	6.61	255	
ST-2-août-620-640	731	-169	-71	6.55	97	
ST-2-août-P3-746	746		163	6.39	866	
ST-2-août-640-660	752	-109	-77	6.71	39	

Résultats d'analyse des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (août): Eh, pH, Fe++, alcalinité.

Echantillon	Profondeur (cm)	Eh-sol (mv)	Eh-eau (mv)	pH	Fe++ (ppm)	Alcalinité (ppm CaCO3)
ST-3-août-0-20	15	242	294	3.38	428	31.0
ST-3-août-20-40	45	264	308	4.01	75	
ST-3-août-40-60	80	-77	31	6.56	118	
ST-3-août-60-80	120	-136	31	7.17	<50	
ST-3-août-80-100	150	-342	31	6.56	63	
ST-3-août-100-120	170	-352	68	6.77	49	
ST-3-août-120-140	190	-265	161	6.99	382	
ST-3-août-P3-192	192		144	8.69	262	
ST-3-août-P4-240	240		180	7.30	<50	
ST-4-août-0-20	13	67				
ST-4-août-20-40	38	82	561	2.30	<50	
ST-4-août-40-60	63	310			<50	
ST-4-août-60-80	84	289			<50	
ST-4-août-80-100	103	272				
ST-4-août-100-120	122	243	293	3.55	2607	16.9
ST-4-août-120-140	141	246	280	3.60	4584	26.2
ST-4-août-140-160	175	217	257	3.81	1751	27.6
ST-4-août-160-180	225	166	219	4.06	2943	
ST-4-août-180-200	275	185	152	4.72	2360	
ST-4-août-P3-268	268				1201	
ST-4A-août-180-200	298	-401	-15	5.02	3020	
ST-4A-août-200-220	323	-171	4	5.64	1458	
ST-4A-août-220-240	348	-47	22	5.63	1577	
ST-4-août-P4-354	354		192	5.39	3222	
ST-4A-août-240-260	373	-110	39	5.63	2024	
ST-4A-août-260-280	398	-88	21	5.73	1592	
ST-4-août-P2-407	407		158	5.61	2475	
ST-4-août-P5-414	414		194	5.60	3497	
ST-4A-août-280-300	423	69	32	5.50	1952	
ST-4-août-P1-423	423		219	5.78	3266	
ST-5-août-0-20	10	296	329	4.10	<50	
ST-5-août-20-40	30	106	398	3.13	<50	
ST-5-août-40-60	50	101	503	2.92	<50	11.8
ST-5-août-60-80	71	265			168	
ST-5-août-80-100	92	247	289	4.20	<50	50.6
ST-5-août-100-120	114	262	287	4.15	83	98.9
ST-5-août-120-140	135	265	310	4.20	20	92.4
ST-5-août-140-160	156	174	316	4.22	<50	198.2
ST-5-août-160-180	178	201				
ST-5-août-180-200	199	192	255	3.93	1145	181.1
ST-5A-août-190-210	233	126	379	4.53		
ST-5A-août-210-230	258	31	316	4.48	1957	182.8
ST-5A-août-230-250	280	138	0	5.38	2445	
ST-5A-août-250-270	300	107	114	4.07	3525	
ST-5-août-P1-303	303				4811	
ST-5A-août-270-290	320	212	185	4.02	3144	
ST-5-août-P2-360	360		277	4.96	5586	
ST-5-août-P3-416	416		218	5.47	4244	
ST-6-août-0-16	17	419	488	2.78	<50	
ST-6-août-16-32	51	347	430	2.86	<50	506.1
ST-6-août-P7-72	72		205	6.52	36	
ST-6-août-32-48	84	171	309	3.09	6445	
ST-6-août-P6-92	92		206	6.52	<50	
ST-6-août-P3-111	111		480		726	
ST-6-août-48-64	118	-49	165	6.45	490	
ST-6-août-P2-131	131		132	6.38	388	
ST-6-août-P1-151	151		208	6.88	27	
ST-6-août-P8-204	204				20	

Résultats d'analyse des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (août): Eh, pH, Fe++, alcalinité.

Echantillon	Profondeur (cm)	Eh-sol (mv)	Eh-eau (mv)	pH	Fe++ (ppm)	Alcalinité (ppm CaCO3)
ST-7-août-0-20	10	315	1	4.00	<50	8.7
ST-7-août-20-40	30	377				
ST-7-août-40-60	50	534	-2	2.00	1247	69.7
ST-7-août-60-80	70	572			1392	
ST-7-août-80-100	90	364				
ST-7-août-100-120	110	333				
ST-7-août-120-140	132	272				
ST-7-août-140-160	155	253			284	
ST-7-août-160-180	178	235	267	3.72	5106	
ST-7-août-180-200	203	253				
ST-7-août-200-220	228	178				
ST-7-août-220-240	253	143	237	4.69	2852	540.2
ST-7-août-240-260	278	2	241	4.05	2271	501.3
ST-7-août-260-280	303	8	159	4.80	8735	500.4
ST-7-août-280-300	328	129	10	4.92	14140	355.7
ST-7-août-300-320	353	-9	255	4.85	16712	
ST-7-août-320-340	378	-28	125	5.04	8456	
ST-7-août-340-360	409	-37	-64	5.79	3241	
ST-7-août-P2-427	427		101	6.66	141	
ST-7-août-360-380	446	-122	-6	5.76	1806	
ST-7-août-380-400	484	-202	-11	6.49	96	
ST-7-août-P3-496	496		104	6.50	47	
ST-7-août-400-420	521	-273	204	7.03	<50	
*: l'alcalinité est calculée						

Résultats d'analyse des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (août): Eh, pH, Fe++, alcalinité.

Echantillon	Prof. (cm)	Eh-sol (mv)	Eh-eau (mV)	pH	Fe++ (ppm)	Alcalinité * (ppm CaCO3)
ST-1-oct-0-20	13	481	456	3.53	<50	20.0
ST-1-oct-20-40	38	498	494	3.14	<50	73.8
ST-1-oct-40-60	63	519	511	2.18	471	181.0
ST-1-oct-60-80	88	257				
ST-1-oct-80-100	113	253				
ST-1-oct-100-120	138	221			7809	
ST-1-oct-120-140	163	233			1744	
ST-1-oct-140-160	188	232	237	3.98	10335	
ST-1-oct-160-180	225	-411	113	4.24	7102	722.6
ST-1-oct-180-200	267	-62	120	5.13		
ST-1-oct-200-220	300	-451	75	5.33	11754	
ST-1-oct-220-240	333	-76	6	6.03	6901	
ST-1-oct-P3	450		107	6.71	292	39.9
ST-2-oct-0-20	8	388	423	3.67	<50	
ST-2-oct-20-40	25	366	193	3.74	352	
ST-2-oct-40-60	42	375	175	3.75	<50	
ST-2-oct-60-80	58	525	290	4.27	77	17.7
ST-2-oct-80-100	75	423				
ST-2-oct-100-120	92	303				
ST-2-oct-120-140	116	312				
ST-2-oct-140-160	150	303				
ST-2-oct-160-180	183	282				
ST-2-oct-180-200	208	210				
ST-2-oct-200-220	225	143	254	3.68	11539	
ST-2-oct-220-240	242	255				
ST-2-oct-240-260	263	227			1663	
ST-2-oct-260-280	287	241	253	3.98	4179	
ST-2-oct-280-300	308	250	168	4.20	5749	605.3
ST-2-oct-300-320	325	28	109	4.94	6991	
ST-2-oct-320-340	342	12	269	3.55	10004	
ST-2-oct-340-360	358	177	242	4.04	3894	494.7
ST-2-oct-360-380	375	233				
ST-2-oct-380-400	392	157	182	4.14	18545	
ST-2-oct-400-420	408	2	259	3.66	12180	669.6
ST-2-oct-420-440	425	192	222	3.95	18977	594.9
ST-2-oct-440-460	442	173	128	4.78	22518	551.8
ST-2-oct-460-480	463	-65		3.86	15904	
ST-2-oct-480-500	487	-58	46	4.98	20589	
ST-2-oct-500-520	566	-166	33	5.15	14872	
ST-2-oct-520-540	600	-187	-27	6.14	1532	
ST-2-oct-540-560	633	-121	-61	6.31	287	
ST-2-oct-P1	676		107	6.91	807	43.2
ST-2-oct-P2	712		93	6.79	203	41.7
ST-2-oct-P3	746		112	6.31	802	34.8
ST-3-oct-0-20	13	76	243	4.62	34	3.0
ST-3-oct-20-40	38	-62	85	6.83	<50	214.4
ST-3-oct-40-60	63	-11	8	6.88	<50	
ST-3-oct-60-80	88	-292	44	7.06	<50	
ST-3-oct-80-100	113	-308	-96	6.89	535	
ST-3-oct-100-120	138	-329	9	6.91	<50	
ST-3-oct-P5	144		106	7.80	<50	
ST-3-oct-120-140	163	-232	36	6.93	<50	
ST-3-oct-140-160	188	-223	-81	6.91	<50	
ST-3-oct-P3	192		71	7.06	<50	42.6
ST-3-oct-160-180	213	-147	26	6.99	<50	
ST-3-oct-180-200	238	-177	8	6.95	<50	
ST-3-oct-P4	240		125	7.45	<50	

Résultats d'analyse des eaux interstitielles des stations du parc East Sullivan (octobre): Eh, pH, Fe++, alcalinité.

Echantillon	Prof. (cm)	Eh-sol (mv)	Eh-eau (mV)	pH	Fe++ (ppm)	Alcalinité * (ppm CaCO ₃)
ST-4-oct-0-20	12	318	438	4.17	<50	
ST-4-oct-20-40	36	334	421	3.60	<50	31.9
ST-4-oct-40-60	56	342	375	4.48	<50	30.8
ST-4-oct-60-80	72	285			<50	
ST-4-oct-80-100	88	272				
ST-4-oct-100-120	105	272				
ST-4-oct-120-140	124	338	318	3.62	684	106.9
ST-4-oct-140-160	140	307	282	3.76	5080	102.2
ST-4-oct-160-180	155	308	282	3.76	2804	99.5
ST-4-oct-180-200	170	-87	252	3.87	5395	
ST-4-oct-200-220	189	289	271	3.80	4729	
ST-4-oct-220-240	209	291	302	4.18	498	
ST-4-oct-240-260	234	232	187	4.35	624	
ST-4-oct-260-280	264	-644	281	4.91	1015	
ST-4-oct-P3	268		159	5.93	914	
ST-4-oct-280-300	298	-443		4.87	1840	
ST-4-oct-300-320	335	-12	110	5.41	1906	
ST-4-oct-P4	354		148	5.72	2677	
ST-4-oct-320-340	372	-105	79	5.44	1391	
ST-4-oct-P2	407		177	5.66	2324	23.0
ST-4-oct-340-360	410	32	68	5.50	1352	
ST-4-oct-P5	414		174	5.54	3348	22.9
ST-5-oct-0-20	12	384				
ST-5-oct-20-40	37	425	441	3.64	<50	
ST-5-oct-40-60	62	214	261	4.51	86	28.7
ST-5-oct-60-80	87	250	312	3.85	100	38.9
ST-5-oct-80-100	112	216	251	4.23	467	128.9
ST-5-oct-100-120	137	263			281	
ST-5-oct-120-140	162	266				
ST-5-oct-140-160	187	235	221	5.02	<50	226.3
ST-5-oct-160-180	225	233	184	4.95	38	232.0
ST-5-oct-180-200	262	236	225	4.20	3418	
ST-5-oct-200-220	287	151	211	4.17	3571	
ST-5-oct-P1	303		185	5.67	4029	
ST-5-oct-220-240	312	254	223	4.03	3315	
ST-5-oct-240-260	337	233	221	4.06	3621	
ST-5-oct-P2	360		186	5.37	3301	17.5
ST-5-oct-260-280	362	204	220	4.17	4707	
ST-5-oct-280-300	387	205	216	4.24	5017	
ST-5-oct-300-320	412	89	213	4.31	6060	
ST-5-oct-P3	416		157	5.71	3616	25.7
ST-5-oct-320-340	437	57	101		4974	
ST-6-oct-0-20	12	520	490	2.88	77	17.5
ST-6-oct-20-40	37	323	490	2.80	287	32.9
ST-6-oct-P7	72		95	6.64	<50	
ST-6-oct-40-60	75	245	239	4.05	7787	
ST-6-oct-P3	111		86	6.38	247	36.0
ST-6-oct-60-80	116	-141	233	4.44	4247	
ST-6-oct-P2	131		52	6.48	328	34.3
ST-6-oct-80-100	150	-254	87	6.57	295	
ST-6-oct-P1	151		65	6.95	390	44.6
ST-6-oct-100-120	183	-241	106	6.79	58	
ST-6-oct-P6	204		76	6.60	25	39.6

Résultats d'analyse des eaux intersitiales des stations du parc East Sullivan (octobre): Eh, pH, Fe++, alcalinité.

Echantillon	Prof. (cm)	Eh-sol (mv)	Eh-eau (mV)	pH	Fe ⁺⁺ (ppm)	Alcalinité * (ppm CaCO ₃)
ST-7-oct-0-20	10	427				
ST-7-oct-20-40	30	433				
ST-7-oct-40-60	50	472				
ST-7-oct-60-80	70	329				
ST-7-oct-80-100	90	278	312	3.72	1251	98.3
ST-7-oct-100-120	110	338	358	3.73	104	
ST-7-oct-120-140	135	325	335	3.83	112	170.9
ST-7-oct-140-160	165	296		3.78	1159	
ST-7-oct-160-180	190	199				
ST-7-oct-180-200	210	178	261	4.27	334	
ST-7-oct-200-220	230	219			1073	
ST-7-oct-220-240	250	212	251	4.58	627	576.1
ST-7-oct-240-260	270	-36	131	5.17	3306	544.0
ST-7-oct-260-280	290	74	180	4.69	3933	535.8
ST-7-oct-280-300	315	53	48	4.81	3169	
ST-7-oct-300-320	345	-132	38	5.46	4498	
ST-7-oct-320-340	377	-144	40	5.52	1952	
ST-7-oct-340-360	410	-170	-44	6.24	449	
ST-7-oct-P2	427		60	6.75	89	41.0
ST-7-oct-360-380	443	-198	-47	6.48	96	42.8
ST-7-oct-P3	496		68	6.82	<50	

*: l'alcalinité est calculée dans la zone vadose, mesurée dans la zone saturée

Résultats d'analyse des eaux intersitiales des stations du parc East Sullivan (octobre): Eh, pH, Fe⁺⁺, alcalinité.

Echantillon	Profondeur (cm)	Eh-sol (mv)	Eh-eau (mv)	pH	Fe++ (ppm)
ST-L1-150-1	4	436	170	2.61	<50
ST-L1-150-2	9	413	479	2.43	372
ST-L1-150-3	17	121	266	3.72	4821
ST-L1-150-4	27	282	327	3.44	5709
ST-L1-150-5	35	40	391	4.38	8072
ST-L1-150-6	41	114	337	4.69	8818
ST-L1-150-7	49	112	326	4.78	9073
ST-L1-150-8	58	221	226	4.30	8532
ST-L1-150-9	65	216	211	4.23	7939
ST-L1-150-10	77	198	235	4.73	7020

Résultats d'analyse des eaux interstitielles de la station LI-11: Eh, pH, Fe++.

Appendice 5. Résultats des analyses de Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe⁺², Fe(Σ), K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, SO₄, W et Zn dans les eaux interstitielles des résidus miniers (Stations 1 à 7 et Li-1).

Echantillon	prof. (cm)	Al (ppm)	As (ppb)	Ca (ppm)	Cd (ppb)	Co (ppb)	Cr (ppb)	Cu (ppb)	Fe(+2) (ppm)	Fe(Σ) (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppm)	SO4 (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
ST-1-août-160-180	180		<1000	354	170	9000	<50	1200	10043	9100	17.1	607	67.2	16.8	5100	2200	<1	21600	9	279
ST-1-août-180-200	202		<1000	335	111	5600	<50	1000	8283	7900	27.3	452	55	12.7	2700	1200	<1	16900	4.9	220
ST-1-août-200-220	224		<1000	329	110	5900	<50	912	8383	7700	29.1	448	57.8	12.4	2900	1200	<1	17400	5	242
ST-1-août-220-240	246		<1000	360	115	4400	<50	1300	9181	8600	44.7	589	73	14.3	2200	1500	<1	19600	7	216
ST-1-août-240-260	267		<1000	356	89	2500	<50	954	8657	8300	58.6	570	68.9	12.4	1500	1300	<1	18400	5.6	135
ST-1-août-260-280	288		<1000	428	46	<10	<50	575	5153	4800	64.6	593	43.7	11.7	520	795	<1	12400	3.6	1
ST-1-août-280-300	310		<1000	467	16	<10	<50	222	1940	2500	64.2	521	13.1	11.2	265	314	<1	6600	1.4	1.4
ST-1-août-P2	399		<20	412	<10	<10	<50	17	279	224	59.4	554	1.8	10.6	110	29	<1	3500	<1	0.355
ST-1-août-P3	450		<20	476	<10	<10	<50	12	336	286	44.7	350	2.3	9.6	60	49	<1	3000	<1	0.243
ST-2-août-20-40	34		<1000	72.1	<10	65	<50	1000	<50	2.5	0.602	17.5	1.5	8.1	33	157	<1	425	<1	0.987
ST-2-août-240-260	300		6100	306	405	16200	<50	1700	14000	7.9	756	46.4	11	6300	5400	<1	42200	9	838	
ST-2-août-280-300	369		9200	389	7000	26800	<50	40400	5937	4600	23.4	884	80.3	26.9	12400	5000	<1	36400	3.5	1300
ST-2-août-300-320	385		<1000	233	524	17500	<50	3000	17594	31000	33.6	1100	160	15.3	9300	4500	<1	73500	19	4100
ST-2-août-320-340	405		<1000	265	287	15700	<50	2300	31886	29700	38.3	1100	148	16.9	8500	3400	<1	66000	20	3300
ST-2-août-340-360	426		<1000	341	382	22800	<50	3000	26101	21300	366	1400	197	19.7	13000	4200	<1	48800	14	2800
ST-2-août-360-380	449		<1000	399	277	19700	<50	2100	28489	25900	47.5	1200	212	19.7	12000	4800	<1	63100	16	3900
ST-2-août-380-400	471		<1000	264	264	15300	<50	2300	32117	25700	59.4	1200	143	21	13500	3800	<1	70600	19	4500
ST-2-août-420-440	516		<1000	274	242	11700	<50	2400	32611	25200	78.7	1100	146	33.3	5000	3400	<1	66000	18	2900
ST-2-août-440-460	537		<1000	312	330	12500	<50	2000	27788	23100	59.4	1100	146	23.5	8500	5300	<1	52700	17	2800
ST-2-août-460-480	559		<1000	305	236	14400	<50	1900	24116	21000	60.3	1000	149	22.7	8400	3400	<1	49100	15	2900
ST-2-août-480-500	581		<1000	344	142	7700	<50	1300	15935	12900	42.9	874	108	19.3	6100	2500	<1	30100	10	533
ST-2-août-500-520	602		<1000	378	99	4400	<50	1100	14587	11000	39.5	861	77.9	19.1	1600	1800	<1	25600	10	241
ST-2-août-520-540	624		<1000	461	42	1900	<50	473	5451	3900	31.5	621	45.2	23.4	1300	768	<1	10800	3	137
ST-2-août-540-560	645		<1000	404	70	3100	<50	820	9050	7100	59.2	712	62.7	29.1	1900	1200	<1	18000	6	366
ST-2-août-560-580	667		<1000	588	<10	<10	<50	129	18346	1100	32.1	622	9.1	23.2	207	228	<1	5700	<1	4.4
ST-2-août-P1	676		<20	373	<10	<10	<50	<10	130	101	12.2	423	0.998	16.1	311	22	<1	2700	<1	0.685
ST-2-août-580-600	688		<1000	633	<10	<10	<50	36	490	414	25.3	562	5.4	19.5	158	94	<1	4300	<1	1.1
ST-2-août-600-620	709		<1000	483	<10	21	<50	280	48	108	18.9	487	1.1	18.8	94	83	<1	2800	<1	1.2
ST-2-août-P2	712		20	369	<10	<10	<50	20	255	220	13	358	1.6	15.5	68	16	<1	2700	<1	0.394
ST-2-août-620-640	731		<1000	458	<10	<10	<50	<10	97	91.4	15.5	457	0.985	16.8	176	<15	<1	2600	<1	3.2
ST-2-août-P3	746		<20	341	<10	<10	<50	79	866	699	15.2	313	4.6	13.8	128	97	<1	3500	<1	0.348
ST-2-août-640-660	752		<1000	480	<10	<10	<50	<10	39	37.4	14.8	464	0.844	16.8	58	31	<1	2700	<1	0.916

Résultats d'analyses des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (août): cations et SO4.

Echantillon	prof. (cm)	Al (ppm)	As (ppb)	Ca (ppm)	Cd (ppb)	Co (ppb)	Cr (ppb)	Cu (ppb)	Fe(+2) (ppm)	Fe(Σ) (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppm)	SO4 (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
ST-3-a00t-0-20	15	4700	383	3400	15600	244	201000	428	332	8.6	2300	168	274	5600	1600	<1	29000	<1	2200	
ST-3-a00t-20-40	45	<1000	468	190	253	57	935	75	74.2	33.1	144	12.2	65.9	194	322	<1	2100	<1	22.7	
ST-3-a00t-40-60	80	<1000	528	10	134	129	10	118	109	36.2	122	14.1	74.6	96	27	<1	2000	<1	16.8	
ST-3-a00t-60-80	120	<1000	200	<10	<10	<50	<10	<50	3.3	48.4	22.2	0.879	89.6	<10	<15	<1	615	<1	1.1	
ST-3-a00t-80-100	150	<1000	544	<10	23	<50	84	63	81.1	39	95.7	9.6	76.6	40	27	<1	1800	<1	4.5	
ST-3-a00t-100-120	170	<1000	212	13	<10	<10	51	49	14.9	68.2	24.5	0.864	81.2	<10	<15	<1	900	<1	1.7	
ST-3-a00t-120-140	190	<1000	103	<10	<10	<50	<10	382	0.279	59.9	9.5	0.61	94.5	<10	<15	<1	540	<1	0.485	
ST-4-a00t-20-40	38	<1000	503	292	13200	1100	261000	<50	3200	121	365	16.5	5.5	2900	1700	<1	13500	<1	23.1	
ST-4-a00t-60-80	84	4900	332	243	14700	<50	353000	<50	4300	9.1	408	18.6	25.1	4000	3100	<1	10000	1	59.1	
ST-4-a00t-100-120	122	1100	396	930	8900	<50	81500	2607	2200	12.1	316	13.4	11.8	4300	1100	<1	17200	2.3	75.2	
ST-4-a00t-120-140	141	3200	388	3900	14700	<50	17400	4584	4300	20.3	418	17.5	12	5600	4500	<1	5300	1.1	38.6	
ST-4-a00t-140-160	175	<1000	410	755	3400	<50	470	1751	1600	12.4	117	6.3	8.8	3700	1200	<1	7200	1.6	96.7	
ST-4-a00t-160-180	225	<1000	397	114	5900	<50	382	2943	2700	14	176	15.6	10.5	3400	1900	<1	5600	1.5	89.6	
ST-4-a00t-180-200	275	<1000	416	80	4000	<50	763	2360	2400	16.2	119	20.6	8	2100	717	<1	5600	1.5	89.6	
ST-4-a00t-P3	268	30	154	<10	907	<50	<10	1201	809	11	50.7	6.2	9.5	1300	<15	<1	6900	1.6	22.5	
ST-4A-a00t-180-200	298	<1000	402	34	1800	<50	318	3020	111	23.2	159	21	10.4	957	583	<1	3800	1.2	45.9	
ST-4A-a00t-200-220	323	<1000	426	19	1100	<50	143	1458	1200	12.5	72.7	11.5	7.2	356	247	<1	4200	1.4	27.4	
ST-4A-a00t-220-240	348	<1000	432	21	1400	<50	143	1577	1400	10.1	71.4	13.6	8.6	441	268	<1	7500	<1	69	
ST-4-a00t-P4	354	<20	308	46	4000	<50	358	3222	3500	16.9	191	21.9	8.8	2300	503	<1	4800	1.8	55.8	
ST-4A-a00t-240-260	373	<1000	396	23	1800	<50	207	2024	1800	14.7	97.3	18.1	8.4	1000	333	<1	4000	1	43.2	
ST-4A-a00t-260-280	398	<1000	409	21	1600	<50	183	1592	1300	16.6	88.5	13.5	8	671	330	<1	5500	<1	43.9	
ST-4-a00t-P2	407	<20	332	27	2500	<50	262	2475	2400	15.9	131	17.7	10.2	1400	347	<1	7500	<1	70.6	
ST-4-a00t-P5	414	<20	264	43	3900	<50	360	3497	3300	16.8	192	21.8	9.2	2600	495	<1	4800	1.3	56.7	
ST-4A-a00t-280-300	423	<1000	403	24	2100	<50	190	1952	1900	16.8	115	15.8	7.8	908	331	<1	7600	<1	45.8	
ST-4-a00t-P1	423	<20	296	34	2800	<50	338	3266	3200	19.6	188	21.9	9.2	2000	476	<1	7600	<1	45.8	

Résultats d'analyses des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (a00t): cations et SO4.

Echantillon	prof. (cm)	Al (ppm)	As (ppb)	Ca (ppm)	Cd (ppb)	Co (ppb)	Cr (ppb)	Cu (ppb)	Fe(+2) (ppm)	Fe(Σ) (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppm)	SO4 (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
ST-5-a00t-0-20	10	<1000	262	<10	119	67	1000	<50	5.8	1.9	25.5	1.6	5.5	38	105	<1	755	<1	1	
ST-5-a00t-40-60	50	<1000	495	11	622	<50	6700	<50	9.4	1.2	67.6	3.9	5.8	142	135	<1	195	<1	1.6	
ST-5-a00t-80-100	92	<1000	497	42	678	112	297000	<50	4.7	4.2	54.2	3.4	6.6	762	48	<1	195	<1	4.3	
ST-5-a00t-100-120	114	<1000	461	713	1000	1400	5400	3700	20	27.2	15	87.6	7.5	5.7	8500	2900	<1	215	<1	85.2
ST-5-a00t-120-140	135	<1000	442	1900	8900	119	3700	20	80.4	4.6	41.9	3.3	4.9	1200	2900	<1	205	<1	122	
ST-5-a00t-140-160	156	<1000	456	4600	9700	139	2800	<50	7.2	34.4	106	15.2	17.7	14100	1300	<1	5900	1.3	570	
ST-5-a00t-180-200	199	<1000	376	171	8100	<50	1200	1145	938	21.9	320	59.1	10.4	17700	1200	<1	5900	1.3	570	
ST-5A-a00t-190-210	233	<1000	346	103	12200	<50	173	1100	22.8	244	62	13.2	21800	1000	<1	<1	<1	<1	559	
ST-5A-a00t-210-230	258	<1000	407	38	4500	<50	225	1957	1900	23.5	177	39	9.1	5100	546	<1	5700	1.2	196	
ST-5A-a00t-230-250	280	<1000	397	21	621	<50	242	2445	2400	53.1	203	29	19.3	849	437	<1	6100	1.9	49.4	
ST-5A-a00t-250-270	300	<1000	389	50	4500	<50	375	3525	3500	12.2	245	21	8.6	2000	911	<1	9300	2.4	119	
ST-5-a00t-P1	303	<20	260	106	3300	<50	1000	4811	4400	13.3	218	24.5	6.6	2800	797	<1	9700	<1	102	
ST-5A-a00t-270-290	320	<1000	381	48	4100	<50	373	3144	3000	9	185	14	8.2	1400	897	<1	8300	1.8	69.7	
ST-5-a00t-P2	360	<20	275	96	5600	<50	668	5586	5400	12.3	333	36.3	9	3400	954	<1	12100	<1	154	
ST-5-a00t-P3	416	60	269	61	3600	<50	459	4244	4000	14	284	29	10.8	2200	642	<1	9100	<1	112	
ST-6-a00t-16-32	51	1300	412	363	3200	<50	37200	<50	74.6	1.5	353	29.3	10.3	3000	443	<1	5.1	<1	61.2	
ST-6-a00t-32-48	84	3300	362	738	11700	<50	6000	6445	6200	4.3	519	31.2	11.6	7900	1300	<1	18600	4.8	86.2	
ST-6-a00t-48-64	118	<1000	615	13	85	<50	<10	490	430	51.1	182	14.4	15.3	120	91	<1	2900	<1	1.9	
ST-6-a00t-P6	204	30	212	<10	10	86	16	20	15.6	35.2	42.9	0.405	49.8	318	<15	<1	300	<1	0.98	
ST-7-a00t-0-20	10	<1000	114	<10	<10	<10	790	<50	3.5	1	5.4	0.389	7.1	<10	250	<1	319	<1	0.972	
ST-7-a00t-40-60	50	5500	379	581	17200	<50	233000	1247	11600	0.62	705	32.6	2.1	3300	2800	<1	42500	9	74.8	
ST-7-a00t-60-80	70	238	223	27900	<50	169000	1392	17900	<0.50	896	43.2	6.8	5400	4300	<1	<1	<1	<1	60.3	
ST-7-a00t-140-160	155	3600	407	5400	20600	1200	2100000	284	265	13.8	488	25.3	18.8	10300	8200	<1	19100	<1	213	
ST-7-a00t-160-180	178	1500	368	194	11400	<50	1700	5106	4700	13.4	404	32.2	8.8	5900	2400	<1	17.9	4.4	218	
ST-7-a00t-220-240	253	<1000	381	93	7200	<50	408	2852	2600	33.8	226	64.5	10.6	12000	611	<1	7200	2	177	
ST-7-a00t-240-260	278	<1000	409	61	3700	<50	432	2271	2100	26.2	156	27.9	9.4	7400	823	<1	5700	1.6	87.2	
ST-7-a00t-260-280	303	<1000	384	125	6000	<50	988	8795	8200	55	531	75.4	24.8	7800	1500	<1	17900	6	176	
ST-7-a00t-280-300	328	<1000	288	174	11500	<50	1200	14140	13700	25.3	598	75.2	12.2	5200	1900	<1	26900	9	186	
ST-7-a00t-300-320	353	<1000	213	170	9400	<50	988	16712	14700	15.1	439	53.5	11	4600	1400	<1	28700	10	144	
ST-7-a00t-320-340	378	<1000	353	98	5200	<50	821	8456	8300	32.8	522	47.4	10.9	1500	1200	<1	16800	5.7	60	
ST-7-a00t-340-360	409	<1000	511	23	231	<50	359	3241	3200	67.8	639	24.5	18.3	468	542	<1	9100	2.4	3.7	
ST-7-a00t-P2	427	<20	316	<10	65	<50	<10	141	123	74.1	487	1.8	35.4	209	18	<1	2900	<1	1.3	
ST-7-a00t-360-380	446	<1000	450	19	29	<50	218	1806	1700	64.7	630	11.6	18.3	297	320	<1	1.2	1.3	1.3	
ST-7-a00t-380-400	484	<1000	446	<10	<10	307	143	96	90.8	99.8	638	2.1	46	217	<15	<1	4200	<1	1.5	
ST-7-a00t-P3	496	<20	301	<10	<10	<10	<10	47	48.7	55	130	1.3	99.2	16	<15	<1	1100	<1	0.254	
ST-7-a00t-400-420	521	<1000	18.9	<10	<10	<10	460	130	<50	9.4	21.6	8	0.222	79.3	148	<1	105	<1	1.7	

Résultats d'analyses des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (a00t): cations et SO4.

Echantillon	prof. (cm)	Al (ppm)	As (ppb)	Ca (ppm)	Cd (ppb)	Co (ppb)	Cr (ppb)	Cu (ppb)	Fe(+2) (ppm)	Fe(Σ) (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppm)	SO4 (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
ST-1-oct-0-20	13	31	159	215	14	208	<50	7000	<50	3.1	6.4	35.1	2.1	8.5	69	137	<1	907	<1	1.5
ST-1-oct-20-40	36	88	23	331	32	723	<50	19400	<50	14	1.9	97.2	5.6	12.6	412	165	<1	1900	<1	4
ST-1-oct-40-60	63	3200	18000	366	1300	24100	<50	3960000	471	12900	5.3	1300	54.2	2.6	7300	3500	<1	60800	11.4	184
ST-1-oct-140-160	188	1200	78	313	347	9000	<50	1200	10335	6800	26.4	558	43.9	11.5	5900	4400	<1		5.5	254
ST-1-oct-160-180	225	600	<20	412	1600	10200	<50	851	7102	7200	134	754	60.8	33.3	5500	1900	<1	21000	6.2	155
ST-1-oct-180-200	267	52	26	365	65	5600	<50	754	0.21	54.6	418	53.5	18.2	3600	1000	<1	14700	5.7	196	
ST-1-oct-200-220	300	45	44	321	111	9200	<50	1100	11754	6100	46.9	691	91	13.3	5400	1800	<1	26300	9.6	333
ST-1-oct-220-240	333	12	<20	349	41	184	<50	625	6901	11500	54.8	574	50.8	11.7	803	1000	<1	15400	4.4	9.5
ST-1-oct-P3	450	<7	<20	489	<10	<10	<50	24	292	267	43.1	329	2.2	9.4	75	42	<1	3000	<1	0.249
ST-2-oct-0-20	8	10	<20	47.2	<10	190	<50	1600	<50	10	25.3	9.3	1.3	6.5	191	165	<1	260	<1	16.4
ST-2-oct-20-40	25	11	<20	102	<10	90	<50	1800	352	0.946	4.5	18.3	2	14.2	20	52	<1	445	<1	2.2
ST-2-oct-40-60	42	13	<20	94.1	<10	58	<50	945	<50	0.501	2	15.7	1.3	8.7	33	69	<1	394	<1	0.581
ST-2-oct-60-80	58	38	<20	405	58	1100	<50	586	77	73.4	18.4	62.8	13.3	21.5	1000	146	<1	1900	<1	31.2
ST-2-oct-200-220	225	2000	<20	405	13100	24600	250	2900	11539	15900	19.2	677	40.9	13.2	5900	12300	<1		8.3	328
ST-2-oct-260-280	287	590	<20	336	113	6800	<50	1400	4179	3800	28.2	242	16.3	10.7	3500	2900	<1		3	376
ST-2-oct-280-300	308	320	<20	364	235	5600	<50	615	5749	5700	104	386	32.3	74.6	3800	1200	<1	15100	4.4	317
ST-2-oct-300-320	325	59	<20	328	65	6700	<50	762	6991	6100	39.4	354	60.7	10.9	3600	1000	<1		4.4	463
ST-2-oct-320-340	342	210	<20	418	485	14500	<50	2600	10004	8200	48.5	507	99	12.9	8500	2500	<1		5.5	1000
ST-2-oct-340-360	358	440	<20	408	1700	11200	<50	2500	3894	3900	96.5	477	101	33.4	7200	1800	<1	14800	3.4	614
ST-2-oct-380-400	392	130	70	300	184	18900	<50	1500	18545	17500	38.3	736	108	13.8	8900	3000	<1		12.4	1500
ST-2-oct-400-420	408	330	<20	350	545	25400	<50	2800	12180	11400	125	936	313	32.2	13700	4200	<1	30600	9	1700
ST-2-oct-420-440	425	200	<20	306	226	15100	<50	1700	18977	19500	91.2	786	104	18.3	6700	3600	<1	42000	14.2	588
ST-2-oct-440-460	442	94	<20	292	184	12600	<50	1700	22518	20600	36.8	790	98.3	15.4	5300	2600	<1	43200	15.4	546
ST-2-oct-460-480	463	330	<20	336	366	15500	<50	1900	15904	14800	114	934	177	38	7800	2700	<1	39400	11.4	650
ST-2-oct-480-500	487	50	<20	411	157	9600	<50	1600	20569	21000	52.3	903	123	18.4	3800	2600	<1	44700	14.3	552
ST-2-oct-500-520	566	28	<20	360	99	4500	<50	1000	14872	13200	81.6	749	91.1	33.5	2700	1700	<1	28800	8.7	379
ST-2-oct-520-540	600	<7	<20	550	13	<10	<50	65	1532	1400	32	615	9.3	20.8	167	234	<1	7100	<1	1.4
ST-2-oct-540-560	633	<7	<20	503	<10	<10	<50	<10	287	278	21.9	513	2.2	19.7	40	38	<1	3900	<1	0.976
ST-2-oct-P1	676	<7	<20	358	13	330	<50	117	807	744	12.1	401	5.7	15.5	227	139	<1	3900	<1	25.1
ST-2-oct-P2	712	<7	<20	307	<10	<10	<50	22	203	186	10.2	285	1.4	13.3	97	29	<1	2100	<1	0.493
ST-2-oct-P3	746	<7	<20	348	<10	<10	<50	71	802	725	15	301	4.9	13.7	108	130	<1	3400	<1	0.31

Résultats d'analyse des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (octobre): cations et SO4.

Echantillon	prof. (cm)	Al (ppm)	As (ppb)	Ca (ppm)	Cd (ppb)	Co (ppb)	Cu (ppb)	Fe(+2) (ppm)	Fe(Σ) (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppm)	SO4 (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	
ST-3-oct-0-20	13	44	<20	459	179	614	143	34	35.6	42.3	101	9.3	106	308	727	<1	2200	<1	42	
ST-3-oct-20-40	38	<7	<20	447	<10	<10	86	<50	10.6	46.2	45.4	3	88.5	<10	22	<1	1500	<1	0.403	
ST-3-oct-40-60	63	<7	<20	260	<10	<10	129	<50	15.5	64.4	32.2	1.2	77.8	<10	16	<1	922	<1	1.5	
ST-3-oct-60-80	88	<7	<20	243	<10	<10	100	<50	3.6	60.9	30.1	0.365	72.2	<10	<15	<1	899	<1	1	
ST-3-oct-80-100	113	<7	<20	294	<10	<10	72	535	0.37	123	33.4	0.111	65.6	<10	<15	<1	1100	<1	0.291	
ST-3-oct-100-120	138	<7	<20	303	<10	<10	143	<50	0.474	70.6	34.9	0.092	66.5	<10	<15	<1	1100	<1	0.135	
ST-3-oct-P5	145	<7	<20	107	<10	<10	93	<50	4.2	36.6	13.9	0.345	54.3	192	16	<1	445	<1	0.618	
ST-3-oct-120-140	163	<7	<20	406	<10	<10	143	<50	2.6	87.3	61.9	0.151	55.5	<10	<15	<1	1500	<1	0.209	
ST-3-oct-140-160	188	<7	<20	431	<10	<10	<50	<50	1	79.1	79	0.191	54.7	<10	<15	<1	1600	<1	0.282	
ST-3-oct-P3	192	<7	<20	346	<10	<10	104	<50	15.2	50.1	112	3.4	31.9	76	16	<1	1400	<1	0.282	
ST-3-oct-160-180	213	<7	<20	521	<10	<10	<50	<50	4.2	128	80.6	1.1	71.5	<10	<15	<1	1800	<1	0.07	
ST-3-oct-180-200	238	11	<20	151	<10	<10	134	<50	24.1	62.6	46.8	0.433	93.5	<10	56	<1	765	<1	1.4	
ST-3-oct-P4	240	<7	<20	24.5	<10	<10	<50	22	3.5	23.2	10.2	0.091	83.2	56	<15	<1	190	<1	0.329	
ST-4-oct-0-20	12	<7	<20	147	<10	27	<50	1100	0.406	2.8	11.5	0.738	3.3	21	109	<1	437	<1	0.816	
ST-4-oct-20-40	36	18	<20	555	12	74	<50	3700	8.4	1.1	24.6	1.5	5.5	23	170	<1	1700	<1	0.888	
ST-4-oct-40-60	56	<7	<20	218	11	92	179	1300	<50	1.1	20.4	1.4	12.1	133	68	<1	690	<1	0.925	
ST-4-oct-60-80	72		<20	414	<10	940	893	33000	19.8	148	64.5	3.4	12.9	270	408	<1		<1	2.9	
ST-4-oct-120-140	124	2000	<20	416	2900	19600	506	231000	684	509	455	21.2	15.9	12400	4500	<1	16900	<1	203	
ST-4-oct-140-160	140	2200	<20	399	28800	28000	<50	3200	5080	5400	600	29.7	18.2	16200	5800	<1	27700	4.3	194	
ST-4-oct-160-180	155	1200	35	401	61700	19100	372	2100	2804	3200	15.9	435	24.3	13.1	12400	7200	<1	22000	2.7	140
ST-4-oct-180-200	170	740	<20	367	128	11800	<50	614	5395	5600	15	330	15.6	11.2	5300	2600	<1	18400	4.9	75.7
ST-4-oct-200-220	189	750	<20	394	1300	13200	<50	2800	4729	5100	44.8	400	25.7	18.5	6300	4100	<1	18500	4	94.2
ST-4-oct-220-240	209	83	<20	464	342	4900	<50	458	498	476	73.1	6	7	3200	3800	<1	3400	<1	135	
ST-4-oct-240-260	234	27	<20	496	110	1800	<50	1000	624	613	44.8	90.3	11.4	33.2	1200	1200	<1	3300	1.8	37.6
ST-4-oct-260-280	264	<7	<20	464	21	1700	<50	16	1015	989	22.7	62.2	11.8	9.8	859	275	<1	3400	1.7	28.7
ST-4-oct-P3	268	<7	<20	175	11	1000	<50	95	914	829	8.3	50.6	6.5	6.6	489	126	<1	2200	1.4	17.9
ST-4-oct-280-300	298		<20	313	<10	1200	893	<10	1840	1100	60.3	89.8	14.3	18.3	701	641	<1		1.3	25.5
ST-4-oct-300-320	335	12	<20	416	24	2300	<50	368	1906	2000	15.5	106	19.9	10.5	1000	380	<1	5000	2.3	46.6
ST-4-oct-P4	354	12	<20	281	24	3300	<50	272	2677	2700	14.9	152	18.6	8.5	2000	356	<1	6100	2.4	56.8
ST-4-oct-320-340	372	<7	<20	444	21	1500	<50	197	1391	1300	17.9	89.6	16.4	10.1	839	253	<1	4100	1.7	30
ST-4-oct-P2	407	9	<20	316	28	2900	<50	302	2324	3400	21.3	191	23.4	9.8	2000	462	<1	7500	2.3	46.3
ST-4-oct-340-360	410	<7	<20	446	24	1500	<50	101	1352	1300	17.8	85.1	15.7	9.9	831	278	<1	4000	1.9	27.1
ST-4-oct-P5	414	16	<20	285	32	3800	<50	302	3348	3300	17.7	190	22.6	9.5	2600	447	<1	7200	2.2	69.1

Résultats d'analyse des eaux intersiteilles des sept stations du parc East Sullivan (octobre): cations et SO4.

Echantillon	prof. (cm)	Al (ppm)	As (ppb)	Ca (ppm)	Cd (ppb)	Co (ppb)	Cr (ppb)	Cu (ppb)	Fe(+2) (ppm)	Fe(2) (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppm)	SO4 (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
ST-5-oct-20-40	37	33	20	472	21	307	<50	3000	8.1	8.4	10.2	50.7	3.5	6.7	266	179	<1	1700	<1	1.4
ST-5-oct-40-60	62	<7	<20	557	137	1200	91	966	86	91.4	27.6	148	19.4	16.8	1300	132	<1	2400	<1	15.2
ST-5-oct-60-80	87	168	<20	416	265	2200	91	392000	100	100	20.8	124	7.7	9.1	1000	602	<1	3800	1.3	42
ST-5-oct-80-100	112	70	<20	469	400	1800	<50	118	467	470	10.9	97.1	7.4	8.5	2400	1000	<1	3100	1.4	17.3
ST-5-oct-140-160	187	<7	<20	486	46	9200	<50	<10	<50	13.5	63.4	113	22.9	8.4	27100	392	<1	2600	<1	293
ST-5-oct-160-180	225	<7	<20	476	66	2600	153	<10	38	43.3	153	182	35	35.5	4800	190	<1	2600	1	80.9
ST-5-oct-180-200	262	210	26	344	70	6200	<50	304	3418	3400	13.1	257	28.4	8.4	3500	1700	<1	9900	3.5	175
ST-5-oct-200-220	287	310	<20	356	61	6300	<50	369	3571	3800	11	289	27.8	8.4	3200	1300	<1	10900	3.5	138
ST-5-oct-P1	303	20	<20	242	35	2900	<50	454	4029	3900	10	190	21.9	6.8	1600	538	<1	8300	3.2	89.3
ST-5-oct-220-240	312	470	54	378	1100	6100	<50	483	3315	3600	11.1	265	16.4	9.8	2500	4000	<1	11000	4	83.6
ST-5-oct-240-260	337	370	<20	255	64	4500	<50	293	3621	3900	46.1	196	12.7	6.4	2000	2200	<1	12300	3.3	56.8
ST-5-oct-P2	360	22	<20	241	34	2800	<50	326	3301	3200	11.2	231	24.2	10.1	1500	475	<1	7100	3	90.5
ST-5-oct-260-280	362	170	28	328	415	5100	<50	407	4707	4400	22.7	223	18.9	9.2	1900	1400	<1	12600	3.8	82.6
ST-5-oct-280-300	387	250	31	347	141	5600	<50	521	5017	5300	18.7	280	23.4	11	2000	1200	<1	15200	4.2	126
ST-5-oct-300-320	412	230	45	356	84	6400	<50	662	6060	3800	17.2	333	32	10	2700	1500	<1	9400	3.1	97.8
ST-5-oct-P3	416	16	40	286	31	2800	<50	345	3616	3700	16.7	263	27.1	11.3	1600	525	<1	11500	3.2	141
ST-5-oct-320-340	437	20	91	359	56	4400	<50	550	4974	5200	29.2	321	35.8	12.3	2400	901	<1	11500	3	90.5
ST-6-oct-0-20	12	2000	<20	369	1500	15400	1400	181000	77	496	0.798	1000	81	8.5	11300	1800	<1	21600	<1	264
ST-6-oct-20-40	37	2500	94	394	1900	22300	1800	293000	287	2500	1.4	1300	94.2	9.7	15000	2400	<1	31200	1.3	302
ST-6-oct-40-60	75	2100	30	355	7800	22600	391	18800	7787	7900	6.9	1200	98.9	11.4	19300	3900	<1	36800	6.2	333
ST-6-oct-P3	111	<7	<20	302	<10	<10	<50	22	247	227	28.1	156	5.4	9.9	70	29	<1	1700	<1	0.498
ST-6-oct-60-80	116	450	21	480	804	9700	<50	4500	4247	5100	86.3	739	70.5	14	9100	1100	<1	14900	3.4	151
ST-6-oct-P2	131	<7	<20	265	<10	<10	<50	33	328	299	22.5	116	3.3	10.1	66	52	<1	1600	<1	0.466
ST-6-oct-80-100	150	12	<20	655	<10	<10	<50	56	295	258	34.2	159	4	9.7	58	53	<1	1600	<1	0.589
ST-6-oct-P1	151	<7	<20	294	<10	481	116	43	390	351	36.8	94.3	4.1	19.2	423	60	<1	1700	<1	9.2
ST-6-oct-100-120	183	<7	<20	481	25	32	<50	39	58	40.2	39.2	80.6	3.5	12.9	80	23	<1	1500	<1	0.449
ST-6-oct-P6	204	<7	<20	143	<10	<10	151	11	25	29.8	18.5	37	0.745	25.4	83	23	<1	284	<1	0.38
ST-6-oct-P7	227	<7	<20	94.7	<10	<10	151	<10	<50	8	11.6	16.5	0.253	25.6	63	<15	<1	57	<1	0.345
ST-7-oct-80-100	90	710	21	384	366	8700	<50	2600000	1251	1000	32.4	345	16.2	11	3500	606	<1	12900	1.4	62.2
ST-7-oct-100-120	110	1200	25	389	360	11600	217	2000000	104	93.4	27.6	341	16.3	12.5	4900	2300	<1	8100	<1	74.3
ST-7-oct-120-140	135	820	25	437	21100	19100	<50	281000	112	103	68.9	418	33.1	30.1	11100	751	<1	11600	2.5	164
ST-7-oct-140-160	165	1300	29	412	478	12100	<50	4600	1159	1000	47.7	384	26.5	14.3	8600	2900	<1	11600	2.5	215
ST-7-oct-180-200	210	100	<20	412	869	22200	<50	632	301	28.7	252	252	118	11.7	30800	366	<1	5100	<1	1100
ST-7-oct-220-240	250	42	<20	457	168	5200	<50	870	334	597	86.1	179	37.8	29.8	8100	219	<1	3800	<1	113
ST-7-oct-240-260	270	31	29	391	50	5900	<50	369	3306	3400	18.2	208	37.6	10	8300	595	<1	7800	2.3	96.6
ST-7-oct-260-280	290	58	33	378	59	6300	<50	456	3933	4000	29.8	249	40.7	9.6	7900	754	<1	9200	3.8	114
ST-7-oct-280-300	315	25	<20	374	66	2700	<50	341	3169	3100	72.9	256	34.1	25.5	4000	555	<1	8100	2.6	52.1
ST-7-oct-300-320	345	12	<20	368	46	3400	<50	453	4498	4600	23.7	238	26.9	12	2700	746	<1	9800	3.3	19.8
ST-7-oct-320-340	377	20	<20	529	16	1400	<50	201	1952	1900	59.8	349	23.2	17.2	2700	315	<1	6700	1.3	16.3
ST-7-oct-340-360	410	<7	<20	612	<10	<10	<50	42	449	413	80.1	666	4.3	20.1	61	82	<1	5300	<1	0.514
ST-7-oct-P2	427	<7	<20	320	<10	<10	58	<10	89	85.7	69.5	478	1.4	34.9	187	22	<1	2800	<1	0.454
ST-7-oct-360-380	443	<7	<20	491	<10	<10	<50	<10	96	93	109	722	2.3	44.5	43	<15	<1	4500	<1	0.156
ST-7-oct-P3	496	<7	<20	301	<10	39	69	<10	<50	67.4	54.3	144	1.3	83	260	<15	<1	1300	<1	1.7

Résultats d'analyse des eaux interstitielles des sept stations du parc East Sullivan (octobre): cations et SO4.

Echantillon	prof. (cm)	Al (ppm)	As (ppb)	Ca (ppm)	Cd (ppb)	Co (ppb)	Cr (ppb)	Cu (ppb)	Fe(+2) (ppm)	Fe(Σ) (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Sb (ppm)	SO4 (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
LI-150-1	4	2200	<20	351	555	15400	811	21900	<50	681	3.7	3000	197	12.3	5000	1400	<1	29200	<1	300
LI-150-2	17	2600	150	323	766	18900	652	23000	372	2000	0.116	3800	235	12.7	6200	1800	<1	37200	<1	356
LI-150-3	27	n.d.	260	315	641	12800	<50	7100	4821	4400	5.2	2600	170	21.7	4700	2000	<1	28500	<1	282
LI-150-4	35	n.d.	<20	337	776	13300	<50	142000	5709	4900	11.3	2100	171	38.7	4800	4200	<1	24600	<1	281
LI-150-5	41	n.d.	20	313	440	10200	<50	969	8072	7800	15.7	2100	167	47.3	3900	2000	<1	24700	<1	262
LI-150-6	49	n.d.	50	308	103	9500	<50	876	8818	8200	19.7	2100	170	54	3700	1300	<1	24900	<1	258
LI-150-7	58	n.d.	20	300	95	9700	<50	854	9073	8200	20.5	2100	169	57.6	3800	1200	<1	25700	<1	253
LI-150-8	65	n.d.	90	310	98	10300	<50	819	8532	7400	35.8	2000	157	59.9	4200	1600	<1	25900	<1	260
LI-150-9	77	n.d.	<1000	314	96	10100	<50	777	7899	6700	29.6	1900	148	69.8	3900	1400	<1	27200	<1	249
LI-150-10	9	n.d.	80	312	80	7700	<50	691	7020	6100	32.1	1700	135	75.1	2800	970	<1	20700	<1	205

Résultats d'analyse des eaux interstitielles d'une station à 150 m sur la ligne 1: cations et SO4.