

LE NATURALISTE CANADIEN

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE SYSTÉMATIQUE

VOLUME 108

NUMÉRO 1

1981

**LA FORTE TENEUR EN GAZ CARBONIQUE
DE L'AIR D'UNE CAVITÉ DU QUÉBEC :
LA GROTTÉ DE SAINT-LÉONARD, ÎLE DE MONTRÉAL**

C. EK

*Département de géographie
Université de Montréal
C.P. 6128, succ. A
Montréal (Québec) H3C 3J7*

D. CARON

*Société québécoise de spéléologie
1415, rue Jarry Est
Montréal (Québec) H2E 2Z7*

J. ROBERGE

*Centre de recherches sur l'eau
Pavillon Pouliot
Université Laval
Ste-Foy (Québec) G1K 7P4*

Résumé

La grotte de Saint-Léonard, une petite grotte d'environ 35 m de long située sur l'île de Montréal, a été fermée par des blocs de rochers et un épais remblai de terre en 1968, et rouverte en 1979. À cause de son confinement, la teneur en CO₂ de son atmosphère est très élevée (1 600 à 3 500 ppm dans les salles et galeries).

Nous avons suivi l'évolution de la teneur en CO₂ dans la grotte au cours des sept mois qui ont suivi sa réouverture. Cette teneur est restée dans l'ensemble très élevée: elle a présenté un maximum lors de nos mesures de mai. Nos observations nous amènent aux conclusions suivantes: le CO₂ provient de l'activité des organismes vivants; la pollution par les moyens de transport, le chauffage ou l'industrie est négligeable; la présence de visiteurs fait monter de façon très importante la concentration du gaz carbonique quand l'entrée est obstruée. Le flux d'air est insuffisant pour évacuer au fur et à mesure le gaz carbonique produit par les visiteurs même quand la grotte est ouverte. Dans des limites définies, cependant, la situation n'est nullement dangereuse pour les visiteurs.

Abstract

St. Léonard Cave, situated on the island of Montréal, was blocked by heavy stones and a thick earth filling in 1968, and reopened in 1979. It is a small cave, some 35 m long. As it is almost completely closed, the CO₂ content of its atmosphere is quite high, ranging from 1 600 to 3 500 ppm in the chamber and passage-ways.

We investigated the evolution of the CO₂ content during the first seven months following the reopening of the cave. Our investigations lead us to the following conclusions: the CO₂ originates in the biomass; pollution by vehicles, heating or industry is negligible; visitors highly enhance the concentration of CO₂, due to the impossibility of its escape when the entrance is blocked; in fact the air flow is insufficient to eliminate the CO₂ produced by the visitors, even when the cave is open. To the extent defined in the text, there is, however, no hazard to the visitors.

Introduction

La grotte de Saint-Léonard est située dans la partie nord-ouest de la Cité de Saint-

Léonard, sur l'île de Montréal (Québec). Elle s'ouvre dans un petit parc récréatif, le Parc Pie XII. Jadis entourée de champs, la cavité se trouve aujourd'hui au cœur d'un

habitat urbain. Son entrée est cependant abritée au pied d'un petit monticule boisé qui lui conserve un cachet naturel.

C'est en 1858 que la grotte de Saint-Léonard est citée pour la première fois dans une recherche (Gibbs, 1858). La cavité fut ultérieurement le sujet de plusieurs articles dont le plus important est celui de Francoeur (1964), qui donna une description et un plan de la cavité.

La cavité est complètement obstruée en 1968. En 1978, la Société québécoise de spéléologie obtient de la municipalité le dégagement de l'entrée (fig. 1) et la responsabilité d'une étude de la grotte. Un rapport est présenté à la fin de 1979 concernant la préservation, l'aménagement et la gestion de ce site inusité (Société québécoise de spéléologie, 1979).

Il nous a paru important de savoir quelle était la teneur en CO₂ de l'air de la grotte au moment de sa réouverture, après dix années de confinement, et ses variations au cours des mois suivants.

Description du site

Bien que cerné de toutes parts par un développement domiciliaire très dense, le site de la grotte de Saint-Léonard se présente comme un îlot de verdure essentiellement constitué d'un petit boisé et d'une clairière. Le site cavernicole possède un léger relief grâce à la présence d'une petite butte calcaire orientée NE-SO dont le versant sud-est abrupt de quelques mètres, a une véritable apparence de front de cuesta. L'altitude de l'entrée est d'environ 40 mètres.

La forme générale de la butte semble contrôlée de façon structurale par les couches de calcaire du Membre de Rosemont de la Formation de Montréal du Groupe de Trenton. Les couches sont inclinées en direction nord-ouest et les pendages varient de 6° à 9°. La stratification est très irrégulière et les lits du calcaire sont souvent argileux. La butte est couverte de grands feuillus de diverses espèces et de quelques conifères.

L'entrée de la grotte (fig. 2) est actuellement constituée de deux sections de tuyaux de béton, fermées par un couvercle. Cette entrée artificielle donne accès à la salle principale de la cavité, longue de 12,5 mètres, large de 2,5 mètres et haute de 1,5 mètre en moyenne. Sur le côté droit de la salle, non

loin de son extrémité, un passage latéral, long de 6 mètres, se termine en cul-de-sac. À l'extrémité de la salle, une petite galerie basse constitue la suite de la cavité. Également long de 6 mètres, haut de 40 centimètres en un endroit, ce passage en pente douce débouche dans un système de fractures ouvertes formant la section terminale de la cavité. En un endroit, la galerie atteint 2,5 mètres de hauteur alors qu'en un autre, on peut descendre un petit ressaut vertical de 3,5 mètres de profondeur. Ici et là, quelques petites concrétions peuvent être observées. Au fond de la cavité, un petit écoulement se voit à travers les blocs de calcaire éboulés qui tapissent le sol de la grotte.

La grotte comporte actuellement 35 mètres de galeries explorées pour une dénivellation totale de 6 mètres en excluant l'entrée artificielle. Les tuyaux de béton qui constituent l'accès actuel remplacent temporairement l'étroit orifice naturel qui s'ouvrait jadis au pied d'une petite paroi instable.

Méthode

Les dosages du CO₂ de l'air ont été effectués avec le détecteur de gaz Bendix-Gastec, dont le seuil de détection est de 150 ppm. La précision garantie par le constructeur est de $\pm 25\%$, mais l'étalonnage de l'appareil nous a montré une précision effective bien meilleure et une reproductibilité des mesures à 10% près.

Les mesures ont été faites dans la salle principale, dans les galeries au-delà de cette salle, et dans des fissures débouchant dans les galeries (fig. 2). Pour distinguer les uns des autres les passages de la grotte, nous employons les mots «salle», «galerie» et «fissure» dans des sens purement descriptifs: la salle est l'endroit où la grotte atteint son maximum de largeur (un peu plus de trois mètres) et où elle est plus large que haute; une fissure est un passage très étroit, généralement trop étroit pour être parcouru.

Sauf entre le 25 avril et le 8 mai, la grotte n'a jamais été ouverte que les jours où furent faites les mesures.

Résultats

MESURES DU JOUR DE LA RÉOUVERTURE

Les teneurs en CO₂ trouvées dans le petit parc, près de l'entrée de la grotte, sont de



Figure 1. Réouverture de la grotte le 25 avril 1979. Ultimes moments des travaux: un étroit passage va être dégagé, et les premières mesures de CO₂ aussitôt entreprises (haut). Ce puits d'accès a rapidement été remplacé par une tuyauterie de béton. La section subhorizontale du tuyau de béton raccordant le puits d'entrée (tubé, lui aussi) à la salle principale de la grotte (bas). Photos J. Lamarre, S.Q.S.

300 ppm. C'est la teneur en CO₂ habituelle de l'atmosphère.

Dans la grotte, au moment de la réouverture de la cavité, nous avons mesuré dans les galeries des teneurs variant de 1 600 à 2 000 ppm. Dans les fissures et à l'entrée des fissures donnant dans ces galeries, des teneurs de 3 600 à 3 800 ppm ont été relevées. Enfin, dans la salle principale proche de l'entrée, à un endroit où cette salle a 1,5 m de haut, nos analyses montrent 2 200 ppm à 10 cm du sol et 2 400 ppm à 10 cm du plafond.

Dans l'ensemble, les salles et les galeries présentaient donc des teneurs en CO₂ de 5 à 8 fois plus fortes que celles de l'air libre, ce qui est très élevé pour une cavité du Québec, tandis que les fissures, avec des teneurs 12 ou 13 fois plus fortes que celles de l'atmosphère extérieure, présentaient des teneurs très habituelles puisque c'est par de telles fissures que l'atmosphère du sol, très riche en CO₂, communique avec les cavités et les enrichit en gaz carbonique.

MESURES DU MOIS DE MAI

Des mesures ont été faites les 8, 15 et 23 mai (fig. 3). Le 8 mai, les analyses, menées par deux personnes, comme le premier jour, ont donné à peu près les mêmes résultats. Une mesure faite au bas du puits d'entrée a donné 1 500 ppm, et une mesure dans un

endroit exigü de la galerie terminale y a révélé une teneur de 2 900 ppm.

Le 15 mai, des teneurs en général un peu plus fortes ont été observées, et un séjour de six personnes durant deux heures a fait monter la teneur en CO₂ de l'air de la salle à 5 700 ppm au ras du sol et à 6 000 ppm près du plafond.

Le 23 mai, les teneurs étaient restées fortes dans toute la grotte, au point que les quantités de CO₂ des salles et galeries avaient rejoint l'ordre de grandeur des teneurs des fissures et que toutes les mesures s'échelonnaient entre 3 000 et 4 700 ppm. Après trois heures de séjour dans la salle, les deux chercheurs avaient fait monter la teneur en CO₂ à 4 900 ppm.

Il est donc clair que la présence d'humains fait monter de façon notable la teneur du CO₂ de l'air de la grotte et que cette teneur ne redescend pas à sa valeur antérieure en quelques jours.

MESURES DU MOIS DE NOVEMBRE

Sept mois après la réouverture de la grotte, six mois après la dernière des séances de mesures de mai, nous avons procédé à une nouvelle série de mesures de contrôle. La grotte, entre temps, était restée fermée par la plaque métallique recouvrant le tuyau de béton cylindrique formant le puits d'en-

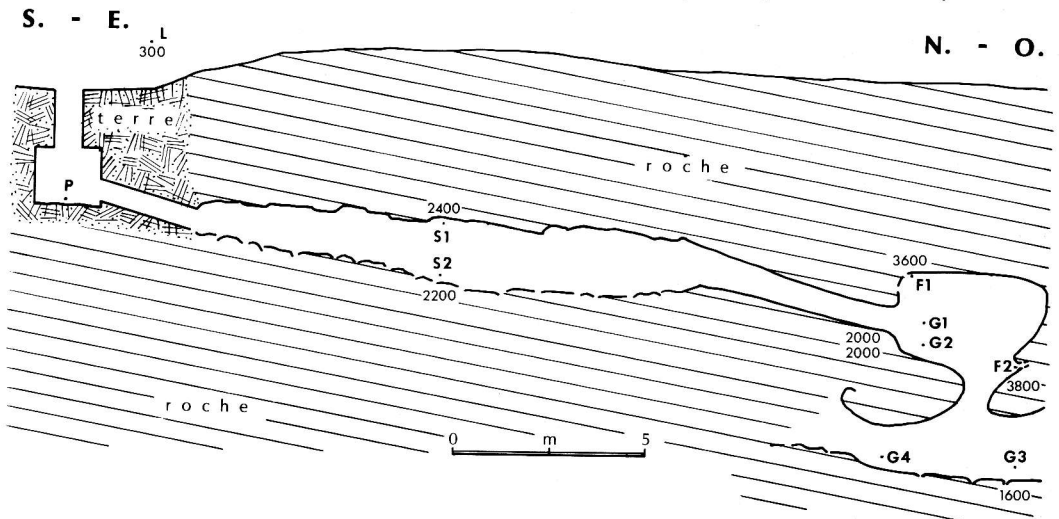


Figure 2. La grotte de Saint-Léonard. Coupe et localisation des mesures. Hauteurs non exagérées. L : à l'air libre; P : dans le puits d'entrée; S : dans la salle principale; G : dans les galeries; F : dans les fissures. Les chiffres indiquent les valeurs observées le 25 avril 1979, au moment de la réouverture. Coupe de J. Roberge, d'après J. Schroeder, C. Caron et M. Beaupré et des observations personnelles.

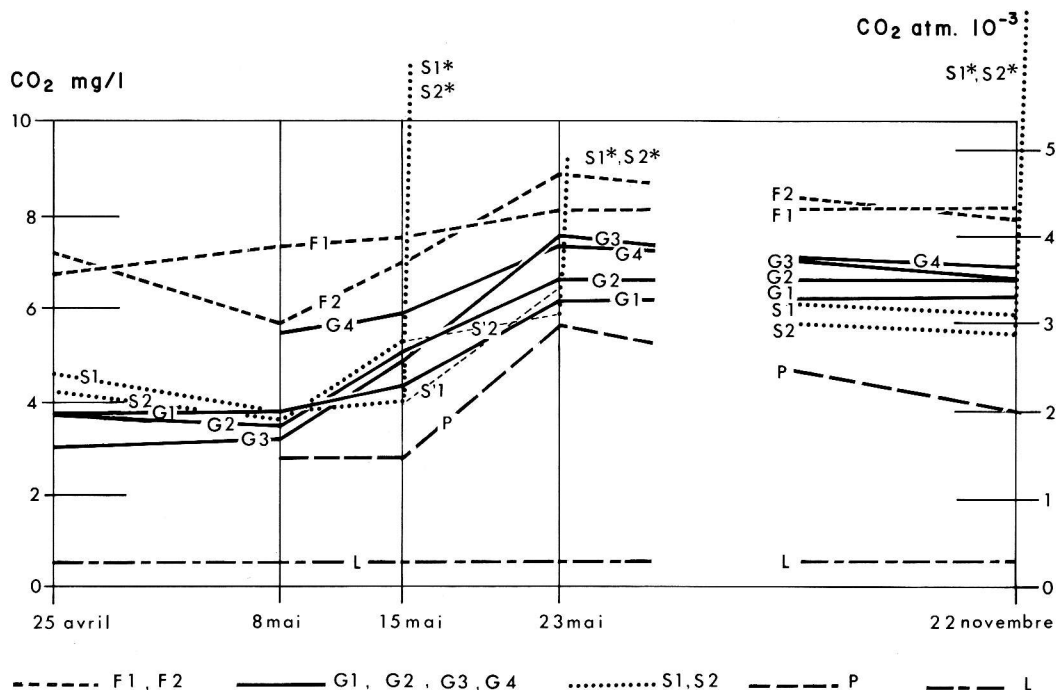


Figure 3. Évolution des teneurs en CO₂. L : à l'air libre; P : dans le puits d'entrée (à -2,5m); S : dans la salle principale: 1 près du plafond, 2 près du sol; G : dans les galeries au-delà de la salle; F : dans les fissures; Les valeurs suivies d'un astérisque réfèrent à des teneurs influencées par la présence des spéléologues dans la grotte durant un certain temps. Voir texte.

trée. Personne n'y avait pénétré. Les deux observateurs ont opéré rapidement, et ont observé des teneurs plus basses qu'en mai, dans l'ensemble, mais plus fortes que celles des premières observations d'avril. Les teneurs étaient de 3 600 à 4 300 ppm dans les fissures, et de 2 900 à 3 500 ppm dans les salles et galeries (fig. 3).

Ces premières mesures étant terminées, treize personnes ont pénétré dans la grotte et y ont travaillé pendant deux heures. Durant ce laps de temps, la teneur de l'air en CO₂ est passée progressivement, dans la salle principale, de 3 100 à 10 000 ppm, soit plus de trente fois la teneur normale de l'air extérieur.

Discussion

La teneur en CO₂ de l'atmosphère de la salle et des galeries de la grotte de Saint-Léonard est exceptionnellement élevée. Elle varie, en dehors de la présence de groupes humains, entre 1 600 et 3 500 ppm. À titre de comparaison, à la grotte de Crabtree, dans les Basses-Terres du St-Laurent,

nous n'avons jamais observé plus de 1 600 ppm dans les salles et les galeries; à la caverne Laflèche, dans les Laurentides, nous n'avons jamais trouvé plus de 900 ppm (Ek, 1980). Dans d'autres régions tempérées, en Belgique et en Pologne, par exemple, les chiffres sont du même ordre de grandeur (Ek *et al.*, 1968; Ek *et al.*, 1969; Ek, 1979). Les teneurs des fissures sont généralement plus élevées, et à ce point de vue la grotte de Saint-Léonard présente des concentrations semblables à celles observées dans d'autres grottes du Québec (Ek, 1980). On doit donc se demander quelle est la cause des teneurs élevées observées dans les salles et galeries de la grotte de Saint-Léonard.

Il ne s'agit pas, comme on pourrait s'y attendre en pleine ville, du CO₂ provenant de la pollution industrielle ou de la pollution par les gaz d'échappement des véhicules. En effet, des tests menés à deux reprises ont montré que la teneur en oxyde de carbone dans la salle était infime, et en tout cas inférieure au seuil de détection (0,001%) de l'appareillage utilisé. Une pollution par des gaz d'échappement, par exemple, ou par des

appareils de chauffage, aurait évidemment donné des valeurs beaucoup plus élevées.

Notons par ailleurs que les teneurs observées en novembre sont un peu plus élevées que celles d'avril, alors qu'une pelle mécanique, travaillant durant près d'une heure au-dessus de la grotte en avril, avait eu le plus de chance de la polluer. Enfin, la concentration du CO₂ mesurée à cinq reprises à l'extérieur confirme qu'il n'y a pas de pollution significative de l'atmosphère du parc par le dioxyde de carbone. On peut donc exclure, comme cause des fortes teneurs mesurées dans la cavité, la pollution par les industries, les véhicules ou le chauffage.

Le facteur principal est certes le manque d'aération de la grotte : la seule entrée importante reste habituellement fermée par une plaque de fonte, percée seulement de quelques petits trous. Lors des visites, malgré l'ouverture de l'entrée, il n'y a pas de ventilation, puisque la cavité n'a pas d'autre orifice. De plus, même lorsque la plaque est enlevée, les échanges entre l'air de la grotte et l'air extérieur sont limités par une inversion thermique favorisant la stabilité de la colonne d'air du puits d'entrée. À trois reprises au mois de mai, on a observé que la température de l'air était plus basse à la base du tuyau vertical de béton qu'à son sommet ; la différence était, les trois fois, de plus de 10°C. Chaque fois, il existait une forte différence dans les teneurs en CO₂ au sommet et à la base du puits. Cette inversion, de même que les conditions de stabilité qui lui sont associées, se maintient très probablement tant que la température extérieure demeure supérieure à celle de la grotte (environ 5° C), donc à peu près entre les mois de mai et de novembre. Au moment de la visite de novembre, il n'avait pas encore fait assez froid à l'extérieur pour que la situation observée antérieurement soit renversée. Le CO₂ tend donc à s'accumuler. Pourtant, dans la grotte même, il ne s'agit pas d'une simple accumulation par densité : la densité du CO₂ est plus forte que la densité moyenne de l'air et, malgré cela, il y a plus de CO₂ près du plafond de la grotte que près du plancher. Il y a donc probablement un *flux* de CO₂ provenant des fissures du plafond, lié au métabolisme des micro-organismes du sol et des racines des végétaux qui surplombent la grotte. D'autre part, l'infiltration des précipitations entraîne avec elle dans les fissures une partie de l'atmosphère du sol (Jakucs, 1977). Nous

avons, à chaque visite, observé un suintement d'eaux d'infiltration dans la cavité.

L'air exhalé par les humains a une teneur en CO₂ de 4% (soit 40 000 ppm). La présence d'observateurs, qui exhalent un gaz carbonique chaud dans la grotte, tend donc évidemment, elle aussi, à augmenter les teneurs en CO₂ plus fortes au plafond, où monte l'air chaud, que dans le bas des salles et des conduits. Mais nos premières mesures, lors de chaque visite, ont été menées avec une célérité suffisante pour éviter cet effet.

Trois autres motifs nous poussent à attribuer à la biomasse présente au-dessus de la grotte, et, en quantité beaucoup plus faible, dans la grotte, les fortes teneurs en CO₂. D'abord, plus les fissures sont proches du sol (au sens pédologique du terme), plus les teneurs observées sont fortes. Les points les plus hauts de la grotte (plafonds) ne sont qu'à 4 m de la surface du sol. Nous avons déjà noté dans d'autres grottes, systématiquement, que plus la mesure est prise en s'engageant profondément dans la fissure, plus la teneur en CO₂ est élevée.

Ensuite, les teneurs observées sont plus fortes en mai qu'en avril (mais les influences humaines ont pu jouer un rôle important à ce sujet, comme nous l'expliquons plus loin), légèrement plus fortes aussi en novembre qu'en avril. Or, en avril 1979, l'hiver se terminait à peine, la neige venait de fondre, et en novembre par contre, il n'était encore tombé presque aucune neige sur la région, et l'activité de la végétation n'était ralentie que depuis peu.

Enfin, l'un de nous (J.R.) a mesuré, dans le parc qui entoure la grotte, les teneurs suivantes dans le sol, à 10 cm de profondeur : 750 à 2 000 ppm sous végétation herbacée (8 mesures), et 1 700 à 6 500 ppm sous terrain boisé (5 mesures). Certes, ces valeurs ne sont qu'indicatives, les travaux de Jakucs (1977) ayant montré que la concentration du CO₂ dans le sol peut varier substantiellement à court terme en fonction de la teneur en eau, de l'ensoleillement, de la température et du vent.

Cependant, la présence de visiteurs dans la grotte provoque, on l'a vu, des perturbations extrêmement importantes. Ceci est lié à l'exiguïté des lieux, et à l'existence d'un seul orifice, étroit, vertical, favorisant la stagnation de l'air au fond de la cavité durant une bonne partie de l'année. Un séjour de plusieurs personnes durant une journée

entière doit donc absolument être évité. La teneur maximale observée jusqu'ici est de 1%, après deux heures de présence d'une douzaine de personnes. On peut considérer que le double de cette teneur (Miotke, 1974, p. 46) est la limite tolérable. Par conséquent, si plus de douze personnes ont à rester dans la cavité durant plus de deux heures, la teneur en gaz carbonique devra être surveillée attentivement.

Remerciements

Notre reconnaissance va à tous ceux qui nous ont aidés dans nos mesures, et en particulier à nos collaborateurs, Yves Desrosiers, Bernard Lapierre et Marie-France Toutant. Richard Comtois nous a, à deux reprises, fourni des données sur l'oxyde de carbone. La Société québécoise de spéléologie a assuré l'organisation et le soutien technique de nos visites. La ville de Saint-Léonard a chaque fois généreusement organisé l'ouverture et la fermeture de la grotte.

Enfin, notre gratitude est acquise à Michel Beaupré qui a accepté de relire notre texte, et de l'enrichir par ses remarques et ses critiques.

Références

- EK, C., 1979. Variations saisonnières des teneurs en CO₂ d'une grotte belge: le trou Joney à Comblain-au-Pont. — *Ann. Soc. géol. Belg.*, 102: 71-75.
- EK, C., 1980. Le gaz carbonique de l'air des grottes québécoises. — Réunion annuelle de l'Association des géographes canadiens. Résumés des communications, p. 10.
- EK, C., F. DELECOUR & F. WEISSEN, 1968. Teneur en CO₂ de quelques grottes belges. Technique employée et premiers résultats. — *Ann. Spéléol.*, 23: 243-257.
- EK, C., S. GILEWSKA, L. KASZOWSKI, A. KOBYLECKI, K. OLEKSINOWA & B. OLEKSINOWA, 1969. Some analyses of the CO₂ content of the air of five Polish caves. — *Z. Geomorph.*, 13: 267-286.
- FRANCOEUR, A., 1964. La caverne de Saint-Léonard. — *Naturaliste can.*, 91: 268-272.
- GIBBS, G. D., 1858. On the existence of a cave in the Trenton limestone, at the Côte St-Michel on the Island of Montreal. — *Can. Naturalist and Geologist*, 3: 192-193.
- JAKUCS, L., 1977. *Morphogenetics of Karst Regions*. Bristol (Hilger), 284 p.
- MIOTKE, F.-D., 1974. Carbon dioxide and the soil atmosphere. *Abh. Karst u. Höhlenkde, Reihe A*, 9, 1-49.
- SOCIÉTÉ QUÉBÉCOISE DE SPÉLÉOLOGIE, 1979. *Grotte de Saint-Léonard, préservation, aménagement et gestion*, Montréal, 62 p.

LE NATURALISTE CANADIEN
Revue d'écologie et de systématique

Volume 108

1981

Numéro 1

BENOÎT, J. & G. POWER. Biologie de deux populations arctiques de Touladi, <i>Salvelinus namaycush</i> (Walbaum), de la région du lac Minto, Nouveau-Québec	1-16
BARRON, J. R. The Nearctic species of <i>Ctenopelma</i> (Hymenoptera, Ichneumonidae, Ctenopelmatinae)	17-56
EK, C., D. CARON & J. ROBERGE. La forte teneur de gaz carbonique de l'air d'une cavité du Québec: la grotte de Saint-Léonard, île de Montréal	57-63
BERGERON, Y., A. BOUCHARD, S. CLAYDEN & G. N. MASSICOTTE. Additions à la flore de l'Abitibi, Québec II	65-70
CHENG, B. T. Effet de la fumure N-P-K sur le rendement et la qualité du fraiser au Québec	71-77
THORN, G. The conspicuous Fungi of Algonquin Provincial Park, Ontario: A preliminary flora	79-95
 ANALYSES ET COMMENTAIRES	
DODSON, E. O. La parenté entre les Entoproctes et les Bryozoaires	97-103
 COMMUNICATIONS BRÈVES	
MAUFFETTE, Y. <i>Asclepias exaltata</i> L. sur le mont Saint-Hilaire, Québec	105-106
FRANCOEUR, A. Un mâle sans yeux composés de <i>Formica subsericea</i> (Formicidae, Hymenoptera)	107-110
GRENON, J.-F. First record of <i>Aglaophamus neotenus</i> (Polychaeta: Nephtyidae) for Québec and Arctic Regions	111-112
 REVUE DES LIVRES	 113-116
NOTICE NÉCROLOGIQUE	117