Contents

Author Index

SUMMARY

The town of Rouyn-Noranda, Quebec, is in the largest granite-greenstone belt in the world (the Abitibi Greenstone Belt). This belt is rich in mineral deposits, particularly base and precious metals. The Horne smelter, opened in 1927 and around which the town of Rouyn-Noranda grew, owes its location to a major orebody discovered in 1925 and developed by the fledgling company Noranda Mines. The metals emitted from the smelter since 1927 have been deposited mostly on areas underlain by a thick cover of unconsolidated Quaternary sediments deposited on top of the bedrock during and since the last glaciation. An understanding of the geology and glacial history of the area is essential for interpreting the surficial geochemical data, particularly data from soils and lake sediments.

Because the thick glacial overburden masks much of the bedrock surface, lithological bedrock differences are not necessarily reflected in the geochemical patterns present in soil and lake-sediment data. Locally, till is enriched in metals present in the underlying mineralized greenstone rocks. Consequently, it is important to recognize that some metal enrichment observed in the vicinity of the smelter may be 'natural' and not the result of metal loading from smelter emissions.

Of particular importance is the presence of calcareous soil in the northwestern part of the study area. Apart from a calcareous Paleozoic outlier at Lake Timiskaming (southwest of Rouyn-Noranda), the principal source of calcareous material is hundreds of kilometres northwest of Rouyn-Noranda in Paleozoic carbonate rocks of the Hudson Bay Platform. Long-range glacial transport of calcareous materials occurred from northwest to southeast, affecting the region west and north of the smelter. This calcareous sediment influences the pH of soil and other materials; in turn, pH is an important factor affecting the mobility of metals in water and must be considered in geochemical interpretations of soils, lake sediments, and other sampling media. Information concerning the area's glacial history and its significance to the MITE project is provided in this bulletin.

The distribution of metals in soils within a 100 km radius of the Horne smelter has been studied. Over 100 sites were visited, and freshly dug pits were used to sample the organic-rich humus soil horizon as well as the B and C horizons. Samples taken at each site were analyzed geochemically, providing an extensive database with which to study the spatial distribution of metals. The soil data provide a picture of metal distribution both horizontally and vertically, but cannot provide information about time of deposition, only a time-integrated picture.

The humus samples show a pattern of enrichment in smelter-emitted metals that is clearly centred on the smelter. Copper shows a greater degree of enrichment (compared to regional background values) than does

SOMMAIRE

La ville de Rouyn-Noranda (Québec) se trouve dans la plus grande ceinture de granite et de roches vertes au monde, soit la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, qui est riche en gisements minéraux, notamment en métaux communs et en métaux précieux. La fonderie Horne, autour de laquelle Rouyn-Noranda s'est élevée, a ouvert ses portes en 1927, suivant la découverte, deux ans plus tôt, d'un important corps minéralisé qui a ensuite été mis en valeur par la société Noranda Mines nouvellement fondée. Les métaux rejetés par la fonderie depuis 1927 se sont principalement déposés dans des milieux composés d'une épaisse couverture de sédiments quaternaires meubles mis en place sur le socle rocheux pendant et depuis la dernière glaciation. Il est essentiel de bien connaître la géologie et l'histoire glaciaire de cette région pour interpréter les données sur la géochimie de surface, en particulier les données sur les sols et les sédiments lacustres.

La surface du socle rocheux est en grande partie cachée par une épaisse couverture de sédiments glaciaires, si bien qu'il est possible que la géochimie des sols et des sédiments lacustres ne reflète pas les différences dans la lithologie du socle. Par endroits, du till a été enrichi en métaux présents dans les roches vertes minéralisées sous-jacentes. Il est donc important de reconnaître que certains enrichissements observés aux environs de la fonderie peuvent être «naturels» et ne pas provenir des charges polluantes en métaux émises par la fonderie.

Il est tout particulièrement important de mentionner la présence d'un sol calcaire dans le nord-ouest de la région à l'étude. Hormis l'avant-butte calcaire paléozoïque du lac Timiskaming (au sud-ouest de Rouyn-Noranda), la principale source de matériaux calcaires réside à des centaines de kilomètres au nord-ouest de Rouyn-Noranda, dans des roches carbonatées paléozoïques de la plate-forme de la baie d'Hudson. Des matériaux calcaires ont été charriés par des glaciers sur une grande distance, du nord-ouest vers le sud-est, puis déposés à l'ouest et au nord de la fonderie. Ces sédiments calcaires ont une incidence sur le pH du sol et d'autres matériaux. Le pH, quant à lui, influe considérablement sur la mobilité des métaux dans l'eau. Par conséquent, il faut en tenir compte dans l'interprétation des données géochimiques recueillies à partir d'échantillons de sols et de sédiments lacustres, ainsi que dans d'autres milieux. Le présent bulletin comprend des renseignements sur l'histoire glaciaire de la région et sur son importance dans le cadre du programme MEDE.

On a étudié la répartition des métaux dans les sols qui reposent dans un rayon de 100 km de la fonderie Horne. Plus de 100 sites ont été étudiés et de nouvelles fosses ont été excavées afin de prélever des échantillons dans l'horizon d'humus riche en matière organique, ainsi que dans les horizons B et C. L'analyse géochimique d'échantillons provenant de chaque site a permis de produire une importante base de données dans le but d'étudier la répartition spatiale des métaux. Bien que les données pédologiques puissent servir à déterminer la répartition horizontale et verticale des métaux, elles ne renseignent pas sur le moment de leur dépôt et ne permettent qu'une intégration temporelle.

Les échantillons d'humus indiquent que l'enrichissement en métaux issus de la fonderie est nettement concentré autour de cette dernière. L'humus est davantage enrichi en cuivre (comparativement aux valeurs de fond régionales) qu'en plomb, ce qui est probablement

lead, probably indicating that copper is retained in humus to a greater extent than lead due to the ease with which copper is bound by organic matter. Besides total chemical analyses, humus samples were selectively leached to identify whether metals deposited from the atmosphere were more loosely bound (i.e. more easily dissolved by a weak leach) than metals occurring 'naturally' without influence from the smelter emissions. Close to the smelter (<10 km), a relatively high proportion of the total copper and lead in the humus occurs in the labile (easily dissolved) phase; this proportion decreases in samples taken farther away from the smelter. This has potential significance for determining the amount of readily soluble metal, because metals in a soluble state are more likely to be bioavailable than metals held in less soluble solid forms.

Vertical transport of metals by leaching into lower parts of the soil profile was also examined. Factors influencing metal mobility include distance from the smelter and parent material. Strong evidence exists to show that B-horizon samples near the smelter are enriched in Cu and Pb, to a greater extent than would be expected as a result of local variations caused by the proximity to mineralized bedrock. This suggests that some leaching to the B horizon has occurred. For soils on glacial lake sediment, evidence supports metal retention in B-horizon soils. In areas underlain by glacial till (diamicton), evidence shows that metals from smelter emissions are also present in the C horizon close to the smelter.

The physical and chemical characteristics of smelter-derived particles in soil were also examined. Sixteen humus samples (a subset of the samples collected for chemical analysis) were sieved to <0.425 mm, treated with H_2O_2 to remove organic material and then studied by scanning electron microscope (SEM) techniques to characterize dust morphotypes, texture, and chemical element associations. A further six samples were mounted in epoxy and then thin-sectioned and polished to determine internal textures, element associations, particle size, and abundance.

Particles were classified into five textural groups (plated, tubular, etched, granular-to-smooth, and lunar), each with a distinct element association. The plated particles (Fe and Fe+Si) represent unreacted flux, similar to ones reported as originating from a copper converter near Flin Flon, Manitoba. Tubular grains (Fe, Fe+Si+Al) were rare and probably also originated from the smelter, but were subjected to a greater degree of melting. Etched particles (Fe, S+Cu+Fe, Si+Al+Fe) of this type may have been subjected to early reaction with gas in the smelter or to postdepositional weathering later in the humus. The granular-to-smooth particles (Fe, Si+Al+Mg) are spheres that have inclusions and complex dendritic structures that may have formed in a variety of ways. They commonly contain CuS prills

attribuable au fait que le cuivre se lie plus facilement à la matière organique que le plomb. En plus d'avoir fait l'objet d'analyses chimiques totales, certains échantillons d'humus ont été lixiviés afin de déterminer si les métaux déposés depuis l'atmosphère présentaient une liaison moins forte (c.-à-d. une plus grande solubilité en présence d'un faible agent de lixiviation) que celle des métaux présents à l'état «naturel» qui ne proviennent pas des émissions de la fonderie. À proximité de la fonderie, soit à moins de 10 km, une proportion relativement grande des concentrations totales de cuivre et de plomb dans l'humus est en phase labile (grande solubilité), tandis que cette proportion est moins grande dans les échantillons prélevés plus loin de la fonderie. Cela pourrait influer sur le dosage des métaux d'une grande solubilité, car les métaux dissous sont plus susceptibles d'être biodisponibles que ceux qui sont solides et moins solubles.

On a également étudié le transport vertical par lixiviation des métaux jusqu'à une plus grande profondeur dans le profil pédologique. Parmi les facteurs qui influent sur la mobilité des métaux, mentionnons la distance par rapport à la fonderie et le type de matériau d'origine. Des indices éloquents montrent que les échantillons prélevés dans l'horizon B à proximité de la fonderie sont davantage enrichis en cuivre et en plomb que ce qui pourrait être prévu d'après les variations locales dues à la proximité du socle minéralisé, ce qui laisse supposer que cet horizon a été lixivié à un certain degré. Pour ce qui est des sols qui reposent sur des sédiments glaciolacustres, des indices appuient l'hypothèse selon laquelle les sols de l'horizon B ont piégé des métaux. Aux endroits dont le sous-sol est composé de till glaciaire (diamicton), des indices montrent que l'horizon C contient également des métaux issus des émissions de la fonderie, à proximité de cette dernière.

On a aussi fait l'étude des propriétés physiques et chimiques des particules issues de la fonderie qui sont présentes dans le sol. Seize échantillons d'humus constituant un sous-ensemble des échantillons prélevés à des fins d'analyse chimique ont été tamisés pour ne recueillir que des particules d'un diamètre inférieur à 0,425 mm, traités avec du H_2O_2 pour éliminer toute matière organique, puis examinés au microscope électronique à balayage pour caractériser les associations d'éléments chimiques, les textures et les morphotypes de la poussière. Six autres échantillons ont été montés dans une résine époxyde, puis coupés en lames minces et polis afin d'examiner les textures internes, les associations d'éléments chimiques, de même que la dimension et l'abondance des particules.

Les particules ont été subdivisées en cinq groupes de texture (en plaques, tubulaire, gravée, granulaire à lisse et lunaire), qui sont chacun rattachés à leur propre association d'éléments. Les particules en plaques (Fe et Fe+Si) représentent un flux inaltéré et sont similaires à des particules qui proviendraient d'un convertisseur de cuivre près de Flin Flon (Manitoba). Les grains tubulaires (Fe et Fe+Si+Al) étaient rares et provenaient probablement aussi de la fonderie, bien qu'ils eussent été soumis à une fusion plus importante. Les particules gravées (Fe, S+Cu+Fe et Si+Al+Fe) ont pu être soumises à une réaction précoce avec du gaz dans la fonderie ou à une altération ultérieure à leur dépôt dans l'humus. Les particules granulaires à lisses (Fe et Si+Al+Mg) constituent des sphères qui présentent des inclusions et des structures dendritiques complexes pouvant s'être formées de différentes façons et contenant, en général, des revêtements de cuivre ou des sphérules de CuS. Les particules à

or copper coatings. The lunar particles (Si+Al+Na, minor Fe) are also spherical, commonly with corroded edges that probably result from contact with hot gas.

Dust particles had diameters between 0.5 and 427 µm, so many of the larger particles must have either been produced by the smelter before the installation of electrostatic precipitators or been fugitive (derived from non-stack sources). The mean size and abundance of particles increased with distance to about 17 km from the smelter. Beyond 35 km, the number of dust particles in humus decreased, but the mean size did not change.

The dust in humus differs from dust in snow in not containing soluble phases — particularly sulphur crystals and easily weathered sulphide minerals such as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and barite. This can be explained by the difference in exposure to weathering of particles in the two sampling media. Smelter-emitted particles in humus are predominantly residual, having been exposed to possibly decades of weathering, whereas particles in snow are very recent, with dissolution occurring mainly during thawing of the snow samples in the laboratory.

Two snow surveys were carried out during the MITE Initiative in the winters of 1997–1998 and 2000–2001. The use of snow as a sampling medium allowed recent atmospheric deposition to be studied, since the source of metal in the snow was exclusively deposition from the air. Consequently, it was possible to estimate not only patterns of metal concentration, but also metal deposition rates or loadings, expressed as mass per unit area per interval of time.

Patterns of deposition showed a bull's-eye centred on the smelter for metals present in emissions. Beyond about 50 km, the influence of the smelter was difficult to distinguish from natural variation. Metal concentration in snow, modelled as a function of distance from the smelter, showed a similar pattern in both years. A comparison of metal levels in snow and values from other parts of the world indicated that within 10 km from the smelter, levels were comparable to those at other industrial sites such as smelters in the Kola Peninsula (Russia and Finland) and Flin Flon (Manitoba). From 10 to 25 km from the smelter, levels were typical of urban areas; from 25 to 200 km, they were typical of rural values; beyond 200 km, they were typical of remote areas.

Multivariate statistical analysis of the geochemical data showed that the chemical variability present in the snow data could be considered in terms of two end members, one composed mainly of smelter-emitted elements close to Rouyn-Noranda and the other dominated by rock-forming elements.

The sampling and analytical protocol used for snow involved thawing and filtering the frozen samples in the laboratory. In this way, the relative proportions of metals in dissolved and particulate states were measured.

texture lunaire (Si+Al+Na et peu de Fe) sont, elles aussi, sphériques et présentent souvent des bords corrodés qui sont probablement le résultat d'un contact avec du gaz chaud.

Le diamètre des particules de poussière se situait entre 0,5 et 427 µm. Par conséquent, la majeure partie des particules de plus grande dimension est soit issue de la fonderie avant qu'on y installe des dépoussiéreurs électriques, soit fugitive, c'est-à-dire qu'elle n'est pas issue d'une cheminée. L'abondance et la dimension moyenne des particules augmentaient en s'éloignant de la fonderie, jusqu'à une distance d'environ 17 km. Au-delà de 35 km, la concentration des particules dans l'humus diminuait, mais leur dimension moyenne demeurait la même.

La poussière dans l'humus n'est pas comme celle prélevée dans la neige, car elle ne présente aucune phase soluble, notamment des cristaux de soufre et des sulfures facilement altérés comme la pyrite, la chalcopyrite, la sphalérite et la barytine. Cela peut s'expliquer par les différents degrés d'exposition à l'altération auxquels les particules ont été soumises dans les deux milieux d'échantillonnage. Les particules dans l'humus qui provenaient de la fonderie étaient principalement résiduelles, celles-ci ayant vraisemblablement été exposées à des dizaines d'années d'altération, alors que celles dans la neige étaient très récentes, leur dissolution s'étant principalement produite pendant le dégel des échantillons de neige en laboratoire.

Deux échantillonnages de la neige ont été exécutés dans le cadre du programme MEDE, durant les hivers de 1997-1998 et de 2000-2001. Le prélèvement d'échantillons dans la neige a permis d'étudier de récents dépôts atmosphériques, les métaux dans la neige provenant exclusivement de l'atmosphère. Il a ainsi été possible d'estimer la répartition des concentrations de métaux, mais également les charges ou les taux de dépôt, et ce, en masse surfacique par intervalle de temps.

Le dépôt des métaux présents dans les émissions s'est effectué concentriquement depuis la fonderie. Au-delà de 50 km environ, il s'avérait difficile de distinguer les métaux issus de la fonderie des variations naturelles. Les concentrations de métaux dans la neige, qui ont été modélisées en fonction de la distance depuis la fonderie, ont été déposé d'une manière similaire pendant les deux périodes susmentionnées. En comparant les concentrations de métaux dans la neige à celles détectées ailleurs dans le monde, on a pu montrer qu'à moins de 10 km de la fonderie, les concentrations sont comparables à celles d'autres sites industriels, comme ceux des fonderies de la presqu'île de Kola (Russie et Finlande) et de Flin Flon (Manitoba). À une distance allant de 10 à 25 km, les concentrations étaient caractéristiques des régions urbanisées, à une distance allant de 25 à 200 km, elles étaient typiques des régions rurales et à plus de 200 km, elles étaient typiques des régions éloignées.

L'analyse statistique multivariée des données géochimiques a montré que la variabilité chimique des échantillons de neige pourrait comporter deux pôles, soit l'un principalement composé de métaux émis par la fonderie, près de Rouyn-Noranda, et l'autre formé en majeure partie d'éléments lithogénétiques.

La méthode d'échantillonnage et d'analyse de la neige comprenait le dégel et la filtration en laboratoire des échantillons gelés pour mesurer les concentrations relatives de métaux sous forme dissoute et de métaux sous forme de particules. On a ainsi pu

This simulated spring thaw conditions and provided a measure of the amount of total metal that was readily available to the ecosystem. This is only a first approximation of potential bioavailability, although the data on metals in solution in snow were used as key evidence for the dispersal of smelter emissions in a risk assessment by Environment Canada on releases from primary and secondary copper and zinc smelters.

simuler la fonte printanière et mesurer les concentrations totales de métaux fortement biodisponibles. Bien que ces mesures ne constituent qu'une première indication approximative de la biodisponibilité potentielle des concentrations totales de métaux, les données sur les métaux dissous dans la neige ont servi d'indices clés quant à la répartition des émissions de fonderie dans le cadre d'une évaluation des risques exécutée par Environnement Canada au sujet des émissions de cuivre et de zinc de première et de deuxième fusion.

The physical and chemical characteristics of particles retained on the filter papers after thawing the snow samples were studied. A total of 27 000 individual particles from 26 filtered samples were analyzed by SEM. Particles were classified chemically on the basis of X-ray line intensities, using software developed at the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET). The majority (>85%) of particles were composed chiefly of rock-forming elements. Many types of metallic particles were recognized, often with Fe+Cu+S typical of the sulphides in the smelter feed. A comparison of stack dust particles and snow particles indicated that the average composition of particles changed between the stack plume and the site of deposition in snow.

On a étudié les propriétés physiques et chimiques des particules piégées sur les papiers filtres après le dégel des échantillons de neige. Au total, 27 000 particules distinctes issues de 26 échantillons filtrés ont été analysées au microscope électronique à balayage, puis classées d'après leur composition chimique selon l'intensité des raies de diffraction des rayons X, au moyen d'un logiciel conçu par le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET). La majeure partie (plus de 85 %) des particules étaient principalement composées d'éléments lithogénétiques. De nombreuses particules métalliques ont été identifiées, et celles-ci étaient généralement formées de Fe+Cu+S, ce qui est caractéristique des sulfures présents dans la matière l'alimentation de la fonderie. Une étude comparative des particules de poussière émises par la cheminée de la fonderie et des particules présentes dans la neige a indiqué que la composition moyenne des particules a changé dans l'intervalle entre leur émission dans le panache de la cheminée et leur dépôt dans la neige.

A size analysis of particles was carried out by image analysis and expressed as an equivalent particle diameter. The minimum particle diameter (about 0.6 µm) was limited by the filter pore size (0.45 µm). Particle diameters ranged typically between 1.8 and 2.8 µm (mean = 2.3 µm), with no systematic change with distance from the smelter. This was at odds with the humus data, in which a decrease in particle size was observed. There are several possible reasons for this difference. The humus particles may have been deposited many years ago, before changes to the smelter process were introduced. The snow particles were measured using an automated method (and a much larger sample size), whereas the humus particles were measured manually. Furthermore, the snow particles may include both geogenic dust as well as smelter dust, whereas only metallic particles of smelter origin were measured in humus.

Une analyse de la dimension des particules a été effectuée au moyen d'images et les résultats obtenus ont été exprimés en diamètre équivalent. Le diamètre minimum (environ 0,6 µm) a été fixé d'après la dimension des pores du filtre (0,45 µm). Le diamètre des particules se situait généralement entre 1,8 et 2,8 µm, s'établissait en moyenne à 2,3 µm et ne variait pas systématiquement en fonction de la distance par rapport à la fonderie, ce qui ne correspondait pas aux données sur les particules dans l'humus, dont on avait observé une diminution de la dimension en fonction de la distance. Cette différence peut s'expliquer de plusieurs façons. Il y a peut-être de nombreuses années que les particules dans l'humus ont été déposées, avant même que les procédés de la fonderie aient été modifiés. Les particules dans la neige ont été mesurées au moyen d'une méthode automatisée et la taille des échantillons de neige était beaucoup plus grande, alors que les particules dans l'humus ont été mesurées manuellement. De plus, les particules dans la neige peuvent comprendre de la poussière géogène et de la poussière émise par la fonderie, alors que seules des particules métalliques issues de la fonderie ont été mesurées dans l'humus.

Ombotrophic peat bogs (fed solely by deposition from the air, not from soil and groundwater) are now frequently used as archives of historical deposition of atmospheric pollutants. From an areal viewpoint, peat is not a major class of surficial material in this part of west Quebec, but it is sufficiently widespread so that samples from *Sphagnum* hummocks (and from the hollows between hummocks) could be used to provide a spatial picture of metal deposition around Rouyn-Noranda. Previously, samples taken from the latest growth on *Sphagnum* hummocks had been used to estimate metal loading rates (mass per unit area per year). The spatial pattern of metal loading rates around the smelter was generally similar to snow results. Vertical

Les tourbières ombrotrophes, dont l'alimentation en eau ne provient que des précipitations et non du sol et des eaux souterraines, servent maintenant souvent à connaître l'histoire des dépôts de polluants atmosphériques. La tourbe ne couvre pas une superficie suffisamment vaste pour qu'elle constitue une catégorie importante de matériau de surface; toutefois, elle est assez répandue pour que des échantillons prélevés à partir de buttes de sphaignes et des dépressions qui les séparent servent à déterminer la répartition spatiale des métaux aux environs de Rouyn-Noranda. Auparavant, les échantillons de sphaignes ayant récemment poussée sur des buttes servaient à estimer les taux de charge en métaux (masse surfacique par année). La répartition spatiale des taux de charge en métaux aux alentours de la fonderie était généralement similaire à celle des particules dans la neige. On a étudié le profil vertical des

metal profiles from selected sample sites in both hummocks and hollows were examined. Besides total analyses, partial extractions were undertaken to estimate the proportion of metal in the labile phase, similar to the humus study. Peat age was constrained by dating with ^{137}Cs, bulk density measurements, and data on growth rates. In addition to the vertical profile data for peat hummocks and hollows, geochemical data were generated for recent growth of feather moss (*Pleurozium schreberi*) collected from the hollow surface at some sites and often used as a metal bioindicator in environmental monitoring.

Concentrations of Cu, Pb, and Zn were relatively low in the upper 20 cm of hummock profiles, increased markedly between depths of 25 and 45 cm, and decreased below 50 cm. This pattern was most pronounced within 25 km of the smelter. A similar but vertically compressed pattern was evident in profiles through hollows. A greater proportion of the total Cu, Pb, and Zn occurred in the labile (loosely bound) phase at sites within 10 km of the smelter than at more distant sites. These profiles suggested that the influence of the smelter, as recorded by airborne deposition of metals, was greatest some time ago, and that recent deposition of metal from the air was much less, consistent with reductions in smelter emissions in recent years.

Lake sediments, like ombrotrophic peat, provide historical archives of metal deposition from the atmosphere. However, interpretation of the metal record is confounded by factors such as transport and deposition from nearby catchments and vertical mobility due to diagenesis. The Point Sources project had two phases of lake-sediment studies. The first involved a regional survey of short cores from about 100 lakes, with detailed long cores taken at six sites, including 'Green' Lake and 'Gravel Pit' Lake. The second phase built on the results of the first phase, and involved a comprehensive study of two additional lakes.

An important sample-preparation protocol was developed and tested on cores from 'Green' and 'Gravel Pit' lakes, namely the effect of sample drying on the distribution of metal between various sediment phases. By applying techniques of selective leaching, the total metal present in a sample can be broken down into phases, or modes of occurrence, such as 'soluble organics' (the labile phase previously mentioned in the humus and peat studies), 'exchangeable/adsorbed' and 'amorphous Fe/Al oxides'. Such phases are operationally defined: they do not perfectly match corresponding mineral assemblages, but they do provide a useful guide to the presence and relative importance of various geochemical processes responsible for metal abundance. The aim of this study was to determine whether sample drying affected metal distribution among the five phases and, therefore, could introduce artifacts caused by sample preparation.

métaux présents dans certains échantillons prélevés dans des buttes et des dépressions. Des analyses totales ont été effectuées, ainsi que des extractions partielles, afin d'estimer la proportion de métaux en phase labile, comme ce fut fait dans le cadre de l'étude sur les échantillons d'humus. L'âge de la tourbe a été délimité au moyen d'une datation au ^{137}Cs, de mesures de la masse volumique apparente et de données sur les taux de croissance. Outre les données de profil vertical pour les buttes de tourbe et les dépressions, on a également recueilli des données géochimiques sur la récente croissance de l'hypne (*Pleurozium schreberi*) prélevée à la surface de dépressions dans certains sites, car ce végétal sert souvent de bio-indicateur de métaux à des fins de surveillance environnementale.

Les concentrations de cuivre, de plomb et de zinc étaient relativement faibles jusqu'à 20 cm de la surface des buttes, tandis qu'elles augmentaient de façon marquée à une profondeur allant de 25 à 45 cm et qu'elles diminuaient à plus de 50 cm de la surface. C'est à moins de 25 km de la fonderie que cette tendance était la plus prononcée. Dans les dépressions, les concentrations suivaient une tendance similaire mais comprimée verticalement. Une proportion plus élevée de la quantité totale de cuivre, de plomb et de zinc était en phase labile (faible liaison) à des sites à moins de 10 km de la fonderie. Ces profils laissaient supposer que les répercussions de la fonderie, dont témoigne le dépôt atmosphérique de métaux relevés, ont été beaucoup plus importantes par le passé et que beaucoup moins de métaux ont été déposés récemment, ce qui pourrait être attribuable aux réductions des émissions de la fonderie qui ont été effectuées au cours des dernières années.

Tout comme la tourbe ombrotrophe, les sédiments lacustres renseignent sur l'histoire des dépôts atmosphériques de métaux. Cependant, l'interprétation de ces renseignements peut s'avérer difficile, notamment en raison du transport et du dépôt de sédiments depuis des bassins hydrographiques voisins et de la mobilité verticale résultant de la diagenèse. Le projet sur les sources ponctuelles comportait deux phases d'étude des sédiments lacustres. La première comprenait une étude régionale de carottes courtes extraites de quelque 100 lacs et un examen détaillé de carottes longues prélevées dans six sites, y compris le lac «Green» et le lac «Gravel Pit». La seconde phase, qui était basée sur les résultats de la première, comprenait une étude détaillée de deux autres lacs.

Une importante méthode de préparation des échantillons a été élaborée, puis mise à l'essai sur des carottes extraites des lacs «Green» et «Gravel Pit», notamment pour connaître l'effet du séchage des échantillons sur la répartition des métaux parmi les différentes phases de sédiment. En recourant à des techniques de lixiviation sélective, il est possible de regrouper les concentrations totales de métaux dans un échantillon par phase ou mode d'occurrence, c'est-à-dire par «matières organiques solubles» (issues de la phase labile susmentionnée qui se rattache aux études sur l'humus et la tourbe), par «échangeables/adsorbés» et par «oxydes de fer/aluminium amorphes», notamment. Ces phases sont définies selon les activités d'exploitation. Elles ne se prêtent pas parfaitement aux assemblages minéraux correspondants, mais elles indiquent efficacement l'existence et l'importance relative des divers processus géochimiques à l'origine de l'abondance des métaux. Cette étude avait pour objet de déterminer si le séchage des échantillons influait sur la répartition des métaux parmi les cinq phases et, par conséquent, si la préparation des échantillons pouvait entraîner l'introduction d'artefacts.

Most elements became more abundant in the labile phases as a result of sample drying. For example, Fe increased in the oxide phase, with a concomitant decrease in the crystalline form of Fe as determined by a 'nearly total' aqua regia digestion. Although these changes were generally small in magnitude, they could change the shape of the element profile down the core and thereby lead to misinterpretation. However, somewhat different results were obtained for each of the two lakes, suggesting that the drying effect was both matrix- and metal-dependent. Sulphur distribution was not affected by drying. Nevertheless, the conclusion was that wet samples are probably more reliable than dried samples, if selective leaching is to be undertaken.

Pollen studies of sediment cores from eight lakes provide information about relative age dating of sediments. Such information can be used to corroborate isotopic age dates and to estimate sedimentation rates, vital for understanding the timing of events recorded in the sediment column of lakes. The pollen record was examined in samples taken every 2 cm along cores in lakes situated at various distances from Rouyn-Noranda. Samples from two cores ('Green' and 'Gravel Pit' lakes) were analyzed by ^{210}Pb dating, although only the data from 'Gravel Pit' Lake could be interpreted with any confidence. It is widely known that the weed species *Ambrosia* (ragweed) proliferated when the forested environment was cleared for agriculture and other development. *Ambrosia* was not particularly abundant in the Abitibi–Témiscamingue area. Nevertheless, an increase in *Ambrosia* pollen was noticed in all the cores and taken as a marker horizon indicative of deforestation. Full pollen spectra analyses were also carried out on four cores; changes in *Ambrosia* were in general correlated with a decrease in tree pollen and a parallel rise in shrub and herb pollen. The Pb date of the *Ambrosia* marker in 'Gravel Pit' Lake was consistent with the c. 1925 date of development around Rouyn-Noranda. An east-west trend was evident in the lakes, with the eastern lakes being generally deeper and the *Ambrosia* marker occurring at a deeper level in the sediment column than in the western lakes close to Rouyn-Noranda. This change may be due in part to development that took place about 17 years earlier around Val-d'Or than in Rouyn-Noranda, and in part to a greater sedimentation rate in the deeper eastern lakes due to sediment focusing. The average sedimentation rate in 'Gravel Pit' Lake was 0.11 cm/a, whereas the rate in Lake Vert (near Val-d'Or) was between 0.15 and 0.17 cm/a.

The second phase of lake-sediment studies around Rouyn-Noranda focused on the relative effects of chronological metal loading versus diagenetic metal remobilization in lake-sediment profiles. This work is particularly important because many of the published papers concerning lake-sediment metal profiles, and

La plupart des éléments devenaient plus abondants en phases labiles à la suite du séchage des échantillons. Par exemple, les concentrations de fer augmentaient dans la phase des oxydes et, du même coup, celles du fer sous forme cristalline diminuaient comme l'indiquait une dissolution «presque totale» dans l'eau régale. Bien que ces changements étaient généralement petits, ils pouvaient modifier la forme du profil des éléments le long d'une carotte et ainsi entraîner une fausse interprétation. Toutefois, des résultats quelque peu différents ont été obtenus pour chacun des deux lacs, ce qui laisse supposer que l'effet du séchage variait selon la matrice et les métaux. Le séchage n'a pas influé sur la répartition du soufre. Néanmoins, on a conclu que les échantillons humides sont probablement plus fiables que les échantillons séchés, si l'on doit entreprendre une lixiviation sélective.

Des études sur le pollen présent dans des carottes prélevées dans huit lacs ont permis d'établir l'âge relatif des sédiments lacustres. De tels renseignements peuvent servir à corroborer des datations isotopiques et à estimer les taux de sédimentation, ce qui est indispensable pour comprendre la chronologie des événements dont témoigne la colonne sédimentaire des lacs. Le pollen analysé provenait d'échantillons prélevés à des intervalles de 2 cm le long de carottes extraites de lacs situés à des distances variées de Rouyn-Noranda. Des échantillons prélevées dans deux carottes (lacs «Green» et «Gravel Pit») ont fait l'objet d'une datation au ^{210}Pb, bien que seules les données sur le lac «Gravel Pit» pussent être interprétées avec un minimum de confiance. Il est couramment reconnu que l'*Ambrosia* (herbe à poux) proliférait suivant le déboisement effectué, notamment, à des fins agricoles. L'*Ambrosia* n'était pas particulièrement abondante en Abitibi-Témiscamingue. On a néanmoins observé une augmentation des quantités de pollen d'*Ambrosia* dans toutes les carottes et déterminé que ce phénomène constituait un horizon repère indicateur d'un déboisement. Le pollen de tout type présent dans quatre carottes a également fait l'objet d'analyses. En général, les variations de pollen d'*Ambrosia* étaient corrélées avec une diminution des quantités de pollen d'arbres conjuguée à une augmentation des quantités de pollen d'arbustes et d'herbes. L'âge Pb de l'horizon repère associé à l'*Ambrosia* dans les carottes extraites du lac «Gravel Pit» correspondait à l'année approximative (1925) pendant laquelle des travaux d'aménagement ont été entrepris aux environs de Rouyn-Noranda. Une tendance évidente a été observée d'est en ouest. En effet, on a constaté que l'eau est plus profonde et que l'horizon repère associé à l'*Ambrosia* est situé plus bas dans la colonne sédimentaire dans les lacs situés à l'est que dans ceux situés à l'ouest, non loin de Rouyn-Noranda. Cela pourrait être dû, d'une part, au fait que le développement de la région de Val-d'Or a eu lieu quelque 17 ans avant celui des environs de Rouyn-Noranda et, d'autre part, à un taux de sédimentation plus élevé dans les lacs plus profonds de l'est en raison d'une concentration des sédiments. Le taux de sédimentation moyen dans le lac «Gravel Pit» était de 0,11 cm/a, alors que dans le lac Vert, près de Val-d'Or, il se situait entre 0,15 et 0,17 cm/a.

La seconde phase des études sur les sédiments lacustres menées aux alentours de Rouyn-Noranda portait principalement sur les effets relatifs de la charge chronologique en métaux par rapport à la remobilisation diagénétique des métaux dans les profils de sédiments lacustres. Ces travaux sont particulièrement importants, car on ne tient pas compte des effets de la diagenèse dans un grand nombre

the inferences to be drawn from them regarding metal deposition from the atmosphere, ignore the effects of diagenesis. This phase of the Point Sources program started in 2001, later than other studies, and involved a large multidisciplinary group of university researchers and GSC personnel; it has received (and at time of writing continues to receive) considerable financial support from non-GSC sources. Besides the use of geochemistry, work on biological indicators, microbial populations and numerical modelling of reactive transport within the sediment column were, and are, being pursued.

Two kettle lakes were selected for detailed study. They were Lake Perron and Lac de la Pépinière, about 73 km southeast and 66 km northeast of Rouyn-Noranda, respectively, that formed part of the 'short core' regional survey in the phase 1 studies. The sediments in these lakes have been affected by the smelter, as indicated by a diatom analysis that suggested a temporal increase in acidity since the start of smelter operations. Moreover, the water column in these lakes was fully oxygenated in summer and probably anoxic at the bottom in winter, giving a seasonal change in the redox boundary. The lakes have a maximum depth of 12 to 17 m, depths small enough that they are relatively unaffected by wind fetch, and no evidence of benthic fauna that would cause biotic disturbance.

Coring by divers ensured that large-diameter cores were retrieved with minimal sediment loss. Cores were sampled at 1 cm intervals, with one subsample set being taken under inert gas conditions to prevent oxidation. Pore waters (one set collected in situ with peepers, another set by centrifuging core samples) and lake waters were sampled. These materials make up a detailed set of samples, suitable for a variety of analyses and interpretation.

A new protocol for studying the chemical composition of wood in tree rings (dendrochemistry) was developed and applied as part of the Point Sources project for monitoring atmospheric pollution. An advantage of trees over lake sediments as archives of atmospheric deposition is that a detailed chronology can be readily obtained by counting rings, whereas sediment deposition must be inferred from radioactive isotopes or deposition rates. Some trees live for 100 years or more, and their use as archives of metals deposited from the atmosphere can therefore extend over the period of industrialization of at least the past century.

Six tree sites were selected along a southwest-northeast traverse through Rouyn-Noranda; five of these were located within 50 km of the smelter and the sixth was about 120 km away. A control site was located several hundred kilometres north, near the east coast of Hudson Bay. Spruce trees were cored horizontally in four directions through the trunk, followed by chemical analysis of wood samples at a resolution of two years. A comprehensive suite of elements was

d'articles publiés au sujet des profils de métaux dans les sédiments lacustres et dans les conclusions tirées de leur analyse relativement au dépôt atmosphérique de métaux. Cette phase du programme sur les sources ponctuelles a été entreprise en 2001, soit plus tard que d'autres études, et comprenait la constitution d'un grand groupe multidisciplinaire formé de chercheurs universitaires et d'employés de la CGC. À l'époque et pendant la rédaction du présent document, ce programme bénéficiait d'un important soutien financier de sources autres que la CGC. Il comprenait des travaux qui sont toujours en cours et qui portent non seulement sur la géochimie, mais également sur les bio-indicateurs, les flores microbiennes et la modélisation numérique du transport par réaction dans la colonne sédimentaire.

Deux lacs de kettle devaient être étudiés en détail, soit le lac Perron et le lac de la Pépinière, qui se trouvent respectivement à environ 73 km au sud-est et à quelque 66 km au nord-est de Rouyn-Noranda. Ces lacs, qui faisaient partie de l'étude régionale de «carottes courtes» menée au cours de la première phase, contiennent des sédiments sur lesquels les émissions de la fonderie ont eu des répercussions, comme l'indiquait une analyse des diatomées qui laissait supposer une augmentation de l'acidité depuis la mise en exploitation de la fonderie. En outre, la colonne d'eau de ces lacs était totalement oxygénée pendant l'été et probablement anoxique, au fond, durant l'hiver, ce qui indique un changement saisonnier de la limite d'oxydo-réduction. La profondeur maximale des deux lacs varie de 12 à 17 m, ce qui est assez faible pour que le fetch n'ait presque aucun effet sur eux, et rien n'indique qu'ils contiennent une faune benthique pouvant provoquer une perturbation biotique.

En chargeant des plongeurs d'effectuer le carottage, on s'est assuré que le prélèvement de carottes d'un grand diamètre n'a entraîné qu'une perte minimale de sédiments. Des échantillons ont été prélevés dans les carottes à 1 cm d'intervalle et une série de sous-échantillons a été prélevée sous gaz inerte afin de prévenir leur oxydation. On a également prélevé des échantillons d'eau lacustre et des échantillons d'eau interstitielle, dont un ensemble prélevé *in situ* avec des échantillonneurs à dialyse et un autre produit par centrifugation de carottes. Ces matériaux constituent un ensemble complet propice à diverses analyses et interprétations.

Une nouvelle méthode d'analyse chimique des anneaux des arbres (dendrochimie) a été élaborée et mise en oeuvre dans le cadre du projet sur les sources ponctuelles afin de surveiller la pollution atmosphérique. Contrairement à l'analyse des sédiments lacustres, qui ne permet l'inférence des dépôts de sédiments qu'à partir des radio-isotopes ou des taux de sédimentation, l'analyse dendrochimique permet d'inférer facilement la chronologie détaillée des dépôts atmosphériques en comptant les anneaux d'un arbre. Certains arbres vivent 100 ans ou plus, si bien qu'ils permettent d'établir la chronologie des dépôts atmosphériques de métaux au cours de la période d'industrialisation d'une partie au moins du dernier siècle.

Six sites d'analyse dendrochimique ont été établis dans un axe sud-ouest–nord-est traversant Rouyn-Noranda, dont cinq, à moins de 50 km de la fonderie et un, à quelque 120 km de cette dernière. Un site témoin a été délimité à plusieurs centaines de kilomètres au nord, près de la côte est de la baie d'Hudson. Des carottes ont été prélevées horizontalement dans quatre directions dans des troncs d'épinettes, puis elles ont fait l'objet d'une analyse chimique d'une résolution de deux ans. Une série complète d'éléments a été analysée (éléments majeurs et métaux à l'état de traces), y compris les

analyzed (major elements, trace metals) including isotope ratios of H, O, and Pb. Tree sites were selected using various criteria, of which uniformity of soil characteristics was an important consideration. The principal conclusions of the study were based on time series of various elements and ratios, at different distances from the smelter.

Values of δ^2H and $\delta^{13}C$ obtained in trees close to the smelter show an immediate response at the time of smelter start up, with δ^2H decreasing and $\delta^{13}C$ increasing. This was likely caused by an increase in smelter-derived SO_2 in the atmosphere, which produced a rapid response in the foliar system. On the other hand, Cd and Pb showed a major increase in concentration starting in 1942, whereas the $^{206}Pb/^{207}Pb$ ratio decreased about 16 years after the smelter started. These changes may also be smelter related, but may have been delayed because the effects were transmitted to the trees through deposition to the soil, followed by a time delay for particle weathering and transfer of metals to the root zone for uptake through the root system. The isotope ratios indicated at least three sources of Pb, natural (from the soil) and anthropogenic (from both urban areas and mining). This new dendrochemical method has proven to be a valuable tool for investigating atmospheric pollution caused by past industrial activity.

Information about the smelter 'footprint', based on various types of regional surveys, is summarized and compared. Comparisons were made by examining maps of metal concentration values, plotting graphs of metal concentration against distance from the smelter, and fitting a three-parameter model to the concentration-distance data. The parameters were related (1) to the metal concentration a large distance away from the smelter (ambient background), (2) to the metal concentration close to the smelter, and (3) to a distance decay parameter. The radius of the footprint was arbitrarily defined as the distance at which the modelled concentration value became statistically indistinguishable from the background.

In general, the size and shape of the footprint for the same metals are similar for the various sampling media. For example, the Cu footprint has a radius of about 65 km, being about 70 km east of the smelter (downwind) and 60 km west of the smelter (upwind). The effect of the wind on footprint radius appears not to be as strong as might be expected, although this applies to smelter emissions as seen from metal concentration patterns on the ground. The anisotropy of the footprint was tested by first fitting an isotropic model to the data, followed by testing to see if the mean direction of sites with positive residuals was significantly different from the mean direction for negative residuals. Wind effects were confirmed for most metals, but the effect was relatively weak. In light of the clear differences in frequency and strength of wind according to direction at Rouyn-Noranda, the isotropy of the metal depositional patterns

rapports isotopiques de l'hydrogène, de l'oxygène et du plomb. Les sites ont été choisis d'après divers critères, dont un particulièrement important, soit l'uniformité des caractéristiques du sol. Les principales conclusions tirées de l'étude étaient fondées sur les séries chronologiques de divers éléments et rapports qui ont été établies à des distances différentes de la fonderie.

Les valeurs de δ^2H et de $\delta^{13}C$ obtenues par analyse des arbres situés près de la fonderie montrent une réaction immédiate dès le démarrage de la fonderie, qui s'est traduite par une diminution de δ^2H et une augmentation de $\delta^{13}C$. Cette réaction est probablement attribuable à une augmentation des émissions atmosphériques de SO_2 de la fonderie qui a entraîné une réaction rapide du système foliaire. Par contre, les concentrations de cadmium et de plomb ont considérablement augmenté depuis 1942, alors que le rapport $^{206}Pb/^{207}Pb$ a diminué quelque 16 ans après le démarrage de la fonderie. Ces variations peuvent résulter de l'exploitation de la fonderie. Elles se seraient alors produites tardivement, les particules n'ayant pénétré dans les arbres qu'après leur dépôt dans le sol, leur altération subséquente et leur transport jusqu'au système racinaire. Les rapports isotopiques indiquaient au moins trois sources de plomb, soit une naturelle (sol) et deux anthropiques (zones urbaines et exploitation minière). Cette nouvelle méthode d'analyse dendrochimique s'est révélée efficace pour étudier la pollution atmosphérique causée par l'activité industrielle passée.

Les renseignements sur la zone de répartition des concentrations significatives de particules émises par la fonderie, qui sont issus de divers types d'études régionales, ont été résumés et comparés. Ils ont été comparés en examinant des cartes des concentrations de métaux et des graphiques du tracé des concentrations de métaux en fonction de la distance, ainsi qu'en ajustant un modèle basé sur trois paramètres d'après les données sur les concentrations par rapport à la distance. Les paramètres se rattachaient (1) aux concentrations de métaux relevées loin de la fonderie (concentrations de fond), (2) à celles détectées près de la fonderie et (3) à un coefficient de décroissance en fonction de la distance. On a déterminé arbitrairement que le rayon de la zone de concentrations significatives correspondait à la distance où il devenait impossible de distinguer statistiquement les concentrations modélisées des concentrations de fond.

En général, la superficie et la forme de la zone de concentrations significatives d'un même métal sont similaires d'un milieu d'échantillonnage à un autre. Par exemple, les concentrations significatives de cuivre sont réparties dans un rayon d'environ 65 km, soit à quelque 70 km à l'est de la fonderie (sous le vent) et à environ 60 km à l'ouest de cette dernière (contre le vent). L'incidence du vent sur le rayon ne semble pas aussi importante que prévu, quoiqu'elle ait été appliquée aux émissions de la fonderie en fonction de la répartition des concentrations de métaux au sol. L'anisotropie des zones de concentrations significatives a été vérifiée, d'abord en ajustant un modèle isotrope aux données, ensuite en s'assurant que l'orientation moyenne des sites comportant des résidus positifs était très différente de celle des sites présentant des résidus négatifs. Bien que relativement faible, l'incidence du vent a été confirmée dans le cas de la plupart des métaux. L'isotropie de la répartition des concentrations de métaux était inattendue, compte tenu des différences marquées de fréquence et de force du vent qui

was unexpected. However, the footprint reflects the deposition of smelter emissions, not the net atmospheric transport.

For the snow and peat data, metal concentrations were transformed to metal loading rates in ng/cm²/a. By model fitting, as before, and integration over distance from the smelter, after subtracting the effect of background, the amount of metal deposited from the smelter could be estimated and compared with known emissions reported from the Horne smelter. About 25 to 50% of Cu emissions, 10 to 20% of Pb emissions, 25% of Zn emission, 5% of As emissions, and 20 to 25% of Cd emissions could be accounted for. The implication is that emissions are transported beyond the footprint and beyond a larger zone that extends at least 150 km radially from the smelter. However, the relative proportions of smelter-emitted metals to other sources of metals in the atmosphere are so low, particularly after being deposited on the ground, that they cannot be identified by source.

The Belledune smelter is situated on the south shore of Chaleur Bay, an estuary located between northern New Brunswick and Quebec's Gaspésie. The bay receives metals from a variety of sources including the lead smelter, two thermal generating stations, a mercurycell chlor-alkali plant, and numerous mined and unmined base-metal deposits. A shipborne sediment-sampling program was undertaken in order to characterize the spatial and temporal distributions of metals, assess the extent of the influence of the Belledune smelter on coastal sediments, and understand the processes controlling metal fluxes in this environment.

Lead was present in surface sediments throughout the bay at three to four times the level of background values, as seen in cores. The influence of the smelter can be seen in maps of the concentrations of various metals in surface sediments and extends about 20 km from Belledune. Wind and ocean currents were primarily responsible for this pattern.

Anomalously high concentrations of Hg and Cd, Cu, Pb and Zn also occurred within 1 km of the chlor-alkali plant and a decommissioned copper-zinc concentrate loading facility, respectively. Analyses of ammonium and sulphate gradients in sediment pore waters, vertical profiles of iron, manganese, and organic carbon in the solid phase, and grain-size variations indicate that the metal profiles in most cores were not caused by sampling artifacts or diagenetic remobilization. Lead-isotope ratios showed that Pb in the contaminated surface sediments was less radiogenic than the natural background Pb. A comparison of lead-isotope ratios in the sediments with published isotopic data for geogenic and anthropogenic sources suggested that the surface enrichment of Pb throughout most of the bay was derived mainly from the historical combustion of

ont été relevées en fonction de la direction à Rouyn-Noranda. Toutefois, les concentrations significatives reflètent le dépôt des émissions de la fonderie, non pas le transport atmosphérique net.

Pour ce qui est des données sur la neige et la tourbe, les concentrations de métaux ont été converties en taux de charge en métaux (ng/cm²/a). En ajustant le modèle, tel qu'effectué précédemment, en exécutant une intégration en fonction de la distance par rapport à la fonderie et en éliminant ensuite l'effet des concentrations de fond, on a pu estimer les quantités de métaux déposées à partir de la fonderie et les comparer aux émissions connues enregistrées à la fonderie Horne. On estime avoir détecté approximativement de 25 à 50 % des émissions de cuivre, de 10 à 20 % des émissions de plomb, 25 % des émissions de zinc, 5 % des émissions d'arsenic et de 20 à 25 % des émissions de cadmium, ce qui indique que des émissions sont transportées plus loin que dans la zone de concentrations significatives de métaux émis par la fonderie et au-delà d'une plus grande zone qui couvre un rayon d'au moins 150 km depuis la fonderie. Cependant, les émissions de la fonderie sont tellement faibles comparativement à d'autres sources d'émissions atmosphériques de métaux, en particulier après leur dépôt au sol, qu'elles ne peuvent être identifiées selon leur source.

La fonderie de Belledune se trouve sur la rive sud de la baie des Chaleurs, qui s'ouvre entre le nord du Nouveau-Brunswick et la Gaspésie (Québec). Les métaux rejetés dans cette baie proviennent de diverses sources, y compris la fonderie de plomb, deux centrales thermiques, une usine de chlore et de soude caustique à cellules d'électrolyse à cathode de mercure, de même que de nombreux gisements de métaux communs exploités ou non. On a entrepris un programme maritime d'échantillonnage de sédiments afin d'étudier la répartition spatiale et temporelle des métaux, de déterminer l'importance des répercussions de la fonderie de Belledune sur les sédiments côtiers et de mieux comprendre les processus qui régissent le transport des métaux dans ce milieu.

Partout dans la baie, les sédiments de surface des carottes prélevées contenaient des concentrations de plomb de trois à quatre fois supérieures aux concentrations de fond. Les répercussions de la fonderie sont apparentes dans un rayon d'environ 20 km autour de Belledune sur des cartes illustrant les concentrations de divers métaux dans les sédiments de surface. Mentionnons également que la répartition des concentrations de métaux est principalement due au vent et aux courants océaniques.

Des concentrations anomalement élevées de mercure ont été relevées à moins de 1 km de l'usine de chlore et de soude caustique, tandis que des concentrations exceptionnellement fortes de cadmium, de cuivre, de plomb et de zinc ont été enregistrées à moins de 1 km d'une installation désaffectée de chargement de concentré de cuivre-zinc. L'analyse des gradients d'ammonium et de sulfate dans l'eau interstitielle des sédiments, les profils verticaux des concentrations de fer, de manganèse et de carbone organique en phase solide, ainsi que les variations granulométriques indiquent que les profils des concentrations de métaux de la plupart des carottes ne résultaient pas de problèmes d'échantillonnage (artefacts) ou d'une remobilisation diagénétique. Les rapports isotopiques du plomb montraient que le plomb dans les sédiments de surface contaminés était moins radiogénique que le plomb de fond naturel. Une étude comparative des rapports isotopiques du plomb dans les sédiments et des données isotopiques publiées à propos des sources géogènes et anthropiques laissait supposer que l'enrichissement de surface du

Canadian leaded gasoline and smelter emissions; however, the relative fluxes from these sources could not be determined.

In harbour sediments sampled immediately adjacent to the smelter, metal profiles in cores showed that Cd, Cu, Hg, Pb, and Zn reached maximum levels about 5 cm below the sediment–water interface. Metal levels decreased toward the sediment surface, probably reflecting reductions in smelter emissions over the past 30 years.

plomb dans la majeure partie de la baie résultait principalement de la combustion, par le passé, de l'essence au plomb et des émissions des fonderies au Canada. Toutefois, il s'est avéré impossible de mesurer les émissions de ces sources.

Dans les carottes de sédiments prélevées dans un port contigu à la fonderie, les profils indiquaient que les concentrations de cadmium, de cuivre, de mercure, de plomb et de zinc atteignaient leurs valeurs maximales à quelque 5 cm sous l'interface séparant les sédiments et l'eau. Les concentrations de métaux diminuaient vers la surface des sédiments, probablement parce que les émissions de la fonderie ont été réduites au cours des 30 dernières années.