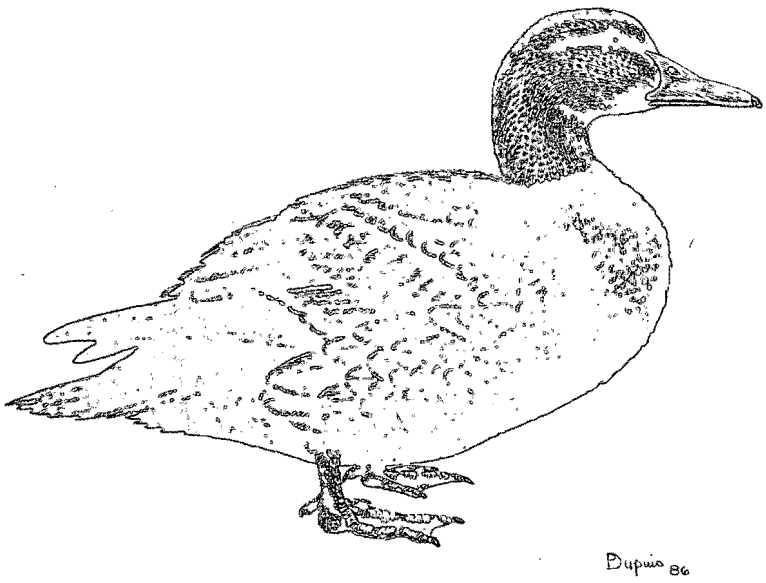
CONTAMINATION DE LA FAUNE LOCALE SUITE À L'INCENDIE D'UN ENTREPÔT DE BPC À SAINT-BASILE-LE-GRAND, QUÉBEC

Denise PHANEUF
Jean-Luc DESGRANGES
Nathalie PLANTE
Jean RODRIGUE



SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES N° 140
Région du Québec 1991
Service canadien de la faune

SK
470
T42
No. 140
Ex. B

Environnement Canada
Service canadien de la faune

Environment Canada
Canadian Wildlife Service

BIBLIOTHÈQUE

Canada

SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES DU SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE

Cette série de rapports donnant des informations scientifiques et techniques sur les projets du Service canadien de la faune (SCF) a démarré en 1986. L'objet de ces rapports est de promouvoir la diffusion d'études s'adressant à un public restreint ou trop volumineuses pour paraître dans une revue scientifique ou l'une des séries du SCF.

Ordinairement, seuls les spécialistes des sujets traités demandent ces rapports techniques. Ces documents ne sont donc produits qu'à l'échelon régional et en quantités limitées; ils ne peuvent être obtenus qu'à l'adresse figurant au dos de la page titre. Cependant, leur numérotage est effectué à l'échelle nationale. La citation recommandée apparaît à la page titre.

Ces rapports se trouvent dans les bibliothèques du SCF et figurent aussi dans les listes du système de référence DOBIS utilisé dans les principales bibliothèques scientifiques du Canada. Ils sont publiés dans la langue officielle choisie par l'auteur en fonction du public visé. **En vue de déterminer si la demande est suffisamment importante pour produire ces rapports dans la deuxième langue officielle, le SCF invite les usagers à lui indiquer leur langue officielle préférée. Il faut envoyer les demandes de rapports techniques dans la deuxième langue officielle à l'adresse indiquée au verso de la page titre.**

TECHNICAL REPORT SERIES CANADIAN WILDLIFE SERVICE

This series of reports, established in 1986, contains technical and scientific information from projects of the Canadian Wildlife Service. The reports are intended to make available material that either is of interest to a limited audience or is too extensive to be accommodated in scientific journals or in existing CWS series.

Demand for these Technical Reports is usually confined to specialists in the fields concerned. Consequently, they are produced regionally and in small quantities; they can be obtained only from the address given on the back of the title page. However, they are numbered nationally. The recommended citation appears on the title page.

Technical Reports are available in CWS libraries and are listed with the DOBIS system in major scientific libraries across Canada. They are printed in the official language chosen by the author to meet the language preference of the likely audience. **To determine whether there is significant demand for making the reports available in the second official language, CWS invites users to specify their official language preference. Requests for Technical Reports in the second official language should be sent to the address on the back of the title page.**

L'illustration de la couverture est une œuvre de P. Dupuis. Elle ne peut dans aucun cas être utilisée sans avoir obtenu préalablement la permission écrite de l'auteur.

Cover illustration is by P. Dupuis and may not be used for any other purpose without the artist's written permission.

30138281 M
20541074 S

CONTAMINATION DE LA FAUNE LOCALE SUITE À L'INCENDIE D'UN ENTREPÔT DE BPC À SAINT-BASILE-LE-GRAND, QUÉBEC

Denise Phaneuf[1]
Jean-Luc DesGranges[2]
Nathalie Plante[2]
Jean Rodrigue[2]

SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES No. 140
Service canadien de la faune 1991
Région du Québec

ENVIRONNEMENT CANADA
BIBLIOTHÈQUE
RÉGION DE QUÉBEC

Ce rapport peut être cité comme suit:

Phaneuf, D., J.L. DesGranges, N. Plante et J. Rodrigue 1991. Contamination de la faune locale suite à l'incendie d'un entrepôt de BPC à Saint-Basile-le-Grand, Québec. Série de rapports technique No. 140, Service canadien de la faune, région du Québec. IX + 47 pp. + annexes.

---

[1] Centre de Toxicologie du Québec, CHUL, 2705 boul. Laurier, Ste-Foy (Québec) G1V 4G2

[2] Service canadien faune, Environnement Canada, C.P. 10100, Ste-Foy (Québec) G1V 4H5

K
70
42
o. 140
x. B

Publié avec l'autorisation du
Ministre de l'Environnement.
Service canadien de la faune

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
Numéro de catalogue CW 69-5/140F
ISBN 0-662-97201-5
ISSN 0831-6481

Biphényle polychloré - dioxine - furanne - combustion des BPC - contamination de la faune.

Copies disponibles auprès du

Service canadien de la faune
Région du Québec
1141, Route de l'Église, C.P. 10100
Sainte-Foy (Québec), G1V 4H5

RÉSUMÉ

Cette étude sur la contamination de la faune, un à dix mois après l'incendie de BPC de Saint-Basile-le-Grand, nous montre que le feu a eu pour effet d'accroître les concentrations de BPC des animaux, de même que celles des furannes. Les observations recueillies n'ont pas permis de détecter un effet significatif de l'incendie sur les concentrations des dioxines. Compte tenu des effectifs statistiques relativement faibles, il n'est pas possible d'estimer les écarts avec précision. On peut tout de même affirmer avec un niveau de confiance de 95% que les concentrations moyennes de BPC totaux étaient entre 2 et 6 fois plus élevées dans la zone contaminée par le panache de fumée, celles des homologues à 3 atomes de chlore plus d'une fois, mais moins de 4 fois plus élevées et celles des homologues à 5 à 9 atomes de chlore entre 3 et 13 fois plus. Les écarts relatifs de concentrations entre les zones sous le panache et à l'extérieur du panache ont été semblables pour tous les animaux recueillis. Au niveau des furannes totaux, les concentrations moyennes sont significativement plus élevées sous le panache de fumée qu'à l'extérieur, et ce pour l'ensemble des espèces. Cet écart est relié aux homologues à 4, 5 et 7 atomes de chlore pour lesquels on a détecté des écarts significatifs de concentrations entre les deux zones. L'incendie n'a pas eu d'effets sur le patron des congénères de BPC retrouvés dans les tissus des animaux de la région. Les congénères No: 153, 180, 138 et 118 représentent environ 50% des BPC totaux.

Même si les concentrations de BPC et de furannes sont plus élevées dans les tissus de la faune locale exposée à l'incendie, elles restent néanmoins comparables à ce que l'on rencontre dans d'autres régions urbaines et agricoles au Canada. Ces concentrations, en équivalents toxiques de 2,3,7,8-TCDD, sont très nettement inférieures à celles qui ont été observées suite à trois autres incidents majeurs impliquant des dioxines (Elgin en Floride, Times Beach au Missouri et Seveso en Italie). Dans les deux premiers cas, on n'a pas constaté de malformations particulières chez la faune exposée tandis qu'à Seveso, on n'a pas réussi à établir de relation entre les concentrations élevées en 2,3,7,8-TCDD dans le foie et les lésions pathologiques présentes chez certains lapins trouvés morts. Nous sommes donc d'avis que l'accident de Saint-Basile n'a pas eu d'effet toxicologique important sur la faune avoisinant le site du feu.

ABSTRACT

This study on wildlife contamination, one to ten months after the PCB fire in St Basile le Grand, shows that the fire increased PCB and furan levels in animals. From the data, it was not possible to detect a significant increase in dioxin levels after the fire. Given the relatively small sample size, the differences could not be calculated precisely. However, it can be asserted with a 95% level of confidence that mean concentrations of total PCBs were 2 to 6 times higher in the area contaminated by the plume of smoke, concentrations of homologues with 3 chlorine atoms were 1 to 4 times as high, and levels of homologues with 5 to 9 chlorine atoms were 3 to 13 times as high. The relative deviations between concentrations in areas under the plume and those outside it were similar for all animals sampled. With regard to total furans, mean concentrations were significantly higher under the smoke plume than outside it, for all species. This observation is linked to homologues with 4, 5 and 7 chlorine atoms, for which significant differences were detected between the two areas. The fire had no effect on the pattern of PCB congeners found in the tissue of animals in the region. Congeners Nos. 153, 180, 138 and 118 represent approximately 50% of total PCBs.

Although PCB and furan concentrations were higher in the tissue of local wildlife species exposed to the fire, they were nonetheless comparable to those found in other urban and agricultural areas in Canada. These concentrations, in 2,3,7,8-TCDD toxic equivalents, were much lower than those observed in the wake of three other major accidents involving dioxins (Elgin, Florida; Times Beach, Missouri; and Seveso, Italy). In the first two cases, no specific deformities were detected in wildlife exposed to the toxin, whereas in Seveso, investigators were unable to establish a link between the pathological lesions observed in rabbit carcasses and the elevated concentrations of 2,3,7,8-TCDD in their livers. Thus we believe that the St-Basile accident had no important health effect on wildlife surveyed in the vicinity of the site of the fire.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ III

ABSTRACT IV

LISTE DES TABLEAUX VI

LISTE DES FIGURES VIII

REMERCIEMENTS IX

1. INTRODUCTION 1

2. ÉCOTOXICOLOGIE DES BPC, DIOXINES ET FURANNES 2

3. MÉTHODOLOGIE 6
   - 3.1 Campagne de terrain 6
   - 3.2 Analyses de laboratoire 9
     - 3.2.1 Composés organochlorés (OC) et biphényles polychlorés (BPC) . . 9
     - 3.2.2 Dioxines (PCDD) et Furannes (PCDF) 10
   - 3.3 Traitement des données 10

4. RÉSULTATS 13
   - 4.1 BPC totaux et homologues 13
   - 4.2 Dioxines totales et homologues 19
   - 4.3 Furannes totaux et homologues 23
   - 4.4 Congénères de BPC 26
   - 4.5 Congénères de dioxines et furannes 27
   - 4.6 Équivalents toxiques en 2,3,7,8-TCDD 30
   - 4.7 Variations des concentrations dans le temps 32

5. DISCUSSION 33
   - 5.1 Patron de contamination de la faune locale suite à l'incendie de Saint-Basile le Grand 33
   - 5.2 Évaluation toxicologique de la contamination de la faune à Saint-Basile le Grand 37

BIBLIOGRAPHIE 44

ANNEXES 48

LISTE DES TABLEAUX

PAGE

Tableau 1 - Bilan de la campagne d'échantillonnage sur le terrain et nombre d'analyses de résidus de BPC, PCDD et PCDF dans les tissus de faune disponibles selon la stratification finale retenue. 7

Tableau 2 - Concentrations moyennes (minimum, maximum) de BPC, dioxines et furannes dans les échantillons de faune retenus pour l'étude. 15

Tableau 3 - Comparaison des zones et des espèces quant aux concentrations moyennes de BPC (modèle d'anova à deux facteurs sur les concentrations logarithmiques) 16

Tableau 4 - Estimation du rapport des concentrations moyennes de BPC du panache et celles de la zone contrôle. 17

Tableua 5 - Analyse de variance des contrastes entre les homologues pour la zone. . . . 18

Tableau 6 - Comparaison des zones et des espèces quant aux concentrations moyennes de dioxines (modèle d'anova non-paramétrique à deux facteurs) 20

Tableau 7 - Comparaison des proportions d'échantillons contaminés entre le panache et la zone contrôle pour les dioxines (test de Fisher unilatéral). 21

Tableau 8 - Comparaison des zones et des espèces quant aux concentrations moyennes de furannes (modèle d'anova non paramétrique à deux facteurs). 25

Tableau 9 - Comparaison des proportions d'échantillons contaminés entre le panache et la zone contrôle pour les furannes (test de Fisher unilatéral). 26

Tableau 10 - Congénères de BPC les plus souvent rencontrés. 27

Tableau 11 - Concentrations moyennes (μg/kg) des différents congénères de BPC (minimum, maximum) 28

PAGE

Tableau 12 - Concentrations moyennes (ng/kg) des différents congénères de dioxines et furannes (minimum, maximum). 29

Tableau 13 - Équivalents toxiques en 2,3,7,8-TCDD (ng/kg). 31

Tableau 14 - Concentrations de BPC totaux (µg/kg) pour les Musaraignes cendrées (15 à 26 jours et 70 à 77 jours après le feu) et les Rats musqués, (16 à 19 jours et 50 jours après le feu). 32

Tableau 15 - Concentrations de 2,3,7,8-TCDD (ng/kg) mesurées dans la faune à Elgin, Times Beach et Seveso (Selon Young et al. 1987; Lower et al. 1989, 1990; Fanelli et al. 1980). 38

Tableau 16 - Concentrations de 2,3,7,8-TCDD (ng/kg) mesurées chez les lapins à Seveso selon les différentes zones d'échantillonnages (Selon Fanelli et al. 1980). 39

Tableau 17 - Concentrations (moyenne et écart-type) de BPC (µg/kg) retrouvées chez la Martre d'Amérique *(Martes americana)* et le Pékan *(Martes pennanti)* dans la région d'Algonquin en Ontario (Selon Steeves et al. 1991). 41

Tableau 18 - Moyenne géométrique (minimum-maximum) des concentrations (ng/kg) de dioxines, furannes et BPC dans les oeufs du Grand Héron *(Ardea herodias)* en Colombie-Britannique (Selon Elliot et al. 1989). 42

LISTE DES FIGURES

PAGE

Figure 1 - Structure chimique des BPC, dioxines et furannes. 2

Figure 2 - Carte géographique de la région de l'incendie de l'entrepôt de BPC de St-Basile le Grand. 8

Figure 3 - Patrons de contamination par les BPC en fonction des espèces (comparaisons multiples à l'aide de la méthode des "Least-Squares Means") 18

Figure 4 - Dispersion des concentrations des homologues de dioxines pour la zone sous le panache de fumée et la zone contrôle. 22

Figure 5 - Dispersion des concentrations des homologues de furannes pour la zone sous le panache de fumée et la zone contrôle. 24

REMERCIEMENTS

Ce travail, réalisé dans le cadre du programme des urgences environnementales d'Environnement Canada, a bénéficié d'une participation financière du Service des habitats et du Service des parcs et réserves (Mont Saint-Bruno) du Ministère du Loisir de la Chasse et de la Pêche (MLCP) de même que du support analytique du Service des substances dangereuses du Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ). Nous tenons à remercier Paul-Émile Lafleur, Danielle Chatillon, Donald Colgan et Francis Perron pour cette aide généreuse. Nous désirons également adresser un merci tout particulier à Ross Norstrom et Richard Turle du Centre national de la recherche faunique (SCF-Hull) pour leur participation à la réalisation des analyses chimiques; soit dans leurs laboratoires ou en assurant le contrôle de qualité des analyses confiées au laboratoire ZENON ENVIRONMENTAL Inc. (C.B.).

Nous sommes également redevables à nos assistants de terrain: Joël Bonin, Claire Lépine (Grebe Inc.), Jean-René Mongeau, François Morneau (Grebe Inc.) et Simon Nadeau. Claude Delisle, professeur à l'École Polytechnique de Montréal (U. de M.) a supervisé la collecte des vers de terre. Roger Bider, de la Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent a mis plusieurs pièges à notre disposition. Onil Samuel a dessiné la carte du site d'étude. Denise Langlois a dactylographié le rapport.

Enfin, nous devons des remerciements sincères à Albert Nantel et Jean-Philippe Weber du Centre de Toxicologie du Québec pour leurs conseils et commentaires lors de la rédaction de ce rapport. Gaétan Carrier (DSC Maisonneuve-Rosemont), Éric Dewailly (DSC du Centre hospitalier de l'Université Laval) et Louise Champoux (SCF) ont accepté de faire une lecture critique d'une version préliminaire de ce rapport.

1. INTRODUCTION

Dans la nuit du 23 août 1988, un incendie détruisit un entrepôt contenant approximativement 500 barils de BPC, à Saint-Basile-le-Grand (45° 32' N - 73° 17 ' O) Québec, Canada. On estime que 40 barils sur les 500 (8%) ont brûlé. Ceci représente 1680 gallons d'askarel à 60%. En plus, 1000 à 5000 gallons d'huiles contaminées issues de transformateurs auraient été consumés (Ministère de l'Environnement du Québec 1988). Les préparations de BPC brûlées étaient surtout de l'Aroclor 1242 (Dewailly et al. à paraître).

L'incendie a été maîtrisé en dedans de six heures et quelques 5200 personnes ont été évacuées, par mesure préventive. En effet, l'incendie a fait craindre à la population et à ses dirigeants, une contamination possible de l'environnement, non seulement par les BPC, mais également par les furannes et les dioxines généralement libérées lors de la combustion des BPC.

Suite à l'incendie de l'entrepôt de BPC, le Service canadien de la faune a voulu vérifier s'il y avait eu contamination de la faune locale. Les buts et objectifs de l'étude étaient les suivants:

- vérifier si la faune locale avait subi une contamination en BPC, dioxines ou furannes, suite à l'incendie;

- déterminer les homologues et les congénères de BPC, dioxines ou furannes, ayant été impliqués dans la contamination;

- dégager des patrons de contamination en fonction:

  - du lieu géographique,

  - du temps depuis l'incendie,

  - de la chaîne trophique;

- évaluer le risque toxicologique encouru par la faune locale, suite à l'incendie.

2. ÉCOTOXICOLOGIE DES BPC, DIOXINES ET FURANNES

Les composés aromatiques polyhalogénés, comprenant entre autre les biphényles polychlorés (BPC), les dioxines (PCDD) et les furannes (PCDF) sont des produits résultant principalement de l'industrialisation. Chacun de ces trois groupes de produits contient deux molécules de benzène, substituées par des atomes de chlores (Figure 1). Dans le cas des BPC, les deux molécules de benzène sont reliées par un lien carbone-carbone, alors que dans les cas des furannes, elles possèdent, en plus de ce lien, un pont oxygène. Quant aux dioxines, ce sont deux ponts oxygène qui unissent les deux molécules de benzène.

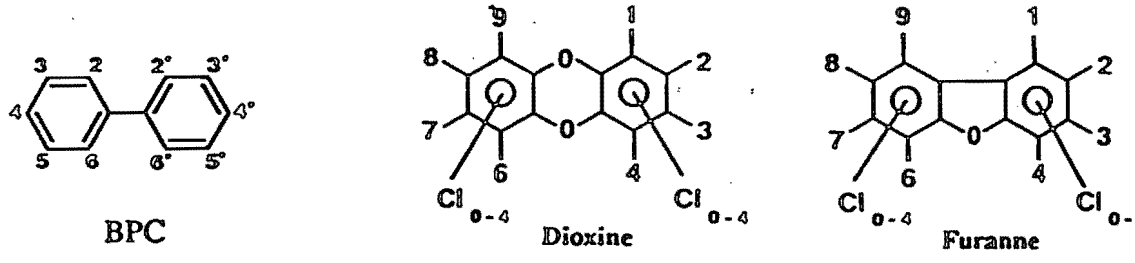


Figure 1 Structure chimique des molédules de BPC, dioxines et furannes.

Lorsque nous parlons de congénères de BPC, dioxines ou furannes, il s'agit d'isomères spécifiques. Le terme homologue quant à lui est utilisé pour décrire un groupe de congénères ayant le même nombre d'atomes de chlore. En Amérique du Nord, les préparations de BPC les plus connues sont les Aroclors de la compagnie Monsanto. Ces préparations sont des mélanges complexes de congénères. On les présente en les faisant suivre de quatre chiffres (ex. Aroclor 1242, Aroclor 1260, etc.) les deux premiers représentent le nombre d'atomes de carbone dans le groupement biphényle et les deux derniers le pourcentage de chlore contenu dans la préparation.

Aux États-Unis, on a commencé à produire les BPC commercialement vers 1930 (Safe 1984). Leurs propriétés physico-chimiques (stabilité et résistance à la destruction par la chaleur, la lumière, les acides, les bases, les agents oxydants ou réducteurs) sont à l'origine de leur utilisation répandue en milieu industriel. On les a utilisés entre autre comme fluides diélectriques dans les transformateurs (Askarel), ou comme fluides dans la machinerie hy-

draulique et dans les échangeurs de chaleur. Ils ont également été utilisés dans l'industrie de la peinture, de la colle, du caoutchouc et résines synthétiques, des huiles de coupe, etc. (Safe 1984).

Les dioxines et les furannes, quant à eux, ne sont pas des substances ayant une utilité industrielle. Ils peuvent provenir du procédé de fabrication de certains composés organiques où ils se retrouvent comme sous-produits, ou encore être générés lors de certains procédés de combustion. Par exemple le 2,4,5-T, un herbicide, contient des dioxines comme contaminants, et les furannes sont souvent retrouvés dans les mélanges de BPC (Safe 1990; Gouv. du Canada 1990; Ryan et Norstrom). Les dioxines et les furannes auraient également été produits lors de la combustion des déchets par les incinérateurs municipaux (Gouv. du Canada 1990; Ryan et Norstrom, à paraître).

Les dioxines et les furannes possèdent des propriétés physico-chimiques semblables aux BPC. Ces trois produits sont en plus très lipophiles et ont tendance à s'accumuler dans les graisses. Ces caractéristiques sont en bonne partie responsables de leur importante distribution dans l'environnement. Leur grande solubilité dans les graisses fait en sorte qu'ils auront tendance à s'accumuler le long de la chaîne alimentaire. Leur stabilité physico-chimique a pour résultat, qu'une fois répandus dans l'environnement, ils se dégradent lentement et persistent (Safe 1984, 1990; Gouv. du Canada 1990). Par exemple la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzodioxine (2,3,7,8-TCDD) a une demie-vie de dix ans et plus dans le sol (Gouvernement du Canada 1990). Des niveaux de BPC, dioxines et furannes ont été mesurés dans plusieurs écosystèmes différents à travers le monde. Ces produits ont été dosés chez l'humain, dans le sang, le lait et les graisses (Safe 1984, 1990; Gouv. du Canada 1990; Ryan et Norstrom à paraître).

Des contaminations "accidentelles" impliquant ces produits sont également survenues, et nous ont amenés à nous interroger sur les dangers potentiels que pourraient encourir les humains et leur environnement. En 1968, au Japon (syndrome de Yusho), des gens ont consommé de l'huile de riz contaminée par les BPC et les furannes. Un événement semblable impliquant de l'huile de riz contaminée aux BPC et aux furannes est survenu onze ans plus tard en 1979 à Taïwan (syndrome de Yu-Cheng). Ces deux accidents sont assez semblables quant aux symptômes observés (Safe 1984, 1990).

On a observé chez plusieurs d'entre eux des problèmes dermatologiques (chloracné), neurologiques (céphalées, fatigue, paresthésie des membres), respiratoires, hépatiques (perturbation de certains enzymes tels γGT, AST, ALT; hépatomégalie, ictère) et certaines perturba-

tions au niveau du métabolisme des lipides (hypertriglycéridémie et hypercholestérolémie). Les enfants exposés *in utero* à ces toxiques pouvaient également présenter un poids plus petit à la naissance et certains signes d'intoxication (Safe 1984; Gouv. du Canada 1990; Carrier 1991). Plusieurs de ces symptômes ont également été observés chez des travailleurs fortement exposés aux BPC. On soupçonnerait également les personnes intoxiquées à Yusho de présenter une incidence plus élevée de cancers hépatiques. Toutefois, à l'heure actuelle, les études épidémiologiques menées chez des personnes ayant été en contact avec les BPC, dioxines ou furannes ne nous permettent pas de conclure à la présence ou l'absence d'une association entre ces produits et le développement de cancers. (Silberhorn et al. 1990; Carrier 1991).

En 1976, la région de Seveso en Italie a été contaminée par plusieurs substances chimiques, dont la 2,3,7,8,tétrachlorodibenzodioxine (2,3,7,8-TCDD), lors d'une explosion survenue dans une usine de fabrication de trichlorophénol (Fortunati 1985). Cet accident a surtout été étudié pour la contamination environnementale qui s'ensuivit. Des niveaux très élevés de 2,3,7,8-TCDD furent retrouvés chez la faune domestique locale; les lapins étaient particulièrement affectés (Fanelli et al. 1980).

De nombreuses études chez l'animal de laboratoire ont également démontré le potentiel toxique de ces substances. Plusieurs effets ont été observés chez plus d'une espèce animale: perte de poids, atrophie du thymus, atteinte de la réponse immunitaire, hépatotoxicité, chloracné, problème de reproduction et tératogénicité (Safe 1984, 1990). Les BPC, dioxines et furannes peuvent tous produire ces différents symptômes chez l'animal de laboratoire dépendamment de la dose à laquelle ils sont administrés. La réponse de l'animal dépend de l'espèce utilisée, de sa souche, de son âge ou de son sexe. Ainsi les différentes DL50 utilisées pourront varier considérablement. Par exemple, pour la 2,3,7,8-TCDD on a obtenu les valeurs suivantes de DL50 pour les différentes espèces animales (Safe 1990):

cochon d'Inde *(Cavia porcellus)*	0.6 à 2 μg/kg
rat *(Ratus norvegicus)*	22 à 45 μg/kg
poulet *(Gallus gallus)*	25 à 50 μg/kg
singe *(Macaca mulatta)*	70 μg/kg
lapin *(Orycto laguscuniculus)*	115 μg/kg
chien *(Canus domesticus)*	100 à 200 μg/kg
souris *(Mus musculus)*	114 à 284 μg/kg
ouaouaron *(Rana catesbeiana)*	> 1000 μg/kg
hamster *(Mesocricetus auratus)*	1157 à 5000 μg/kg

Les chercheurs se sont intéressés au potentiel cancérigène que ces composés halogénés pouvaient avoir chez les animaux de laboratoire. Les tests de mutagénicité effectués avec des produits amènent de plus en plus la communauté scientifique à considérer que les BPC, dioxines et furannes produisent leurs effets cancérigènes par un mécanisme épigénétique (Carrier 1991). La 2,3,7,8-TCDD est la substance qui possède le plus grand potentiel cancérigène parmi cette classe. Elle peut agir comme inducteur de cancer (hépatocarcinome). En ce qui concerne les BPC, l'induction de cancers du foie chez l'animal n'a été démontré qu'avec les préparations à plus forte teneur en chlore (Aroclor 1260) et à des doses situées près de la dose maximale tolérable. Lorsqu'ils sont associés à des cancérigènes, les BPC, dioxines, furannes peuvent agir soit comme promoteurs s'ils sont administrés après l'initiateur, soit comme inhibiteur s'ils le sont avant (Carrier 1991).

La 2,3,7,8-TCDD aurait, parmi toutes ces substances, une plus grande propension à produire ces effets toxiques. En vérifiant s'il existait un lien entre la structure chimique et l'activité, on s'est aperçu que les composés tétra à hexachlorés substitués en 2,3,7,8 étaient les composés les plus puissants parmi les dioxines et les furannes (Safe 1990; Gouvernement du Canada 1990).

Pour les BPC, les molécules coplanaires possèdent un maximum d'activité. Pour cela elles doivent posséder un atome de chlore à chaque position *para* et au moins deux dans les positions *méta*. Les substitutions en position *ortho* diminuent la coplanarité de la molécule et par le fait même son activité (Safe 1990). (Dans une molécule de BPC les positions *ortho* correspondent à la numérotation 2,6,2',6', les positions *méta* aux numéros 3,5,3',5', et les positions *para* à 4, 4' (voir fig. 1)).

Comme les différents BPC, dioxines et furannes présentent une toxicité qualitativement semblable, plusieurs chercheurs ont pensé à exprimer les doses ou concentrations des différents congénères, en doses "équivalentes" de 2,3,7,8-TCDD. Des "équivalents toxiques" (ou TEF) ont donc été développés pour les différents congénères de BPC, dioxines et furannes. Plusieurs organismes, dont l'OTAN, ont émis leur liste d'équivalents toxiques (North Atlantic Treaty Organization 1988 a, b). Récemment, Safe (1990) a fait une réévaluation des équivalents toxiques pour les dioxines et furannes, et ajoutait les BPC à la liste.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 CAMPAGNE DE TERRAIN

Deux semaines après l'incendie, le Service canadien de la faune (région du Québec) a entrepris en collaboration avec le Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, de faire périodiquement la collection de spécimens de petite faune (détritivores, herbivores, granivores et insectivores) dans la région sinistrée. Ce travail a duré près de trois mois et a permis de capturer quelques 634 spécimens de faune de douze espèces différentes (tableau 1). L'échantillonnage est composé de deux espèces sauvages susceptibles d'être consommées par les chasseurs et les fermiers de la région (Lapin à queue blanche et Pigeon biset) de même que d'une série de petits animaux qui fréquentent les différents habitats du secteur de Saint-Basile-le-Grand. Ce sont le Rat musqué, la Musaraigne cendrée, deux espèces de souris, deux espèces de grenouilles et des vers de terre. L'été suivant le feu, nous avons ajouté des oeufs d'oiseaux de proies (carnivores: Grand-duc d'Amérique, Chouette rayée et Crécerelle d'Amérique), ainsi que de Merle d'Amérique (invertivore) qui ont niché dans la zone d'étude. Le repérage et l'accès à des nids de Crécerelle ont été grandement facilités par l'installation, tôt au printemps, de 30 nichoirs artificiels dans l'ensemble de la zone d'étude. Les espèces choisies sont des résidents permanents relativement sédentaires dans la région d'étude ou des oiseaux migrateurs qui défendent un territoire pendant la période de nidification.

Au départ de l'étude, le dispositif d'échantillonnage comportait 21 stations réparties entre l'intérieur du panache de fumée (P) et de chaque côté, soit à la bordure immédiate (X) ou suffisamment loin (C) du panache pour servir de contrôles (Figure 2). La région couverte s'étendait depuis le site du feu (S) jusqu'à dix kilomètres en direction des vents dominants lors de l'incendie. Chacune des parties de territoire ainsi délimitée a été subdivisée en quatre zones selon la distance qui les sépare de l'entrepôt incendié: la zone A se trouve en deça de 1 km, la zone B entre 1 et 3 km, la zone C entre 3 et 5 km et la zone D entre 5 et 10 km.

Compte-tenu du succès mitigé de la campagne d'échantillonnage et du coût élevé des analyses de résidus dans les tissus animaux, nous avons dû mettre de côté certains échantillons et regrouper la plupart des autres en échantillons composites ("Pools") qui tiennent compte des lieux de capture par rapport au feu et de la quantité de tissus nécessaire pour effectuer les analyses toxicologiques. Au total, 84 "pools" ont été analysés pour les BPC (50 congénères et homologues) et 35 "pools" ont été analysés pour les dioxines (11 congénères et homologues) et les furannes (15 congénères et homologues).

Tableau 1: Bilan de la campagne d'échantillonnage sur le terrain et nombre d'analyses de résidus de BPC, PCDD et PCDF dans les tissus de faune disponibles selon la stratification finale retenue

GUILDE ALIMENTAIRE - CLASSE Espèce (nom scientifique)	Tissu analysé	Nombre de spécimens collectionnés (nombre de stations)			Temps écoulé depuis le feu (mois)	Nombre d'analyses d'échantillons composites (pools)					
						BPC totaux			Dioxines et Furannes		
		Site	Panache	Contrôles		Site	Panache	Contrôles	Site	Panache	Contrôles
DÉTRITIVORES - INVERTÉBRÉS Ver de terre *(Lumbricus spp.)*	Animal entier (à jeûn)	28 (1)	297 (4)	73 (2)	2	1	5	3	1	5	3
HERBIVORES - OISEAUX Pigeon biset *(Columba livia)*	foie		3	5	< 1		1	1			
HERBIVORES - MAMMIFÈRES Rat musqué *(Ondatra zibethica)*	foie	3 (1)	19 (3)	10 (3)	< 1	1	8	3		1	
Lapin à queue blanche *(Sylvilagus floridanus)*	foie		12 (3)		1-4		3			3	
Lapin à queue blanche *(Sylvilagus floridanus)*	muscle		12 (3)		1-4		3			1	
INVERTIVORES - OISEAUX Merle d'Amérique *(Turdus migratorius)*	oeuf	4 (1)	19 (4)	24 (4)	9-10	1	4	2		3	1
OMNIVORES - MAMMIFÈRES RONGEURS Rat surmulot *(Rattus norvegicus)*	animal entier		1 (1)		< 1		1				
Souris commune *(Mus musculus)*	animal entier	2 (1)	15 (2)	3	1-3	2	4	1		1	1
Souris sauteuse des champs *(Zapus hudsonicus)*	animal entier	2 (1)	2 (1)	3	< 1			1	1	1	1
Souris sauteuse des bois *(Napacozapus insignis)*	animal entier			1	3			1			
INSECTIVORES - AMPHIBIENS Grenouille verte *(Rana clamitans)*	animal entier		15 (2)	1	< 1		2	1		2	1
Grenouille léopard *(Rana pipiens)*	animal entier		27 (2)	19 (2)	< 1		3	2		3	2
INSECTIVORES - MAMMIFÈRES Musaraigne cendrée *(Sorex cinereus)*	animal entier		6 (2)		1-3		3	1		2	
CARNIVORES - OISEAUX DE PROIES DIURNES Busard St-Martin *(Circus cyaneus)*	oeuf		1 (1)	1 (1)	9		1	1			
Crécerelle d'Amérique *(Falco sparverius)*	oeuf		7 (4)	10 (3)	9-10		4	1		1	1
Crécerelle d'Amérique *(Falco sparverius)*	foie		5 (1)		11		1				
CARNIVORES - OISEAUX DE PROIES NOCTURNES Grand-duc d'Amérique *(Bubo virginianus)*	oeuf		2 (2)	1 (1)	7		2	1		1	1
Chouette rayée *(Strix varia)*	oeuf		1		9		1				

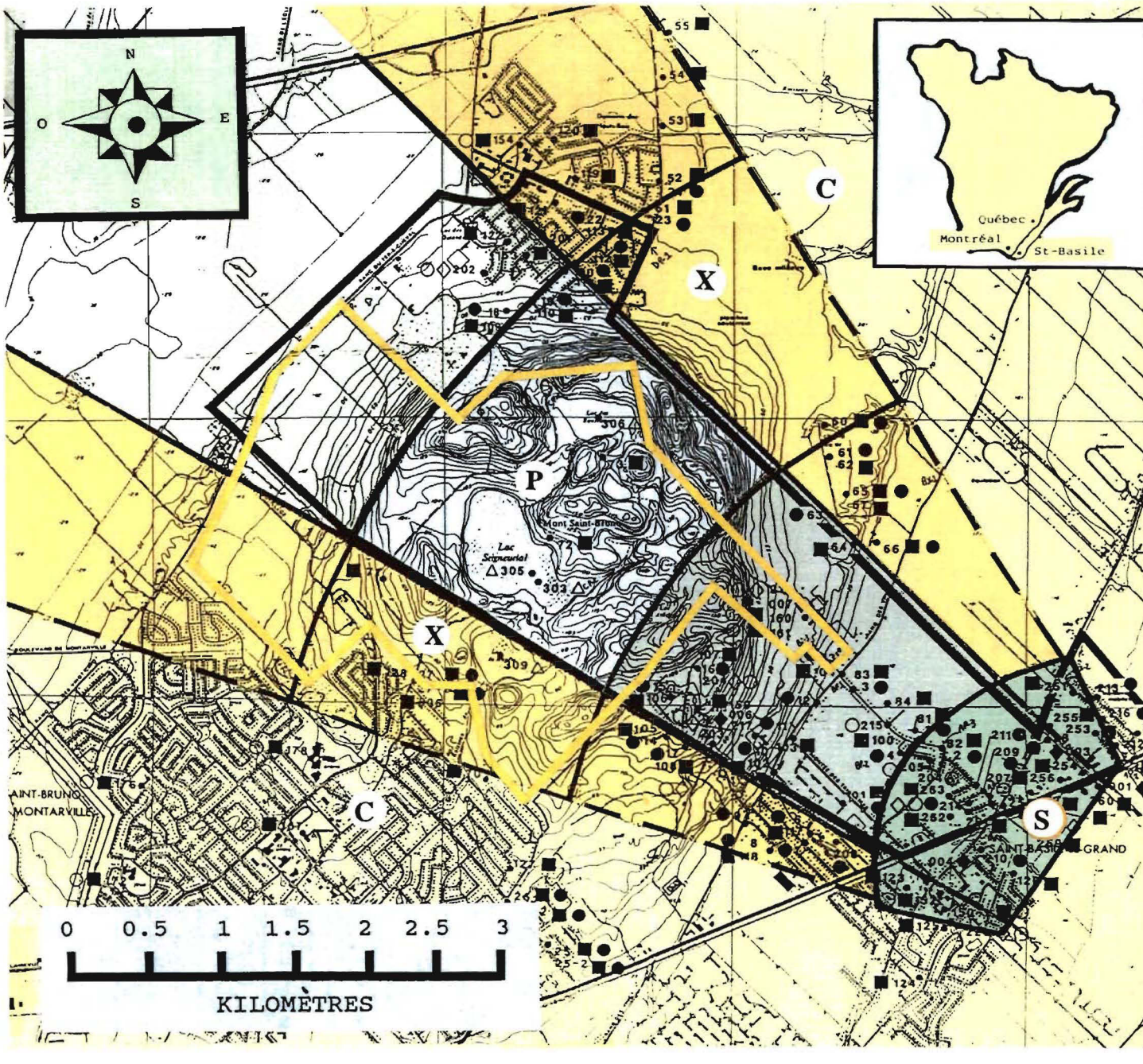


Figure 2: Carte géographique de la région de l'incendie de l'entrepôt de BPC de St-Basile le Grand

Légende:

Zone d'étude: Site du feu (S); Panache de fumée (P, en bleu); Bordure du panache (X, en jaune foncé); Zone contrôle (C, en jaune pâle).

Les carrés et les cercles pleins correspondent aux stations d'échantillonnage de l'air et des sols.

Les limites du Parc provincial du Mont Saint-Bruno sont indiquées au moyen d'un trait jaune.

3.2 ANALYSES DE LABORATOIRE

Les échantillons récoltés sur le terrain ont été placés dans des pots rincés à l'hexane dont le couvercle était recouvert de papier d'aluminium. Ces échantillons ont été par la suite congelés jusqu'à l'analyse chimique. La liste des échantillons analysés et des analyses chimiques effectuées est présentée au tableau 1. Les tissus n'ayant pas servis aux analyses chimiques sont conservés dans la banque de tissus du Centre national de recherche faunique (CNRF; SCF-Hull). Avant d'être analysé, chaque échantillon a été homogénéisé à l'aide d'un Sorvall Omnimiser.

Trois laboratoires différents ont effectué les analyses chimiques. Le CNRF a pour sa part fait les analyses de composés organochlorés et de congénères de BPC dans les tissus des animaux à sang chaud. Il a aussi fait quelques analyses de dioxines et furannes. Le Ministère de l'Environnement du Québec (Menviq) a analysé les BPC totaux, l'Aroclor 1242 et les dioxines et furannes dans les tissus des animaux à sang froid, alors qu'une firme privée, Zenon Environmental Inc. a effectué les analyses de dioxines et furannes dans les tissus des animaux à sang chaud. Le contrôle de qualité entre les différents laboratoires a été assuré par le CNRF.

3.2.1 Composés organochlorés (OC) et biphényles polychlorés (BPC)

Au total 22 composés organochlorés et 41 congénères de BPC ont été analysés. La classification des congénères de BPC utilisée est celle adoptée par l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (IUPAC) (Ballschimiter et Zell 1980). La liste de tous les composés recherchés est présentée à l'annexe 1.

La méthode d'analyse chimique utilisée par le CNRF est décrite dans Won et Turle (1987). En résumé, les lipides et les composés biogéniques sont extraits sur colonne de verre avec 50% de CH_2Cl_2 (V/V). Ils sont par la suite séparés en trois fractions sur colonne de Florisil. Ces trois fractions comprennent différents composés organochlorés. La fraction 1 contient environ 10% de p,p'-DDT, tout le p,p'-DDE, les chlorobenzènes, les octachlorostyrènes, le mirex et le photo-mirex, les BPC et approximativement 50% du transnonachlore. La fraction 2 contient les BHC, l'oxychlordane, le cis et le trans-chlordane, le p,p'-DDD, le cis-nonachlore et 50% du trans-nonachlore. La fraction 3 contient l'heptachlore et le dieldrine. Les analyses

ont été effectuées en chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire DB-5 avec capture d'électron.

3.2.2 Dioxines (PCDD) et Furannes (PCDF)

La forte quantité de tissus nécessaire pour ce type d'analyse (25 g) et leur coût nous ont amenés à former des échantillons composites plus grands.

La méthode d'analyse chimique utilisée par le Centre national de recherche faunique est décrite dans Norstrom et Simon (1989). En résumé, une extraction est faite où les lipides et les composés biogéniques sont enlevés par chromatographie par perméation sur gel (CPG); la séparation des PCDD et PCDF des autres composés organochlorés est effectuée par chromatographie sur carbone, alumine et florisil. Le dosage des PCDD et PCDF est effectué sur chromatographie à phase gazeuse/spectrométrie de masse à l'aide d'un appareil Hewlett-Packard 5987B GC/MS ainsi que d'une colonne capillaire de 30 m de type DB-5.

3.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Comme il a été dit à l'introduction, la présente étude vise à vérifier si la faune locale a subi une contamination en BPC, dioxines ou furannes suite à l'incendie. Elle a également pour objectif de dégager, s'il y a lieu, les patrons de contamination des animaux prélevés en fonction des facteurs suivants: le lieu de capture par rapport au feu, la position de l'animal dans la chaîne trophique et le temps écoulé entre le feu et la capture.

Le premier objectif peut être atteint en comparant les concentrations moyennes observées sous le panache de fumée et à l'extérieur de celui-ci. Puisque les niveaux de concentration peuvent aussi être reliés aux trois facteurs énoncés ci-haut, la comparaison doit tenir compte de leur effet potentiel.

Or on note que les oeufs d'oiseaux de proie et de Merle d'Amérique n'ont été recueillis que lors de l'été suivant le feu, alors que la plupart des autres espèces ont été capturées beaucoup plus tôt. Puisqu'au sein de l'échantillonnage recueilli, les oiseaux de proie sont précisément les animaux situés au sommet de la chaîne trophique, les effets du temps et de la position de l'espèce dans la chaîne trophique sur la concentration des contaminants se confondent. En fait, seules quelques espèces animales représentées par un faible nombre d'individus ont eu des dosages à des temps différents, et ce seulement

pour les BPC. (Une évaluation qualitative sommaire de l'effet du temps sur les concentrations de BPC de ces individus est présentée à la section 4.7). C'est donc dire qu'à toutes fins utiles, en tenant compte de la variabilité des concentrations associée à l'espèce, on tient compte par le fait même de la variabilité reliée au temps. Dorénavant, lorsque l'on parlera de l'effet de l'espèce sur les concentrations, il faudra donc sous-entendre un effet combiné et indissociable du temps et de l'espèce.

De plus la variation des concentrations entre les espèces animales peut ne pas être uniquement due à leur position dans la chaîne trophique. Les analyses de BPC, dioxines et furannes ont été faites dans des tissus différents (foie, animal entier, oeuf) selon les espèces animales. Les contenus lipidiques de ces animaux ou tissus pouvaient également varier et les résultats des analyses n'ont pas été corrigés par rapport à ces contenus.

Pour chacun des contaminants à l'étude, on a eu recours à un modèle d'analyse de variance factoriel à deux facteurs (zone de capture et espèce) pour dégager les patrons recherchés. Ce modèle permet de comparer les concentrations moyennes des zones de capture tout en tenant compte de l'influence possible de l'espèce animale (effet espèce-temps) sur cette comparaison.

Selon la distribution de fréquences des observations recueillies, on a utilisé soit un modèle paramétrique, soit un modèle non paramétrique. De plus, comme on s'intéresse à l'écart relatif (plutôt qu'absolu) des concentrations entre le panache et la zone contrôle, les analyses de variance paramétriques ont été effectuées sur la transformation logarithmique des concentrations plutôt que sur les données brutes. Par ailleurs, dans le cas des dioxines et furannes, aucune trace de contamination n'a été détectée chez un bon nombre d'animaux. On a alors également effectué un test de comparaison du panache et de la zone quant à la proportion d'échantillons ("pools") contaminés. Le seuil de signification des tests statistiques est fixé à 5%.

Une des contraintes rencontrées, lors du traitement statistique des données, tient au faible nombre d'échantillons de chaque espèce animale dans chaque zone (S, AP, BP, BL, etc.). De fait, chaque espèce animale a des exigences écologiques particulières qui font qu'elle peut ne pas être présente dans chaque zone (les habitats étant différents) et, quand elle y est, il n'y a en général qu'un seul résultat de dosage puisque nous avons dû recourir à des échantillons composites pour l'analyse des résidus. Il s'avère donc nécessaire d'effectuer des regroupements d'échantillons au niveau des espèces et des zones de capture en vue du traitement statistique des données.

Pour faire un regroupement valable des données analytiques au niveau des espèces animales, les animaux d'un groupe doivent appartenir à la même guilde alimentaire, faire partie de la même classe animale (ex. mammifères, oiseaux, etc.) et avoir le même habitat (ex. aquatique, terrestre) ou genre de vie (ex. résident ou migrateur). À partir de ces critères, nous avons pu regrouper:

- la Grenouille verte et la Grenouille léopard,
- la Souris commune et la Souris sauteuse des champs,
- le Grand-duc d'Amérique et la Chouette rayée.

Pour ce qui est des lieux de capture, nous n'avons retenu que deux zones pour la comparaison statistique, soit l'intérieur (P) et l'extérieur (zone contrôle) du panache. De plus, seules les espèces ou groupes d'espèces présents dans chacune des deux zones sont conservés dans l'analyse. Le site du feu (S) n'est pas utilisé dans ces comparaisons, car seulement cinq espèces animales y ont été échantillonnées et dans chaque cas pour un seul échantillon composite. Soulignons de plus, que la contamination peut théoriquement y varier beaucoup dû à l'effet de drainage de l'eau utilisée pour éteindre l'incendie.

Les captures effectuées dans la zone AX, ayant toutes été faites tout près du panache de fumée, sont considérées comme appartenant à ce dernier. Par contre, celles effectuées dans la zone BX, ayant toutes été faites très près de la zone contrôle, sont regroupées dans la zone contrôle. Cela permet de minimiser la variabilité des concentrations à l'intérieur de chacune des zones puisque les limites du panache ont été définies d'une manière approximative et que les captures n'ont pas été faites uniformément sur le terrain à l'intérieur des zones. Les regroupements sont effectués pour toutes les espèces, sauf le rat musqué qui est un mammifère semi-aquatique vivant toujours près d'un cours d'eau. Sa contamination viendra donc plus du terrain drainé en amont du cours d'eau qu'il habite, que de la proximité de la zone contaminée comme telle.

De manière à déterminer quels sont les homologues de BPC, furannes et dioxines ayant été les plus impliqués dans la contamination, on a également eu recours à un modèle d'analyse de variance à deux facteurs.

L'étude des congénères a été faite en vérifiant, pour chaque espèce animale, le pourcentage que représente chaque congénère par rapport au total. La moyenne de ces pourcentages a ensuite été faite, pour connaître quels congénères étaient les plus importants quantitativement.

Pour faire l'évaluation toxicologique de ces données, nous avons utilisé le système d'équivalents toxiques, tel que celui publié en 1990 par S. Safe. Ces valeurs sont presque identiques à celles mises de l'avant par l'OTAN (1988 a, b) en ce qui concerne les dioxines et les furannes, mais l'on y retrouve en plus des valeurs pour les BPC. L'utilisation d'équivalents toxiques pour les BPC ne faisant pas l'unanimité dans le monde scientifique, nous avons calculés premièrement les équivalents en 2,3,7,8-TCDD pour les dioxines et les furannes, et par la suite nous y avons ajouté les valeurs des BPC.

Le traitement statistique des données a été effectué à l'aide du logiciel SAS.

4. RÉSULTATS

4.1 BPC TOTAUX ET HOMOLOGUES

Les concentrations moyennes observées de BPC totaux pour chaque espèce animale et chaque zone retenues se retrouvent au tableau 2. Pour toutes les espèces animales, les concentrations moyennes observées au site de l'incendie ou sous le panache de fumée sont supérieures à celles obtenues dans la zone contrôle. Ce sont le Grand-duc d'Amérique et la Chouette rayée (pris ensemble) et la Crécerelle d'Amérique chez qui on observe les concentrations moyennes les plus élevées avec respectivement 973 et 572 μg/kg sous le panache. Ils sont suivis par le Merle d'Amérique avec une moyenne de 370 μg/kg sous le panache de fumée. Pour les autres espèces animales, mis à part le lapin à queue blanche, les concentrations moyennes de BPC observées sous le panache de fumée se situent aux environs ou sont inférieures à 100 μg/kg. Rappelons que l'on ne peut associer les concentrations observées à l'espèce étudiée seulement. Il faut aussi sous-entendre un effet possible du temps écoulé entre l'incendie et la capture.

Nous retrouvons également au tableau 2 le contenu lipidique (%) des échantillons analysés. Nous voyons que même si les espèces animales et les tissus étaient différents, les pourcentages de lipides sont en général compris dans un intervalle de 2 à 6% et aucune espèce se distingue de façon notable des autres. Nous pouvons donc conclure que le fait de ne pas avoir corrigé les résultats d'analyses pour le contenu lipidique, affecte très peu l'interprétation des données.

Nous pouvons voir à l'annexe 2 les histogrammes de la concentration de BPC totaux et des homologues pour chaque zone (site, panache, contrôle) et pour chaque espèce anima-

le. Ces histogrammes nous laissent entrevoir que les concentrations des homologues contenant 5 à 9 atomes de chlore sont plus élevées chez les animaux recueillis sous le panache de fumée que chez ceux recueillis dans la zone contrôle.

Suivant le critère établi à la section 3.3, les espèces animales retenues pour l'analyse de variance sont le Pigeon biset, le Merle d'Amérique, la Crécerelle d'Amérique, les hiboux, la Souris, le Rat musqué et la Musaraigne cendrée.

D'abord, une analyse en composantes principales effectuée sur les concentrations des homologues de BPC a permis de discerner une forte corrélation entre les homologues contenant 5 à 9 atomes de chlore inclusivement. De manière à minimiser le nombre de tests statistiques, pour ces homologues, l'analyse de variance a donc été effectuée de façon globale sur la somme des concentrations.

L'ajustement des modèles d'analyse de variance au logarithme des concentrations de BPC totaux et des homologues n'a révélé aucune interaction significative entre la zone et l'espèce au seuil de signification de 5%. Cela signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les espèces à l'étude quant à l'écart relatif entre les concentrations de la zone contrôle et celles du panache de fumée, et ce, tant pour les BPC totaux que pour ses homologues. Notons que la transformation logarithmique fait en sorte que les hypothèses du modèle soient satisfaites.

Les résultats des analyses de variance effectuées se trouvent au tableau 3. Pour chacun des produits, un premier test vise à comparer les concentrations du panache et de la zone contrôle. Un second test permet de vérifier s'il existe des différences de concentration entre les espèces (c'est-à-dire s'il y a au moins une espèce significativement différente des autres).

Concentrations moyennes (minimum, maximum) de BPC, dioxines et furannes dans les échantillons de faune prélevés pour l'étude

Espèces	Zone	Nombre de dosages	Lipide (%)	BPC (µg/kg)	Dioxines (ng/kg)	Furannes (ng/kg)
Ver de terre (animal entier)	S P C	1 4 3	0,69 1,20 ---	41,95 43,89 (7,50-88,05) 7,50 (7,50-7,50)	ND 21,50 (ND-72,00) 155,67 (ND-301,00)	ND 17,25 (ND-69,00) 30,33 (ND-91,00)
Pigeon biset (foie)	P C	1 1	3,45 2,96	2,90 1,65	--- ---	--- ---
Rat musqué (foie)	S P C	1 6 3	3,29 1,92 à 3,15 2,36 à 2,69	182,20 28,30 (5,75-73,00) 5,32 (3,60-8,40)	--- 14,00* ---	--- 28,00* ---
Lapin à queue blanche (foie[1] et muscle[2])	P[1] P[2]	2 2	2,75 et 4,28 0,48 et 0,82	217,68 (68,75-366,60) 45,58 (28,15-63,00)	63,25 (24,50-102,00) ND	1198,50 (643,00-1754,00) ---
Merle d'Amérique (oeuf)	S P C	1 3 2	5,60 4,86 à 5,37 5,51 et 5,92	155,55 369,52 (185,20-593,05) 140,65 (94,40-186,90)	--- 62,70 (47,00-82,00) 63,00*	--- 31,00 (ND-57,00) ND*
Souris [Souris commune, Souris sauteuse des champs, (animal entier)]	S P C	1 2 2	6,98 5,64 et 6,17 1,81 et 3,26	184,80 81,28 (58,00-104,55) 37,50*	ND 117,50 (45,00-190,00) 24,50 (13,00-36,00)	ND 25,00 (10,00-40,00) ND
Grenouille [Grenouille verte, Grenouille léopard, (animal entier)]	P C	6 3	2,80 à 3,22 ---	93,86 (50-112,15) 7,50	108,20 (ND-404,00)** 57,00 (27,00-108,00)	95,40 (ND-249,00)** ND
Musaraigne cendrée (animal entier)	S P C	1 4 2	4,04 3,49 à 4,62 3,72 et 5,23	402,30 110,51 (32,55-315,30) 30,75 (14,80-46,70)	--- --- ---	--- --- ---
Crécerelle d'Amérique (oeuf)	P C	3 1	6,00 à 7,54 6,36	572,42 (470,70-689,05) 160,60	36,00 29,00	27,00 6,00
Hiboux [Grand-duc d'Amérique et Chouette rayée (oeuf)]	P C	3 1	2,57 à 6,09 4,69	972,57 (421,25-1,559,40) 708,00	131,00* 6,00	11,00* 4,00

Zone: S= site; P= panache; C= contrôle *: 1 seul dosage utilisé pour le calcul **: 5 dosages utilisés pour le calcul
ND = non détectable

Tableau 3 Comparaisons des zones et des espèces quant aux concentrations moyennes de BPC (modèle d'anova à deux facteurs sur les concentrations logarithmiques).

Produit - source de variation	Statistique F	Seuil observé
BPC totaux		
zone	$F_{1,25} = 15,61$	0,0006
espèce	$F_{6,25} = 24,91$	0,0001
BPC 3 atomes de chlore		
zone	$F_{1,25} = 7,18$	0,0128
espèce	$F_{6,25} = 17,93$	0,0001
BPC 4 atomes de chlore		
zone	$F_{1,25} = 2,83$	0,1048 (NS)
espèce	$F_{6,25} = 20,38$	0,0001
BPC 5 à 9 atomes de chlore		
zone	$F_{1,25} = 18,74$	0,0002
espèce	$F_{6,25} = 18,21$	0,0001

NS = non significatif

Ces analyses révèlent d'abord que, mis à part les homologues à 4 atomes de chlore, les concentrations de BPC totaux et des homologues sont significativement plus élevées sous le panache de fumée que dans la zone contrôle. Si l'on peut supposer qu'il n'y a pas d'autres facteurs susceptibles d'engendrer cette différence, alors on peut croire que l'incendie a eu pour effet d'augmenter les concentrations de BPC dans la faune locale. Rappelons que l'écart relatif entre la zone contrôle et le panache est le même pour toutes les espèces animales. Nous retrouvons au tableau 4 l'estimation du rapport des concentrations moyennes du panache et de la zone contrôle. L'intervalle de confiance présenté détermine les bornes à l'intérieur desquelles le vrai rapport des concentrations de BPC devrait se trouver pour l'ensemble des espèces de faune locale visées par cette étude (avec un niveau de confiance de 95%).

Tableau 4 Estimation du rapport des concentrations moyennes de BPC du panache et celles de la zone contrôle.

Produit	moy(P)/moy(C)	Intervalle de confiance à 95%
BPC totaux	3.20	1,8 - 5,7
BPC 3 atomes de chlore	2.22	1,3 - 4,0
BPC 4 atomes de chlore*	1.34	1,0 - 1,9
BPC 5 à 9 atomes de chlore	5.79	2,6 - 12,8

* Écart non significatif au seuil 5%.

Ainsi, avec un niveau de confiance de 95%, on estime que les concentrations moyennes de BPC totaux sont quelque part entre 1,8 et 5,7 fois plus élevées chez les animaux exposés à la fumée de l'incendie que chez ceux du groupe contrôle. Pour les homologues à 3 atomes de chlore, cet écart se situerait entre 1,3 et 4,0 fois plus. Pour ce qui est des homologues de BPC contenant 5 à 9 atomes de chlore, les animaux contaminés possèdent des concentrations moyennes que l'on estime être entre 2,6 et 12,8 fois plus élevées que celles des animaux contrôles. Les homologues de BPC contenant 4 atomes de chlore n'auraient pas subi d'accroissement significatif. Notons que les intervalles présentés sont longs et ainsi l'estimation du rapport des concentrations moyennes très imprécise. Cela est relié à la forte variabilité des concentrations observées pour une espèce et une zone données, de même qu'au faible nombre d'échantillons disponibles pour l'analyse.

De manière à déterminer quels sont les homologues de BPC ayant été les plus impliqués dans la conbtamination, on les compare quant aux écarts relatifs de concentrations entre le panache de fumée et la zone contrôle. Ces comparaisons sont faites à l'aide du modèle d'analyse de variance décrit précédemment mais ajusté cette fois-ci aux différences de concentrations entre les homologues concernés. Nous pouvons voir au tableau 5 que l'écart relatif des concentrations pour les homologues contenant 5 à 9 atomes de chlore est très différent de celui des homologues à 4 atomes de chlore. Les comparaisons des autres groupes d'homologues ne permettent pas de conclure avec force évidence que les écarts sont différents (seuil observé à la limite du seuil de signification 0,05).

Tableau 5: Analyse de variance des contrastes entre les homologues pour la zone

Homologue	Statistique F	Seuil observé
3 chlores vs 5 à 9 chlores	$F_{1,25} = 4,35$	0,0474
4 chlores vs 5 à 9 chlores	$F_{1,25} = 18,06$	0,0003
3 chlores vs 4 chlores	$F_{1,25} = 4,05$	0,0550

En plus de l'écart des concentrations moyennes observées entre la zone sous le panache et la zone contrôle, l'analyse de variance révèle qu'il existe une différence significative entre les concentrations de certaines espèces, et ce pour chacun des produits de BPC. La Figure 3 présente les patrons de contamination observés en fonction de l'espèce. Notons que les comparaisons ont été effectuées avec un petit nombre d'échantillons (provenant par contre de plusieurs individus) et rappelons que l'espèce représente ici une combinaison espèce-temps de capture. L'interprétation de ces résultats doit donc être faite avec prudence.

Figure 3: Patrons de contamination par les BPC en fonction des espèces (comparaisons multiples à l'aide de la méthode des "Least-Squares Means").

N.B. Les concentrations sont dans un ordre croissant de gauche à droite. Les lignes relient les espèces pour lesquelles il n'y a pas de différence statistiquement significative.

a) BPC totaux

P R S M T K D

b) BPC 3 atomes de chlore

R P S M T D K

c) BPC 4 atomes de chlore

P R S M D T K

d) BPC 5 à 9 atomes de chlore

P R S M T K D

P = Pigeon biset R = Rat musqué S = souris
M = Musaraigne cendrée T = Merle d'Amérique K = Crécerelle d'Amérique
D = Grand-duc d'Amérique et Chouette rayée

On observe que les patrons de contamination par les BPC sont semblables pour tous les produits étudiés. De façon générale, deux groupes semblent se distinguer quant aux niveaux de concentrations, soit celui des mammifères et celui des oiseaux (Merle d'Amérique, Crécerelle d'Amérique et Grand-duc et Chouette rayée) qui ont des concentrations de BPC significativement plus élevées. Rappelons qu'il y a un effet confondant du temps, car contrairement aux mammifères et au pigeon biset où l'échantillonnage a eu lieu en dedans de 2 mois après le feu, le prélèvement des oeufs d'oiseaux s'est fait le printemps suivant (8 à 10 mois plus tard). Il est donc impossible d'attribuer la différence observée à l'espèce ou au temps de capture seulement. Pour cette raison et pour celles mentionnées précédemment, on ne pousse pas plus loin l'interprétation de ces résultats.

4.2 DIOXINES TOTALES ET HOMOLOGUES

Les concentrations moyennes observées de dosages de dioxines totales par zone et par espèce se retrouvent au tableau 2. Nous voyons que dans certains cas nous n'avons pas détecté la présence de dioxines entre autre pour les deux seuls dosages faits sur les prélèvements effectués sur le site de l'incendie. Les concentrations moyennes observées sont toutes inférieures à 200 ng/kg et la majorité se situe même en dessous de 100 ng/kg. Pour chaque espèce animale aucun homologue de dioxines contenant 4 ou 5 atomes de chlore n'a été détecté chez aucune espèce animale. L'analyse de variance a été faite uniquement sur les homologues à 6, 7 ou 8 atomes de chlore en plus des dioxines totales. Six espèces animales ayant des résultats mesurables de dosage de dioxine dans la zone sous le panache de fumée et dans la zone contrôle, ont servi à faire l'analyse de variance. Ce sont le ver de terre, les grenouilles, le Merle d'Amérique, la Crécerelle d'Amérique, les hiboux et les souris.

Les résultats de l'analyse de variance effectuée sur les rangs sont présentés au tableau 6. Un modèle non paramétrique a été choisi à cause de la présence de plusieurs échantillons ayant des concentrations non détectables de dioxines. Aucune interaction entre la zone et l'espèce n'a été détectée au seuil de signification de 5%. Le tableau 7, nous présente un test de comparaison des proportions d'échantillons contaminés (échantillons où l'on a détecté des dioxines) entre le panache et la zone contrôle, pour toutes les espèces mises ensemble. Le test statistique utilisé est un test exact de Fisher unilatéral sur un tableau de fréquences.

Tableau 6 Comparaison des zones et des espèces quant aux concentrations moyennes de dioxines (modèle d'anova non-paramétrique à deux facteurs).

Produit - source de variation	Statistique F	Seuil observé
Dioxines totales		
zone	$F_{1,20} = 0,03$	0,8751 N.S.
espèces	$F_{5,20} = 0,25$	0,9326 N.S.
Dioxines 6 atomes de chlore		
zone	$F_{1,20} = 1,59$	0,2217 N.S.
espèce	$F_{5,20} = 24,91$	0,0001 N.S.
Dioxines 7 atomes de chlore		
zone	$F_{1,20} = 0,00$	0,9452 N.S.
espèce	$F_{5,20} = 0,77$	0,5837 N.S.
Dioxines 8 atomes de chlore		
zone	$F_{1,21} = 0,32$	0,5761 N.S.
espèce	$F_{5,21} = 0,66$	0,6609 N.S.

N.S.: non significatif

Tableau 7 Comparaison des proportions d'échantillons contaminés entre le panache et la zone contrôle pour les dioxines (test de Fisher unilatéral)

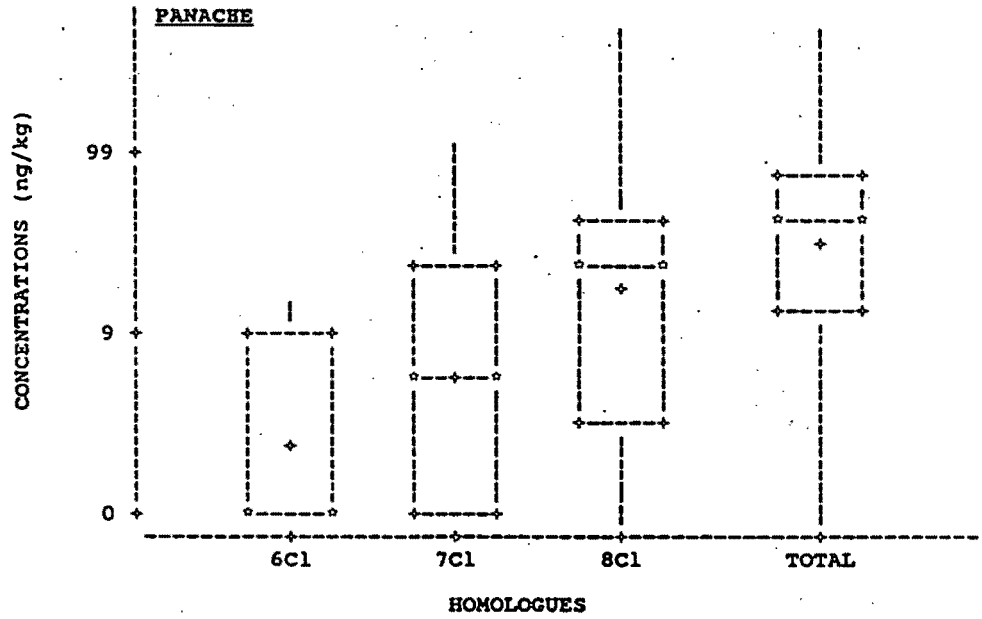
Produits	Proportions d'échantillons contaminés		p
	panache	contrôle	
Dioxines totales	0,82	0,91	0,88 N.S.
Dioxines 6 atomes de chlore	0,47	0,27	0,26 N.S.
Dioxines 7 atomes de chlore	0,65	0,55	0,44 N.S.
Dioxines 8 atomes de chlore	0,82	0,82	0,67 N.S.

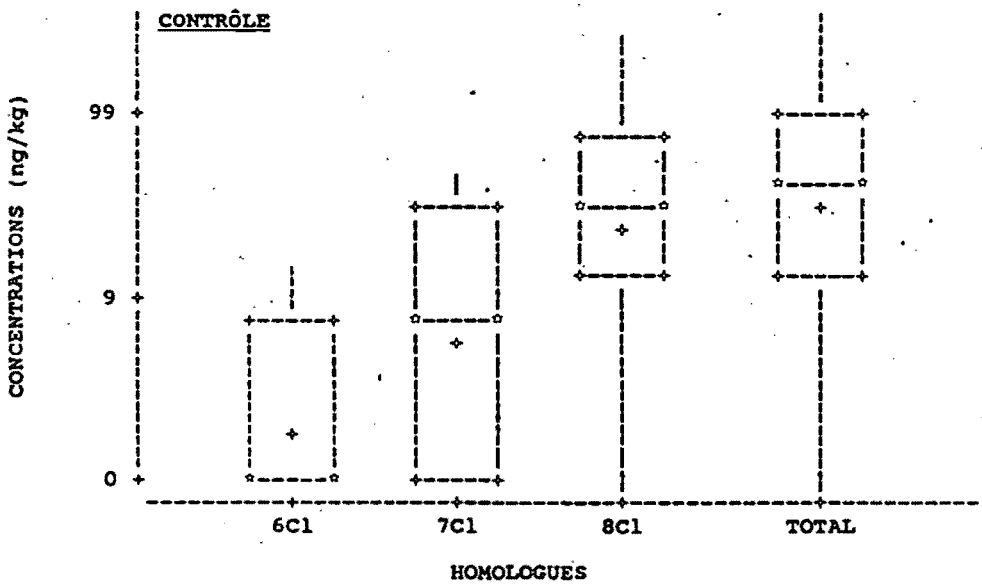
N.S.: non significatif

L'analyse de variance effectuée sur les rangs des concentrations ne montre aucune différence statistiquement significative entre les concentrations de dioxines de la zone située sous le panache de fumée et celle de la zone contrôle. Le test de comparaison des proportions d'échantillons contaminés va dans le même sens, puisqu'on ne peut démontrer qu'il y a plus d'échantillons ayant des concentrations détectables de dioxines sous le panache que dans la zone contrôle. Les observations recueillies ne supportent donc pas l'hypothèse voulant que l'incendie de Saint-Basile ait eu un effet en regard de la contamination de la faune locale par les dioxines. Cette absence de différence entre la zone sous le panache de fumée et la zone contrôle se reflète dans la représentation en diagrammes-boîtes ("box plot") de la figure 4.

L'analyse de variance n'a détecté aucune différence statistiquement significative pour les concentrations moyennes de dioxines entre les espèces sauf pour les dioxines contenant 6 atomes de chlore.

Figure 4 DISPERSION DES CONCENTRATIONS DES HOMOLOGUES DE DIOXINES POUR LA ZONE SOUS LE PANACHE DE FUMÉE ET LA ZONE CONTRÔLE





NOTES:

- Les concentrations sont présentées selon une échelle logarithmique. Étant donné la présence d'observations nulles, toutes les concentrations ont été haussées de 1 ng/kg avant le passage à l'échelle logarithmique.

- Les bordures inférieures et supérieures de la boîte sont situées aux 25ème et 75ème percentiles de l'échantillon. La ligne horizontale centrale et le signe plus sont respectivement situés à la médiane et à la moyenne des observations recueillies. Les bandes verticales s'étendent à l'extérieur de la boîte aussi loin que les données elles-mêmes, à une distance d'au plus 1.5 écart interquartile (75e p.-25e p.). Les observations se situant au-delà de ces limites sont identifiées par un astérisque.

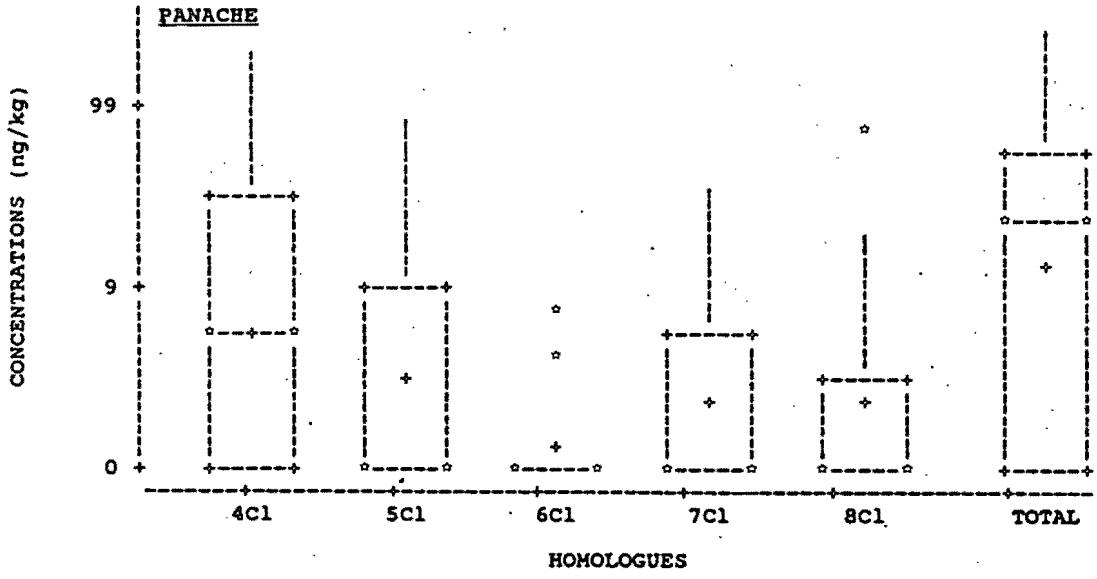
4.3 FURANNES TOTAUX ET HOMOLOGUES

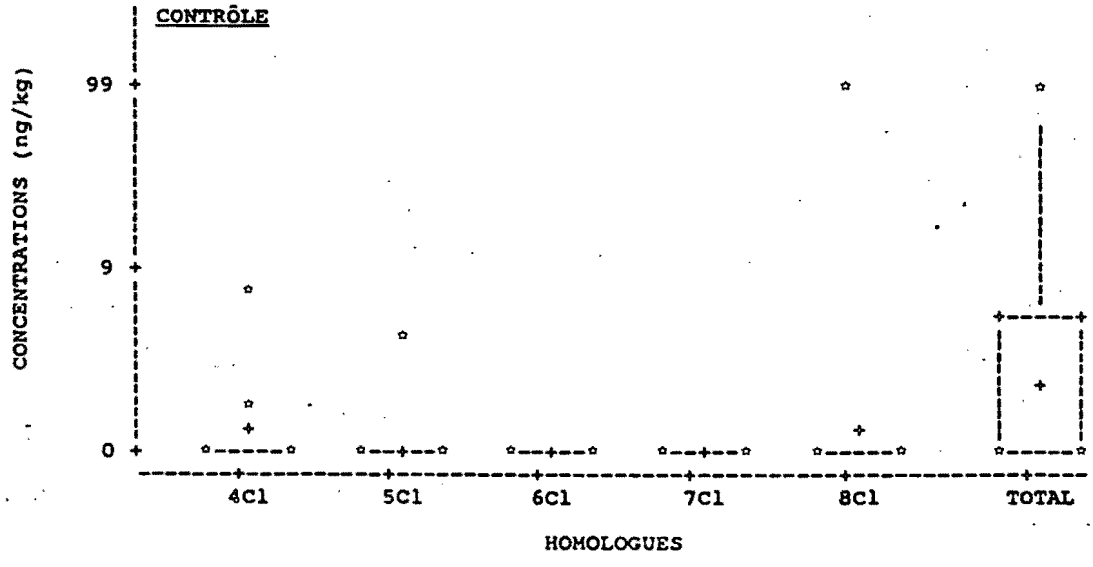
Les concentrations moyennes observées de furannes totaux pour chaque espèce animale et pour chaque zone se retrouvent au tableau 2. Mis à part le Lapin à queue blanche, les concentrations moyennes sont toutes inférieures à 100 ng/kg. Chez trois espèces animales (Merle d'Amérique, petits rongeurs (3 espèces), grenouille (2 espèces)) aucun furanne n'a été détecté dans la zone contrôle. Le Lapin à queue blanche quant à lui présente une concentration moyenne de furannes totaux, dans le foie, beaucoup plus élevée que les autres espèces animales: 1198,50 ng/kg. Il est malheureusement impossible de dire si ces résultats élevés sont dus à l'incendie ou s'ils sont reliés à l'espèce animale, vu qu'il n'y a pas eu d'animaux contrôles échantillonnés.

Pour l'analyse de variance, nous avons utilisé les mêmes espèces animales que pour les dioxines, c'est-à-dire le Ver de terre, les grenouilles, le Merle d'Amérique, la Crécerelle d'Amérique, les hiboux et les souris. Une analyse de variance non paramétrique a été effectuée pour les furannes totaux et les homologues à 4, 5, 6, 7 et 8 atomes de chlore. Les dosages des différents homologues de furannes présentaient plusieurs concentrations non détectables, en particulier dans la zone contrôle. Ceci est bien démontré par la présentation graphique ("box plot") des distributions des valeurs de concentrations des différents homologues et des furannes totaux pour le panache et la zone contrôle, se trouvant à la figure 5. Bien que les médianes des homologues à 5, 6, 7 et 8 atomes de chlore se situent au seuil de détection sous le panache comme dans la zone contrôle, nous constatons que la distribution est très peu étendue dans ce dernier cas comparativement au panache.

Les résultats de l'analyse de variance effectuée sur les rangs des concentrations se trouvent au tableau 8. Pour toutes ces analyses, l'effet de l'interaction entre la zone et l'espèce n'est pas statistiquement significatif au seuil 5%. Pour compléter l'analyse de variance, un test de comparaison des proportions d'échantillons contaminés (concentrations supérieures au seuil de détection) entre le panache et la zone contrôle a été réalisé pour l'ensemble des espèces. Le test statistique utilisé est un test exact de Fisher unilatéral sur un tableau de fréquences. Les résultats se trouvent au tableau 9.

Figure 5 DISPERSION DES CONCENTRATIONS DES HOMOLOGUES DE FURANNES POUR LA ZONE SOUS LE PANACHE DE FUMÉE ET LA ZONE CONTRÔLE





NOTES:

- Les concentrations sont présentées selon une échelle logarithmique. Étant donné la présence d'observations nulles, toutes les concentrations ont été haussées de 1 ng/kg avant le passage à l'échelle logarithmique.

- Les bordures inférieures et supérieures de la boîte sont situées aux 25ème et 75ème percentiles de l'échantillon. La ligne horizontale centrale et le signe plus sont respectivement situés à la médiane et à la moyenne des observations recueillies. Les bandes verticales s'étendent à l'extérieur de la boîte aussi loin que les données elles-mêmes, à une distance d'au plus 1.5 écart interquartile (75e p.-25e p.). Les observations se situant au-delà de ces limites sont identifiées par un astérisque.

Tableau 8 Comparaison des zones et des espèces quant aux concentrations moyennes de furannes (modèle d'anova non paramétrique à deux facteurs).

Produit - source de variation	Statistique F	Seuil observé
Furannes totaux		
zone	$F_{1,20} = 5,94$	0,0243
espèce	$F_{5,20} = 0,33$	0,8895 N.S
Furannes 4 atomes de chlore		
zone	$F_{1,20} = 6,75$	0,0172
espèce	$F_{5,20} = 1,98$	0,1259 N.S.
Furannes 5 atomes de chlore		
zone	$F_{1,20} = 5,60$	0,0282
espèce	$F_{5,20} = 1,60$	0,2050 N.S.
Furannes 6 atomes de chlore		
zone	$F_{1,20} = 1,54$	0,2294 N.S.
espèce	$F_{5,20} = 0,20$	0,9569 N.S.
Furannes 7 atomes de chlore		
zone	$F_{1,20} = 6,16$	0,0221
espèce	$F_{5,20} = 1,60$	0,2052 N.S.
Furannes 8 atomes de chlore		
zone	$F_{1,21} = 2,25$	0,1488 N.S.
espèce	$F_{5,21} = 0,25$	0,9369 N.S.

N.S.: non significatif

Tableau 9 Comparaison des proportions d'échantillons contaminés entre le panache et la zone contrôle pour les furannes (test de Fisher unilatéral).

Produits	Proportions d'animaux contaminés		p
	panache	contrôle	
furannes totaux	0,71	0,27	0,03
furannes à 4 atomes de chlore	0,59	0,18	0,04
furannes à 5 atomes de chlore	0,47	0,09	0,04
furannes à 6 atomes de chlore	0,24	0,00	0,12 N.S.
furannes à 7 atomes de chlore	0,41	0,00	0,02
furannes à 8 atomes de chlore	0,41	0,09	0,08 N.S.

N.S.: non significatif

L'analyse de variance démontre une différence significative entre les concentrations sous le panache et dans la zone contrôle pour tous les homologues de furannes sauf ceux à 6 et 8 atomes de chlore et ce pour l'ensemble des espèces. Le test de comparaison d'échantillons contaminés donne les mêmes conclusions, c'est-à-dire que mis à part les homologues à 6 et 8 atomes de chlore, il y a plus d'individus chez lesquels on a détecté la présence de furannes dans la zone sous le panache de fumée que dans la zone contrôle. Cependant même s'il est possible de détecter un apport de certains furannes chez les animaux exposés à la fumée de l'incendie, nous n'avons pas pu démontrer de différences dans le cas des concentrations moyennes de furannes entre les espèces.

4.4 CONGÉNÈRES DE BPC

Les numéros des congénères de BPC les plus souvent rencontrés dans les différentes espèces animales sous le panache de fumée et dans la zone contrôle sont donnés au tableau 10. Nous y retrouvons également l'ordre de grandeur exprimé en pourcentage, de la proportion de BPC totaux que chaque congénère représente.

Tableau 10: Congénères de BPC les plus souvent rencontrés

No congénères	Position des atomes de chlore	% des BPC totaux	
		Panache	Contrôle
153	2,2',4,4',5,5'	19	13
180	2,2',3,4,4',5,5'	13	10
138	2,2',3,4,4',5'	13	8
118	2,3',4,4',5	7	5
182	2,2',3,4,4',5,6'	6	5
99	2,2',4,4',5	5	8
170	2,2',3,3',4,4',5	4	4

Nous retrouvons au tableau 11 les concentrations de ces sept congénères les plus souvent rencontrés dans les différentes espèces animales. Nous en avons ajouté quatre autres, le 105 (2,3,3',4,4') parce que c'est un congénère mono-ortho substitué et les numéros 28 (2,4,4'), 60 (2,3,4,4'), 66 (2,3',4,4') qui sont des congénères très faiblement chlorés. Ces congénères faiblement chlorés (28, 60, 66) seraient présents en quantité appréciable dans l'Aroclor 1242. Ils constitueraient respectivement 14%, 4% et 3% de ce dernier. Il convient de mentionner qu'aucun BPC non substitué en ortho n'a été dosé.

4.5 CONGÉNÈRES DE DIOXINES ET FURANNES

Nous retrouvons au tableau 12 les résultats des dosages des congénères de furannes et dioxines. Ce sont les seuls congénères pour lesquels il y avait des niveaux détectables pour certaines des espèces animales échantillonnées. Il est à noter que le produit le plus toxique de tous les composés de BPC, dioxines et furannes, le 2,3,7,8-TCDD n'a pas été détecté chez aucune espèce animale tant dans la zone sous le panache que dans la zone contrôle. Les deux congénères les plus souvent détectés sont le 2,3,7,8-TCDF et le 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD. Les concentrations les plus élevées ont été rencontrées chez le lapin à queue blanche et avec le 2,3,7,8-TCDF et le 2,3,4,7,8-PCDF.

Tableau 11: Concentrations moyenne (µg/kg) des différents congénères de BPC (minimum, maximum)

Espèces (guilde)	Tissus	Zone	N	Congénères										
				153	180	138	118	182	99	170	28	60	66	105
Ver de terre (détritivore)	E	S	1	2,40	0,15	2,40	0,15	5,20	0,25	0,15	0,20	0,40	1,05	0,10
		P	1	8,30	1,80	6,00	0,40	6,60	0,55	0,55	7,00	0,80	8,70	0,50
Pigeon biset (granivore)	F	P	1	0,30	0,10	0,40	ND	0,20	0,05	ND	0,05	0,05	0,05	ND
		C	1	0,10	0,10	0,20	ND	ND	0,05	ND	0,05	0,05	0,05	ND
Rat musqué (herbivore)	F	S	1	23,20	27,40	29,70	10,00	6,50	4,00	20,20	0,05	0,05	0,05	4,70
		P	6	4,40 (0,50-12,70)	2,72 (0,50-7,40)	2,42 (0,50-6,50)	3,82 (0,20-10,80)	1,23 (ND-2,90)	0,50 (0,05-1,80)	1,33 (ND-4,30)	0,09 (0,05-0,30)	0,05 (0,05-0,05)	1,36 (0,05-2,90)	0,75 (ND-2,30)
		C	3	0,33 (0,20-0,40)	0,30 (0,10-0,50)	0,20 (ND-0,40)	0,07 (ND-0,10)	0,10 (ND-0,30)	0,05 (0,05-0,05)	ND	0,05 (0,05-0,05)	0,05 (0,05-0,05)	0,05 (0,05-0,05)	ND
Lapin à queue blanche (herbivore)	F	P	2	41,20 (10,80-71,60)	26,45 (6,60-46,30)	35,15 (10,40-59,90)	35,30 (7,70-62,90)	3,80 (2,00-5,60)	8,05 (4,20-11,90)	12,95 2,90-23,00)	1,40 (1,20-1,60)	0,40 (0,40-0,40)	8,88 (1,05-16,70)	7,35 (2,40-12,30)
	M	P	2	4,95 (2,70-7,20)	3,35 (1,80-4,90)	3,75 (1,70-5,80)	5,20 (3,70-6,70)	0,10 (0,10-0,10)	0,25 (0,25-0,25)	1,13 (0,15-2,10)	0,20 (0,20-0,20)	0,40 (0,40-0,40)	1,05 (1,05-1,05)	0,70 (0,10-1,30)
Merle d'Amérique (invertivore)	O	S	1	13,50	7,80	16,60	4,40	10,50	34,60	3,00	0,25	10,40	3,40	0,15
		P	3	62,10 (23,50-113,00)	30,30 (10,90-48,00)	65,57 (26,20-105,90)	14,97 (4,70-30,30)	43,93 (26,70-61,90)	23,17 (20,20-28,20)	10,37 (3,90-17,50)	0,25 (0,25-0,25)	2,17 (0,50-3,80)	3,50 (1,30-6,60)	0,15 (0,15-0,15)
		C	2	15,05 (8,80-21,30)	9,15 (5,90-12,40)	18,10 (9,50-26,70)	2,35 (0,20-4,50)	13,20 (8,70-17,70)	32,15 (24,40-39,90)	3,15 (1,80-4,50)	0,25 (0,25-0,25)	9,20 (7,20-11,20)	0,25 (0,25-0,25)	0,15 (0,15-0,15)
Souris (2 espèces) (omnivore)	E	S	1	37,90	31,20	28,30	11,20	10,60	4,00	6,90	0,20	0,40	1,05	0,10
		P	2	16,45 (9,70-23,20)	15,50 (5,80-25,20)	6,80 (6,60-7,00)	2,60 (1,50-3,70)	3,90 (3,30-4,50)	1,43 (0,50-2,30)	1,08 (0,55-1,60)	0,48 (0,45-0,50)	0,43 (0,05-0,80)	0,25 (0,05-0,80)	0,85 (0,50-1,20)
		C	1	0,10	ND	ND	ND	ND	0,05	ND	0,05	0,05	0,05	ND
Grenouilles (2 espèces) (insectivore)	E	P	1	13,70	8,10	6,50	6,20	1,10	4,00	6,00	27,30	0,80	12,10	0,50
Musaraigne cendrée (insectivore)	E	S	1	48,10	30,90	42,00	31,90	7,00	20,30	11,50	57,80	0,40	58,60	6,30
		P	4	30,35 (5,20-100,90)	19,43 (2,00-55,30)	11,53 (2,30-30,60)	8,58 (0,40-30,40)	0,66 (0,25-1,50)	7,86 (0,55-22,00)	5,76 (0,55-16,60)	0,58 (0,05-1,50)	0,33 (0,05-0,80)	0,40 (0,05-1,05)	1,10 (ND-3,80)
		C	2	3,85 (2,60-5,10)	3,30 (2,10-4,50)	1,95 (1,00-2,90)	2,15 (0,70-3,60)	0,05 (ND-0,1)	1,35 (1,20-1,50)	0,33 (0,15-0,50)	0,13 (0,05-0,20)	0,23 (0,05-0,40)	0,55 (0,05-1,05)	0,05 (ND-0,10)
Crécerelle d'Amérique (insectivore et carnivore)	O	P	3	88,77 (72,30-99,90)	77,77 (46,70-105,80)	72,17 (63,90-84,90)	46,87 (32,50-54,40)	29,20 (23,10-38,60)	35,23 (25,80-44,20)	28,57 (16,20-40,70)	24,40 (5,30-51,50)	1,23 (0,50-2,70)	17,33 (8,40-28,00)	10,90 (5,70-15,30)
		C	1	36,10	24,40	17,30	11,90	5,80	6,70	7,30	1,80	0,50	1,40	2,00
Hiboux (2 espèces) (carnivore)	O	P	3	216,26 (88,70-359,90)	171,50 (55,00-325,90)	139,90 (63,10-214,00)	54,17 (23,20-74,10)	53,37 (33,00-65,30)	45,47 (26,20-68,20)	54,63 (20,70-94,10)	4,37 (2,80-7,30)	1,60 (0,50-2,50)	6,60 (2,60-11,80)	9,57 (4,20-12,40)
		C	1	166,50	109,20	110,30	29,80	46,10	42,30	39,50	0,25	2,40	0,80	4,70

Abréviations: tissus: E = animal entier F = foie M = muscle O = oeuf
zone: S = site P = panache C = contrôle

Tableau 12: Concentrations moyennes (ng/kg), des différents congénères de dioxines et de furannes (minimum, maximum)

Espèces	Tissus	Zone	N	Congénères							
				2,3,7,8 TCDF	1,2,3,7,8 PCDF	2,3,4,7,8 PCDF	1,2,3,4,7,8 HCDF	1,2,3,6,7,8 HCDF	1,2,3,4,6,7,9 HpCDF	1,2,3,4,7,8,9 HpCDF	1,2,3,4,6,7,8 HpCDD
Ver de terre	E	S	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		P	4	3,75 (ND-15,00)	-	-	2 -	2 -	2 -	-	2 -
		C	3	ND	-	-	-	-	-	-	-
Rat musqué	F	P	1	2	-	-	2	2	2	-	2
Lapin à queue blanche	F	P	2	426,50 (145-708)	65,75 (27,00-10,45)	483 (260-706)	63,75 (41-87)	63 (38-89)	11 (10-12)	52 (5-99)	20 (9-31)
Merle d'Amérique	O	P	3	12 (ND-30)	ND	5 (ND-16)	ND	ND	9 (ND-20)	ND	18
		C	3	ND	-	-	-	-	-	-	-
Souris (2 espèces)	E	S	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14
		P	3	1 (ND-3)	ND	ND	4 (ND-11)	5 (ND-15)	22 (10-30)	ND	41 (12-56)
		C	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4 (ND-7)
Grenouilles (2 espèces)	E	P	5	28 (ND-68)	-	-	2 -	2 -	2 -	-	2 -
		C	3	ND	-	-	-	-	-	-	-
Crécerelle d'Amérique	O	P	1	15	ND	7	ND	ND	ND	ND	7
		C	1	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7
Grand-duc d'Amérique	O	P	1	3	ND	8	ND	ND	ND	ND	10
		L	1	1	ND	3	ND	ND	ND	ND	ND

4.6 ÉQUIVALENTS TOXIQUES EN 2,3,7,8 TCDD

Nous retrouvons au tableau 13 les résultats des transformations en équivalents toxiques de concentrations de 2,3,7,8-TCDD pour les différents congénères de BPC, dioxines et furannes. Tel qu'indiqué précédemment, nous avons utilisé les équivalents toxiques publiés par Safe en 1990, soit:

BPC

- coplanaires, mono-orthosubstitués # 105 et 118 = 0.001

- coplanaires, diorthosubstitués # 153, 180, 138, 170 = 0.00002

Furannes et dioxines:

2,3,4,7,8	PCDF	=	0.5
2,3,7,8	TCDF	=	0.1
1,2,3,7,8	PCDF	=	0.1
1,2,3,4,7,8	HCDF	=	0.1
1,2,3,6,7,8	HCDF	=	0.1
1,2,3,4,7,8,9	HpCDD	=	0.1
1,2,3,4,6,7,8	HpCDD	=	0.01

Étant donné que l'utilisation des BPC dans le calculs des équivalents toxiques ne fait pas l'unanimité parmi les scientifiques, nous retrouvons au tableau 13 d'une part la contribution des BPC et d'autre part celle des dioxines et des furannes à ce calcul. Nous pouvons voir que pour la majorité des espèces étudiées, l'apport des BPC au calcul du grand total des équivalents toxiques est supérieur à celui des dioxines et des furannes. Comme nous pouvions nous y attendre, c'est le lapin à queue blanche qui a la valeur la plus élevée en équivalents de concentration de 2,3,7,8-TCDD, mais dans ce cas ce sont les dioxines et les furannes qui sont responsables de cette valeur qui est au moins quatre à cinq fois supérieures aux autres.

Tableau 13: Équivalents toxiques en 2,3,7,8 TCDD (ng/kg)

Espèces	Tissus	Zone	Congénères								
			BPC				Furannes et dioxines				Grand Total
			118	105	diortho	total	2,3,4,7,8 PCDF	autres furannes	1,2,3,4,6,7, 8 HpCDD	total	
Ver de terre	E	P	0,40	0,50	0,33	1,23	-	0,78	0,02	0,80	2,01
Rat musqué	F	P	3,82	0,75	0,22	4,79	-	0,60	0,02	0,62	5,41
Lapin à queue blanche	F	P	35,30	7,35	2,31	44,96	241,50	67,10	0,20	308,80	353,76
Merle d'Amérique	O	P	14,97	0,15	3,37	18,49	2,50	1,20	0,18	3,88	22,37
		C	2,35	0,15	0,91	3,41	-	ND	-	ND	3,41
Souris (2 espèces)	E	P	2,60	0,85	0,80	4,25	ND	1	0,41	1,41	5,66
		C	ND	ND	0,002	0,002	ND	ND	0,04	0,04	0,042
Grenouille	E	P	6,20	0,50	0,69	7,39	-	3,20	0,02	3,22	10,61
Crécerelle d'Amérique	O	P	46,87	10,90	5,35	63,12	3,50	1,50	0,07	5,07	68,19
		C	11,90	2,00	1,70	15,60	ND	0,60	0,07	0,67	16,27
Grand-duc d'Amérique	O	P	54,17	9,57	11,65	75,39	4	0,30	0,10	4,40	79,79
		C	29,80	4,70	8,51	43,01	1,50	0,10	ND	1,60	44,61

4.7 VARIATIONS DES CONCENTRATIONS DANS LE TEMPS

La présente étude ne nous fournit que très peu d'information concernant les variations de BPC, dioxines et furannes dans le temps. Seulement deux espèces animales, le Rat musqué et la Musaraigne cendrée ont fait l'objet de prélèvements à des temps différents, pour les BPC.

Dans le cas des Rats musqués, on a rééchantillonné 50 jours après le feu, quatre individus dans la zone AP. Les analyses chimiques ont été effectuées en regroupant les quatre individus (pool). Les résultats, comparativement aux analyses effectuées dans la même zone 16 à 19 jours après le feu, sont présentés au tableau 14.

Dans le cas des Musaraignes cendrées, on a effectué deux séries d'échantillonnages à environ 50 jours d'intervalle.

Le peu d'échantillons analysés tant chez le Rat musqué que chez la Musaraigne cendrée, ne nous permet pas de faire des tests statistiques pour étudier la variation des concentrations en fonction du temps. À première vue, aucune tendance ne semble se dégager dans le cas de ces espèces.

Il convient de noter cependant que la contamination par les BPC et les furannes a pu être décelée dans les oeufs des oiseaux (aussi bien migrateurs que résidents permanents) prélevés sous le panache le printemps suivant l'incendie. Nous ne savons cependant pas quels auraient été les niveaux si ces oiseaux avaient été capturés tout de suite après l'incendie.

Tableau 14: Concentrations de BPC totaux (µg/kg) pour les Musaraignes cendrées (15 à 26 jours et 70 à 77 jours après le feu) et les Rats musqués (16 à 19 jours et 50 jours après le feu).

Zone	Musaraignes cendrées						Rats musqués					
	15-26 jours			70-77 jours			16 à 19 jours			50 jours		
	C	N	P	C	N	P	C	N	P	C	N	P
S				402,30	1	1						
AP	32,55	1	1	47,10	4	1	29,03 (5,75-73,00)*	4	3	40,50	4	1
BP	315,30	2	1									
BL/CL	14,80	1	1	46,70	1	1						

C: concentrations (µg/kg)
N: nombre d'individus
P: nombre de pool

* valeur minimale et maximale

5. DISCUSSION

5.1 PATRON DE CONTAMINATION DE LA FAUNE LOCALE SUITE À L'INCENDIE DE ST-BASILE

Cette étude a montré que la faune locale a subi une contamination suite à l'incendie de l'entrepôt de Saint-Basile. Cette contamination s'exprime principalement par un écart statistiquement significatif entre les concentrations de BPC et des furannes, chez les animaux échantillonnés dans la zone sous le panache de fumée et ceux capturés dans la zone contrôle. Par contre, on n'a pu démontrer une contamination par les dioxines.

Ces observations, sur la faune de Saint-Basile correspondent bien à ce qui est normalement observé lors de la combustion de BPC: libération de BPC et production de furannes. Dans des conditions expérimentales, Frickson et collaborateurs (1989) ont observé que 1% des BPC étaient transformés en furannes lors de la combustion de fluides diélectriques. On n'avait retrouvé des dioxines qu'à l'état de trace. Dans un incendie réel le taux de formation des furannes est cependant inférieur à 1%. Lors de l'incendie survenu au laboratoire Haute tension de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ), on avait évalué qu'environ 100 mg de furanne était produit lors de la combustion de 1 kg de BPC soit un taux de formation de 0,01% (Carrier 1986, 1991).

La combustion de l'aroclor 1242 pouvait théoriquement amener la formation de furannes à 3 et 4 atomes de chlore, puisque cet aroclor est principalement constitué de BPC à 3 et 4 atomes de chlore (Carrier 1991). L'augmentation des concentrations des homologues de BPC à trois atomes de chlore et des furannes à quatre atomes de chlore dans les échantillons recueillis sous le panache était prévisible. Cependant l'augmentation des concentrations des homologues de BPC et de furannes plus fortement chlorés que nous avons observée chez les animaux exposés, nous permet de supposer que de l'aroclor 1254 aurait également brûlé.

Les conclusions de cette étude vont dans le même sens que celle effectuée par le Ministère de l'Environnement du Québec. (Ministère de l'Environnement du Québec 1988). Dans leur étude des employés du ministère ont vérifié si l'incendie de l'entrepôt avait laissé des traces dans l'eau, le sol et l'air. La contamination s'est surtout limité à la zone immédiate de l'entrepôt, c'est-à-dire aux infrastructures touchées par l'incendie ainsi qu'aux terrains avoisinants dans la zone non habitée. C'est le seul endroit où l'on

a détecté dans les jours suivant l'incendie, des BPC dans les échantillons d'air. Certains niveaux mesurés pouvaient atteindre 800 et même 1000 ng/m^3 de BPC.

L'eau de surface de la région du site de l'incendie a subi une forte contamination. L'eau des fossés adjacents au site contenait des concentrations de 380 à 6900 ng/L de BPC. Des niveaux plus élevés de l'ordre de 2381 à 17000 mg/L ont été enregistrés dans des flaques d'eau à proximité de l'entrepôt. Sous le panache de fumée on a échantillonné deux lacs et deux ruisseaux où les concentrations de BPC étaient supérieures au bruit de fond habituellement rencontré au Québec (estimé à 2.5 ng/L). Ces concentrations étaient cependant inférieures aux critères de qualité pour l'eau potable (100 ng/L) en vigueur pour le Québec (Ministère de l'Environnement du Québec 1988). On a également détecté la présence de furannes dans ces deux lacs à des concentrations en dessous du critère canadien pour l'eau potable (15 pg/L d'équivalent 2,3,7,8-TCDD) (Gouvernement du Canada 1990). La présence de ces furannes dans ces lacs, en plus des BPC, nous indique que ces contaminants proviennent probablement de l'incendie.

Quant aux échantillons de sol, seuls ceux prélevés sur le site de l'incendie et sous le panache de fumée ont montré des signes de contamination par l'incendie. La concentration moyenne de BPC de dix échantillons prélevés sur le site du feu était de 219 mg/kg. Par contre, les prélèvements faits dans la région sous le panache de fumée, présentaient des concentrations inférieures au critère en usage au Québec pour les sols, soit 1 mg/kg. Cette concentration de 1 mg/kg correspond à la valeur au-delà de laquelle les travaux de restauration sont nécessaires, en ce qui concerne l'usage industriel, la politique suggère un critère de 10 mg/kg. Des homologues de furannes contenant 4 et 5 atomes de chlore ont également été détectés à une faible concentration dans le sol sur le site de l'incendie et sous le panache. Ces furannes sont considérées comme provenant de l'incendie. Ce dernier point est en accord avec notre étude, où l'on a observé une contamination par les homologues des furannes à 4 et 5 atomes de chlore (en plus de ceux contenant 7 atomes de chlore) chez les animaux prélevés sous le panache de fumée.

Certains échantillons de sol, tant au niveau du site de l'entrepôt, du panache de fumée et dans les zones situées alentour, contenaient des traces de dioxines. Il s'agissait des homologues contenant 7 et 8 atomes de chlore, qui sont considérés comme faisant partie du bruit de fond. Rappelons que dans notre étude, seulement les homologues de dioxines contenant 6, 7 et 8 atomes de chlore ont été décelés chez certains animaux. Comme il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les animaux exposés à la fumée

de l'incendie et les contrôles, nous pouvons considérer que ces dioxines font probablement partie du bruit de fond.

L'étude réalisée par le Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) vient donc appuyer les conclusions de notre étude, c'est-à-dire que l'incendie de l'entrepôt de Saint-Basile a pu amener une certaine contamination locale au niveau des BPC et des furannes. Il est à souligner que tout comme nous le MENVIQ n'a détecté de 2,3,7,8-TCDD dans aucun des échantillons d'eau, de sol ou d'air.

Une autre étude réalisée pour le compte du Ministère de l'Environnement du Québec et le Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche (Bérubé et Gagnon 1989) a évalué la teneur en BPC de l'eau, des sédiments et des poissons de Saint-Basile. Bien que certains échantillons aient présenté des concentrations supérieures aux critères de vie aquatique, leurs niveaux ne dépassent pas ceux rencontrés ailleurs au Québec. Les auteurs concluent que l'incendie de l'entrepôt de BPC de Saint-Basile-le-Grand ne semble pas, à court terme, avoir provoqué une contamination significative de l'eau des sédiments et des poissons. Les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence un gradient de pollution en fonction du foyer de l'incendie et de la trajectoire du panache de fumée.

Dans notre étude, les animaux échantillonnés sous le panache de fumée présentent des concentrations de BPC totaux, des homologues à 3 ou 5 à 9 atomes de chlore plus élevées que ceux capturés hors du panache. L'écart relatif semble du même ordre pour toutes les espèces animales. Il y avait cependant des différences de concentrations entre les espèces animales. Tel que rapporté à la figure 3, exception faite des pigeons, la gradation des concentrations chez les animaux est presque toujours dans le même ordre. Les mammifères sont moins contaminés que les oiseaux et les herbivores moins que les carnivores. Au niveau des différences statistiquement significatives, la figure 3 nous montre que deux groupes semblent se détacher, celui des mammifères et celui des oiseaux. Nous ne pouvons pas conclure que la formation de ces deux groupes soit due à la classe animale, puisque d'autres facteurs peuvent également entrer en ligne de compte. Dans le cas des merles, grands-ducs et crécerelles, on a dosé les BPC dans les oeufs tandis que chez les mammifères, on a utilisé le foie ou l'animal entier. Chez ces oiseaux, les prélèvements ont été effectués le printemps suivant l'incendie, soit huit à dix mois plus tard, alors que chez les mammifères, ils ont été réalisés dans les deux mois qui ont suivi le feu.

La gradation des concentrations le long de la chaîne alimentaire, ainsi que leurs augmentations relatives identiques observées sont en accord avec les principes de la biomagnification. Les principes mathématiques qui régissent le passage d'un toxique d'un niveau trophique à un autre sont bien résumés par Ramade (1987). Pour un niveau trophique donné, la concentration d'un toxique est directement proportionnelle à celle du niveau trophique le plus bas où se retrouve le toxique. Donc, si la concentration d'un toxique est doublée au niveau trophique le plus bas elle sera doublée au niveau trophique subséquent.

L'augmentation des concentrations de BPC et de ses homologues observée dans notre étude est donc conforme avec les principes de la biomagnification des contaminants bioaccumulables en passant d'un niveau trophique au suivant.

Un dernier point mérite d'être discuté avant de terminer cette section, c'est celui de l'apport du feu en ce qui concerne les congénères spécifiques de BPC, dioxines et furannes. Nous avons pu voir au tableau 10 le patron de contamination pour les différents congénères de BPC les plus souvent rencontrés. Le patron est identique pour les animaux échantillonnés sous le panache et ceux dans la zone contrôle. Donc même si l'incendie a eu pour effet d'augmenter les concentrations de BPC, il n'a pas modifié de façon appréciable le patron de contamination.

Dewailly et collaborateurs (à paraître) ont déterminé les concentrations de congénères de BPC, dioxines et furannes dans le lait de femmes exposées à l'incendie de Saint-Basile et de femmes de la population générale du Québec. Tout comme chez les animaux que nous avons étudiés, ce sont les congénères 153, 138, 180 et 118 qui sont les quatre congénères ayant les concentrations les plus élevées tant chez les femmes exposées que les témoins.

D'autres auteurs ont constaté comme nous que ce sont les congénères de BPC 153, 138, 180 et 118 qui sont les plus souvent rencontrés dans les organismes vivants. Sonzogni et collaborateurs (1991) ont mesuré les concentrations de différents congénères de BPC dans le sérum de pêcheurs sportifs. Par ordre décroissant des valeurs de concentrations, ils ont retrouvé les congénères suivants: 153, 138, 180, 118, 187, 170, 28, 128 et 101. En comparant leurs résultats avec les données de la littérature, les auteurs concluent que les quatre premiers congénères sont les plus souvent rapportés, comme ayant des concentrations importantes. Il en serait donc ainsi tant chez les animaux que chez l'humain.

Dewailly et collaborateurs ont également dosé des congénères de dioxines et furannes dans le lait maternel. Pour les dioxines, les congénères retrouvés en concentrations les plus élevées tant chez les femmes exposées que chez les témoins étaient: 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD et le 1,2,3(4 ou 6)7,8-HxCDD. Le 2,3,7,8-TCDF, le 2,3,4,7,8-PCDF et le 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF étaient les congénères des furannes ayant les niveaux les plus élevés. Le 2,3,7,8-TCDF et le 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD sont dans notre étude les deux congénères de dioxines et furannes les plus souvent rencontrés. Le patron de contamination est assez semblable à celui retrouvé dans le lait maternel, et ce patron n'a pas été modifié par l'incendie.

5.2 ÉVALUATION TOXICOLOGIQUE DE LA CONTAMINATION DE LA FAUNE À SAINT-BASILE LE GRAND

Il est très difficile de faire une évaluation toxicologique précise de la contamination observée, étant donné que nous avons affaire à plusieurs espèces animales et que la toxicité des BPC, dioxines et furannes n'a jamais été étudiée chez ces espèces en particulier. Même si la "symptomatologie" produite par les BPC, dioxines et furannes est assez semblable d'une espèce animale à l'autre, la susceptibilité de ces espèces (ou la dose pouvant produire ces effets) peut varier beaucoup.

Nous pouvons tout de même comparer les concentrations obtenues avec celles rapportées ailleurs. La littérature rapporte trois accidents impliquant une contamination de l'environnement par les dioxines, à Seveso en Italie, Elgin en Floride et Times Beach au Missouri. Dans les trois cas, il y avait eu contamination de la faune par la 2,3,7,8-TCDD. À Seveso, l'explosion d'une usine de fabrication de trichlorophénol a amené la contamination par la 2,3,7,8-TCDD alors qu'à Times Beach la contamination environnementale provenait d'huile contaminée que l'on avait épandue le long des chemins comme antipoussière. À Elgin, sur une base militaire, on avait fait l'essai de l'efficacité comme herbicide du 2,4-D et du 2,4,5-T contenant de la 2,3,7,8-TCDD. Les résultats des dosages effectués sont rapportés au tableau 15.

Tableau 15: Concentrations de 2,3,7,8-TCDD (ng/kg) mesurées dans la faune à Elgin, Times Beach et Seveso (selon Young et al. 1987; Lower et al. 1989, 1990; Fanelli et al. 1980)

Espèce animale	Tissu	Endroit	Concentrations
Lapin *(Orycto laguscuniculus)*	foie peau foie graisse foie	E TB S	N.D. N.D. < 10 et 50 < 10 et 120 270 à 633000
Rat cotonnier *(Sigmodon hispidus)*	foie	E	10 à 210
Souris des plages *(Peromyscus polionotus)*	foie peau	E	300 à 2900 130 à 200
Souris des champs *(Peromyscus sp.)*	animal entier	S	4500 (moyenne)
Crapaud du sud *(Bufo terrestris)*	animal entier	E	1360
Crapaud *(Bufo sp.)*	animal entier	S	200 (moyenne)
Souris sylvestre *(Peromyscus maniculatus)*	animal entier foie	TB	8 à 146 1357
Campagnol des prairies *(Microtus ochrogaster)*	animal entier foie	TB	13 et 199 1736
Ver de terre *(Lumbricus spp.)*	animal entier animal entier	TB S	1250 1200 (moyenne)

E = Elgin TB = Times Beach S = Seveso

Young et collaborateurs (1987) ont rapporté que 2,8 kg de 2,3,7,8-TCDD ont été épandus sur 3 km^2 à Elgin entre 1962 et 1969. Comme la Souris des plages constitue un bon animal sentinelle et qu'elle se trouve en grand nombre sur le site contaminé, on a décidé d'en faire une étude un peu plus exhaustive. Des souris ont été capturées et sacrifiées et une étude histopathologique de la majorité des organes a été effectuée. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus lors d'analyses identiques réalisées sur des souris non-exposées à la 2,3,7,8-TCDD. Aucune anomalie n'a été observée, sinon une augmentation du poids du foie chez les femelles gestantes. Toutefois, cet effet n'était accompagné d'aucun changement au niveau histologique. Aucune malformation particulière n'a été notée tant chez les foetus que chez les individus adultes.

Le cas des lapins à Seveso a été étudié un peu plus en détail puisqu'on a retrouvé plusieurs individus morts (Fanelli et al. 1980). Certains de ces lapins présentaient une pathologie particulière à l'autopsie: oedème rétrosternal, trachéite hémorragique, hémorragie pleurale et des lésions dystrophiques du tissu hépatique. On a défini trois zones de contamination, A, B et R (de la plus contaminée à la moins contaminée), plus une quatrième zone, S, les encerclant. Les concentrations de 2,3,7,8-TCDD retrouvées dans les foies des lapins sont rapportées au tableau 16.

Tableau 16 Concentrations de 2,3,7,8-TCDD (ng/kg) mesurées chez les lapins à Seveso selon les différentes zones d'échantillonnages (Selon Fanelli et al. 1980)

Zone	Concentrations		
	Moyenne	Minimum	Maximum
A	84900	3700	633000
B	90100	7000	383000
R	25700	270	460000
S	12800	320	55000

Dans ces trois cas la situation de contamination est différente de la nôtre puisque dans chacun de ces accidents rapportés le produit en cause était la 2,3,7,8-TCDD, alors que nous n'en avons pas retrouvé à Saint-Basile le Grand. Nous pouvons cependant essayer de faire une comparaison à partir des équivalents toxiques que nous retrouvons au tableau 13. Les animaux semblables que nous avons échantillonnés, Rat musqué, petit rongeur, lapin, ver de terre et grenouilles présentent des concentrations en équivalents toxiques respectivement de 5, 6, 354, 2 et 11 ng/kg. Nous voyons que nos résultats sont inférieurs à ce qui a été observé suite à ces trois accidents. Ceci est d'autant plus vrai si l'on ne tient compte que des équivalents toxiques calculés à partir des furannes et dioxines comme il est fait habituellement.

Il n'y a qu'un seul animal étudié à Saint-Basile qui puisse soulever des interrogations, c'est le Lapin à queue blanche. Les concentrations en équivalents toxiques que nous avons observées sont supérieures à ce qui a été observé à Elgin et Times Beach et recoupent les concentrations les plus basses observées à Seveso. Il est difficile d'en connaître l'implication, car l'étude de Seveso n'avait pu faire de relation entre les concentrations observées et les lésions pathologiques (Fanelli et al. 1980). Les auteurs notaient cependant que d'une façon générale les lapins semblaient résistants. En plus, ne possédant pas d'échantillons contrôles, nous ne pouvons pas savoir si les concentrations élevées observées chez le lapin sont dues à l'incendie, ou s'il s'agit d'une contamination "de base" généralement plus élevée chez cette espèce.

Nous pouvons également comparer les concentrations retrouvées dans la faune de Saint-Basile avec celles trouvées dans ce type de faune ailleurs en Amérique du Nord. La majorité des études publiées traitent de poissons, d'oiseaux et de mammifères aquatiques mais très peu concernent les mammifères terrestres. Steeves et collaborateurs (1991) ont récemment publié une étude dans laquelle ils ont dosé les BPC totaux chez deux mammifères carnivores: la martre et le Pékan. Les résultats sont présentés au tableau 17. Ces animaux ont été prélevé dans la région d'Algonquin en Ontario, un secteur de la province sans développement agricole ou industriel majeur.

Tableau 17: Concentrations (moyenne et écart-type) de BPC (µg/kg) retrouvées chez la Martre d'Amérique (*Martes americana*) et le Pékan (*Martes pennanti*) dans la région d'Algonquin en Ontario (Selon Steeves et al. 1991)

Tissu	Martes		Pékan	
	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle
Muscle	40.4 (± 130.2)	24.8 (± 51.2)	227.0 (± 451.6)	110.5 (± 159.6)
Foie	577.4 (± 1410.7)	284.7 (± 353.7)	292.5 (± 529.5)	387.5 (± 775.8)

Bien qu'il s'agit d'espèces animales différentes des nôtres, de mammifères carnivores, par surcroît, celles-ci ne montrent pas d'écart énormes avec les concentrations observées chez les mammifères contaminés par le feu de Saint-Basile.

Plusieurs études ont été faites au Canada pour évaluer la contamination aux BPC, dioxines et furannes chez les oiseaux. Elliot et collaborateurs (1989) ont dosé plusieurs congénères de dioxines et de furannes ainsi que les BPC totaux dans les oeufs de Grand Héron en Colombie-Britannique. Leur protocole expérimental comportait quatre zones d'échantillonnage différentes. Crofton est situé à environ 1 km d'une usine de pâte et papier, UBC (University of British Columbia) est dans l'estuaire d'une région très urbanisée et industrialisée, Nicomekl est situé dans une région agricole et Sidney se trouve dans une zone qui ne reçoit aucun rejet industriel direct. Les résultats qu'ils ont obtenus pour des congénères identiques à ceux de notre étude sont présentés au tableau 18. Il est à noter que plusieurs autres dioxines détectées dans les oeufs de Grand Héron de cette région ne sont pas mentionnées dans ce tableau puisque ceux-ci (ex. 2,3,7,8-TCDD) n'ont pas été détectés à Saint-Basile.

Tableau 18: Moyenne géométrique (minimum-maximum) des concentrations (ng/kg) de dioxines, furannes et BPC dans les oeufs du Grand Héron (*Ardea herodias*) en Colombie-Britannique (Selon Elliot et al. 1989)

Produits	Crofton	UBC	Sidney	Nicomekl
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	3 (ND-4)	5 (2-12)	1 (ND-2.5)	5 (ND-9)
2,3,7,8 TCDF	3 (ND-17)	17 (5-50)	1 (ND-1)	ND
2,3,4,7,8 PnCDF	37 (10-104)	16 (9-25)	2 (ND-6)	5 (2-10)
Équivalents toxiques	230 (65-496)	64 (14-211)	11 (4-23)	14 (8-18)
BPC totaux (µg/kg)	736 (257-2770)	122 (235-3290)	418 (144-1570)	884 (603-1250)

Les oeufs de héron exposés contenaient beaucoup plus de dioxines que ceux des oiseaux de notre étude. Nos concentrations ressemblent bien plus à celles de leurs régions urbaines ou agricoles. Ceci apparaît encore plus clairement si nous comparons les valeurs d'équivalents toxiques calculés seulement avec les dioxines et furannes comme l'ont fait ces auteurs.

Dans le passé on a observé une diminution du succès de reproduction chez les Goélands argentés (*Larus argentatus*) du Lac Ontario (Elliot et al. 1989). À ce moment, les concentrations de 2,3,7,8-TCDD dans les oeufs étaient supérieures à 2000 ng/kg. La situation s'est redressée lorsque la concentration dans les oeufs baissa sous les 500 ng/kg. On ne peut cependant pas établir de relation de cause-effet car plusieurs autres toxiques étaient présents et leur concentration dans l'environnement a elle aussi par la suite également diminuée. D'ailleurs, l'injection de 1500 ng/kg de 2,3,7,8-TCDD ou TCDF directement dans les oeufs de Goéland argenté n'a pas causé d'effet sur le développement des embryons. On constate donc que bien qu'il y ait eu contamination de la faune locale

par l'incendie de l'entrepôt de Saint-Basile, les concentrations retrouvées demeurent comparables à ce qui est susceptible d'être observé dans les régions industrialisées. À partir de cette constatation, nous ne croyons pas que l'incendie de St-Basile ait eu des effets toxicologiques importants sur la faune locale récoltée dans la région avoisinant le feu.

Nous pouvons maintenant nous interroger sur les effets sur la santé humaine qu'aurait pu avoir l'incendie. Le comité d'experts internationaux formé à l'époque pour l'évaluation de la situation, a convenu que les résidus retrouvés dans l'environnement ne constituait pas un risque majeur pour l'humain (communication personnelle d'A. Nantel). Le département de santé communautaire de l'Hôpital Charles LeMoyne a quant à lui évalué que, selon divers scénarios, l'apport quotidien en équivalents toxiques de 2,3,7,8-TCDD pour un individu demeurant dans la zone contaminée se situait entre 0,0015 et 0,015 pg/kg de poids corporel par jour. Ceci serait très inférieur à l'apport quotidien moyen des canadiens en dioxines et furannes d'origine alimentaire qui se situe entre 0,69 et 5,4 pg/kg/jr pour un adulte et entre 1,3 et 4,9 pg/kg/jr pour un enfant (D.S.C. Hôpital Charles Lemoyne 1989). Carrier (1991) en arrive aux mêmes conclusions, c'est-à-dire que les risques pour la santé, tant au niveau des effets non-cancérigènes (chloracné) que cancérigènes, étaient faibles à Saint-Basile. Il faut cependant ajouter que seulement 8% des BPC présents dans l'entrepôt ont brûlé et que la situation aurait pu être différente si la totalité des barils entreposés avaient brûlés. L'exposition encourue par les humains était surtout aiguë, puisqu'ils n'ont pas eu à se nourrir dans le milieu comme la faune locale le fait tout naturellement.

BIBLIOGRAPHIE

1. BALLSCHMITER K, ZELL M (1980) Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary chromatography. Fres Z Anal Chem 302:20-31

2. BÉRUBÉ P, GAGNON C de Gilles Shooner et Associés (1989)
Interprétation des teneurs en BPC contenus dans l'eau, les sédiments et les poissons de la région de Saint-Basile-le-Grand. Rapport préparé pour le Ministère de l'Environnement du Québec et le Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de l'assainissement des eaux

3. CARRIER G (1986) Toxicité des BPC, de leurs contaminants et de leurs produits de combustion chez les êtres vivants et persistance des BPC dans l'environnement. Service Programme de Santé, Hydro-Québec

4. CARRIER G (1991) Réponse de l'organisme humain aux BPC, dioxines et furannes et analyse des risques toxiques, Le Passeur, Québec

5. DEWAILLY E, TREMBLAY-ROUSSEAU H, CARRIER G, GROULX S, GINGRAS S, BOGGESS K, STANLEY J, WEBER JP (1991) PCDD, PCDF and PCB in Human Milk of women exposed to a PCB fire and of women from the general population of the Province of Quebec. Chemosphere (sous presse)

6. D.S.C. HÔPITAL CHARLES LEMOYNE (août 1989)
L'incendie de BPC de Saint-Basile-le-Grand: un an de suivi et de surveillance de la santé

7. ELLIOTT JE, BUTTER RW, NORSTROM RJ, WHITEHEAD PE (1989) Environmental Contaminants and Reproductive Success of Great Blue Herons Ardeaherodias in British Columbia, 1986-87. Environmental Pollution 59:91-114

8. FANELLI R, BERTONI MP, CASTELLI MG, CHIABRANDO C, MARTELLI GP, NOSEDA A, GARATTINI S, BINAGHI C, MARAZZA V, PEZZA F (1980) 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin Toxic Effects and Tissue Levels in Animal From the Contaminated Area of Seveso, Italy. Arch Environm Contam Toxicol 9:569-577

9. FORTUNATI GU (1985) The Seveso Accident. Chemosphere 14:729-737

10. FRICKSON MP, SWANSON SE, FLORA JP, HINSHAW GD (1989) Polychlorinated Dibenzofurans and Other Thermal Combustion Products from Dielectric Fluids Containing Polychlorinated Biphenyls. Environ Sci Technol 23:462-470

11. GOUVERNEMENT DU CANADA (1990) Loi canadienne sur la protection de l'environnement, Liste des substances d'intérêt prioritaire, Rapport d'évaluation no 1, Dibenzodioxines polychlorées et dibenzofurannes polychlorés

12. LOWER WR, THOMAS MW, PURI RK, JUDY BM, ZACHER JA, ORAZIO CE, KAPILA S, YANDERS AF (1990). Movement and Fate of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in fauna at Times Beach, Missouri. Chemosphere 20:1021-1025

13. LOWER WR, YANDERS AF, ORAZIO CE, PURI RK, HANCOCK J, KAPILA S (1989) A survey of 2,3,7,8 tetrachlorodibenzo-p-dioxin residues in selected animal species from Times Beach, Missouri. Chemosphere 18:1079-1088

14. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC (1988) Incendie de l'entrepôt de BPC à Saint-Basile-le-Grand, Synthèse environnementale, groupe de travail sur la caractérisation environnementale

15. NANTEL A communications personnelles.

16. NORSTROM RJ, SIMON M (1989) Levels of Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) in samples collected from St-Basile (Quebec) in 1988. Wildlife Toxicology and Surveys Branch, C.W.S. Env Can Report CRD-89-6

17. NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (1988a) Committee on the Challenges of Modern Society, Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds, International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) Method of Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds, rapport no 176

18. NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (1988b) Committee on the Challenges of Modern Society, Pilot Study on International Information Exchange On Dioxins and Related Compounds, Scientific Basis for the Development of the International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) Method of Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds, rapport no 178

19. RAMADE F (1987) Ecotoxicology. John Wiley and Sons, Toronto

20. RYAN JJ, NORSTROM R (à paraître) Occurence in humans and major exposure routes. Dans: Environmental Carcinogens: Methods of Analysis and Exposure Measurement, Vol. 11, Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, Dibenzofurans and Biphenyls, Chapter 6

21. SAFE S (1984) Polychlorinated Biphenyl (PCB) and polybrominated Biphenyls (PBB): biochemistry, Toxicology, and mechanism of action. CRC Crit Rev Toxicol 13:319-395

22. SAFE S (1990) Polychlorinated Biphenyl (PCBs) Dibenzo-p-Dioxins (PCDDs), Dibenzofurans (PCDFs) and Related Compounds: Environmental and Mechanistic Considerations Which Support the Development of Toxic Equivalency Factors (TEFs). CRC Crit Rev Toxicol 21:51-88

23. SILBERHORN EM, GLAUERT HP, ROBERTSON LW (1990) Carcinogenicity of Polyhalogenated Biphenyls: PCB and PBB; CRC Crit Rev Toxicol 20:439-496

24. SONZOGNI W, MAACK L, GIBSON T, DEGENHARDT D, ANDERSON H, FIORE B (1991) Polychlorinated Biphenyl Congeners in Blood of Wisconsin Sport Fish Consumers. Arch Environ Contam Toxicol 20:56-60

25. STEEVES T, STRICKLAND M, FRANK R, RASPER J, DOUGLAS CW (1991) Organochlorine Insecticide and Polychlorinated Biphenyl Residues in Martens and Fishers from the Algonquin Region of South-Central Ontario. Bull Environ Contam Toxicol 46:368-373

26. WON H, TURLE R (1987) Report C.W.S.-87-00, 1° Method of analyses 2° Internal quality assurance protocol. C.W.S. Wildlife Toxicology and Surveys Branch

27. YOUNG AL, COCKERHAM LG (1987) A Long-term Study of ecosystem contamination with 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin. Chemosphere 16:1791-1815

Annexe 1: Liste des composés recherchés

Composés organochlorés

p,p'-DDE	trans Chlordane	Aroclor 1254:1260
p,p'-DDT	cis Chlordane	Aroclor 1260
p,p'-DDD	Oxychlordane	1245-tétrachlorobenzène
Mirex	trans Nonachlore	1234-tétrachlorobenzène
photo-Mirex	cis Nonachlore	Pentachlorobenzène
β-HCH	Epoxide d'heptachlore	Hexachlorobenzène
γ-HCH	Dieldrine	Octachlorostyrène
α-HCH		

BPC

- **BPC totaux**
- **Congénères #IUPAC**

28	87	138	180
31	97	141	182
42	99	146	183
44	101	151	185
47	105	153	194
49	110	158	195
52	118	170	200
60	128	171	201
64	129	172	203
66	137	174	206
70			

Dioxines

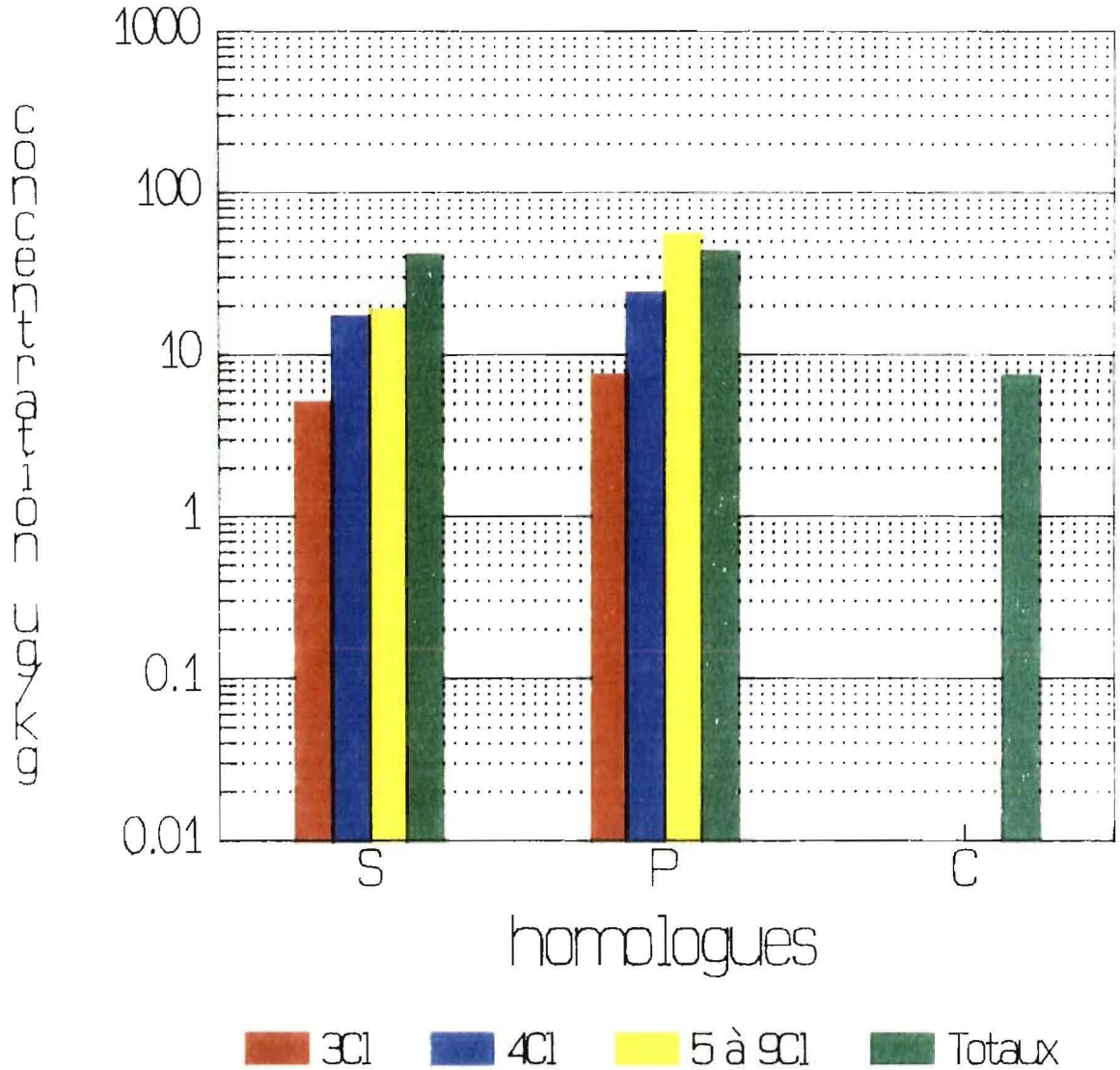
Dioxines totales	HpCDD	1,2,3,4,7,8-HxCDD
TCDD	OCDD	1,2,3,6,7,8-HxCDD
PnCDD	2,3,7,8-TCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
HxCDD	1,2,3,7,8-PnCDD	1,2,3,4,6,7,9-HpCDD

Furannes

Furannes totaux	2,3,6,7-TCDF	1,2,3,7,8/1,2,3,4,8-PnCDF
TF3	1,4,6,8-TCDF	2,3,4,6,7,8-HxCDF
TCDF	2,3,6,8-TCDF	1,2,3,6,7,8-HxCDF
PnCDF	1,2,7,8-TCDF	1,2,3,4,7,8-HxCDF
HxCDF	1,2,3,7,8-PnCDF	1,2,3,7,8,9-HxCDF
HpCDF	2,3,4,7,8-PnCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF
OCDF	1,2,4,7,8/1,3,4,7,9/1,2,3,6,8-PnCDF	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF
2,3,7,8-TCDF		

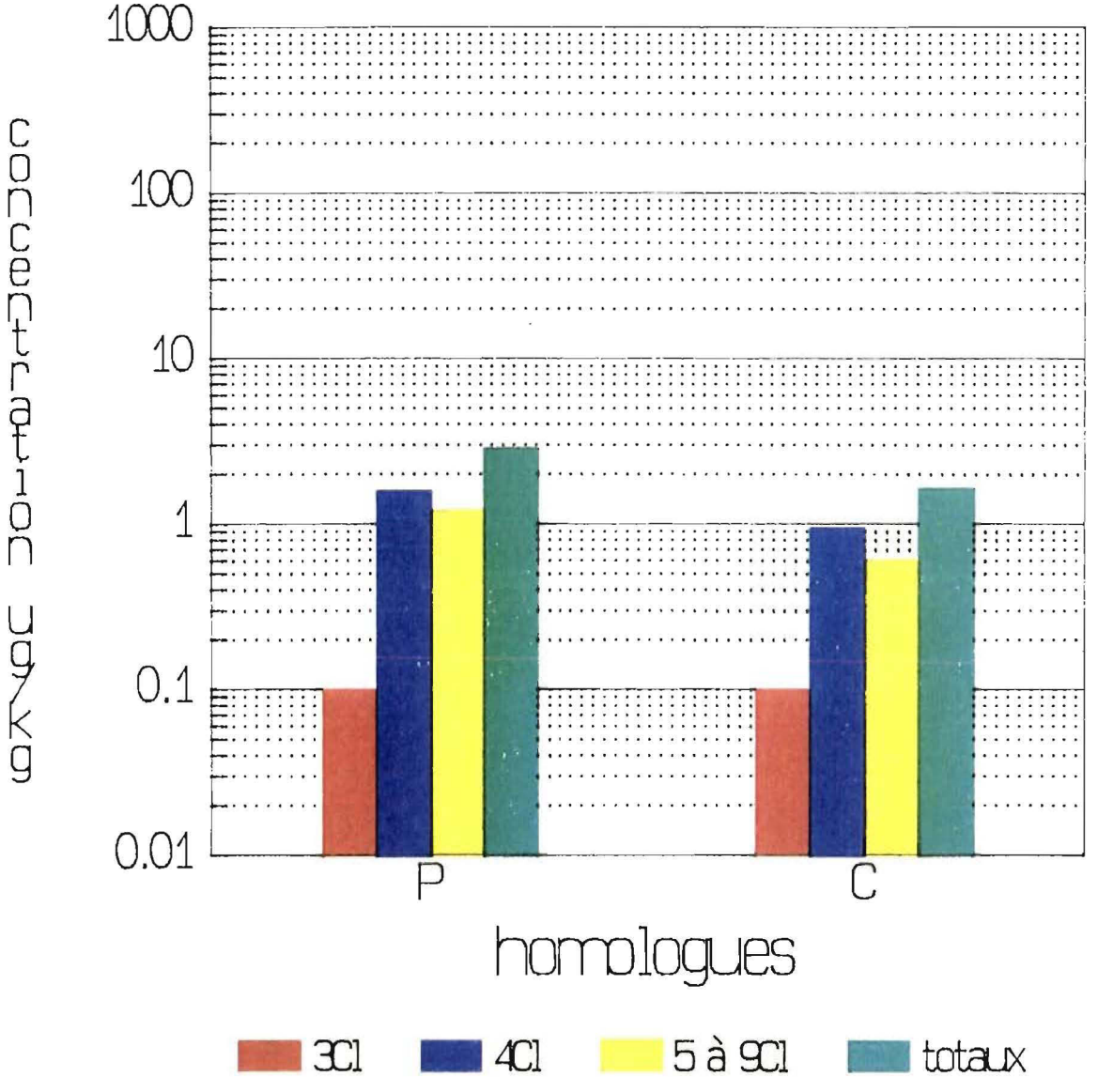
Annexe 2: Histogrammes de la concentration de BPC totaux et des homologues pour chaque zone (site, panache, contrôle) et pour chaque espèce animale

DETRITIVORES
BPC dans le corps entier
VER DE TERRE



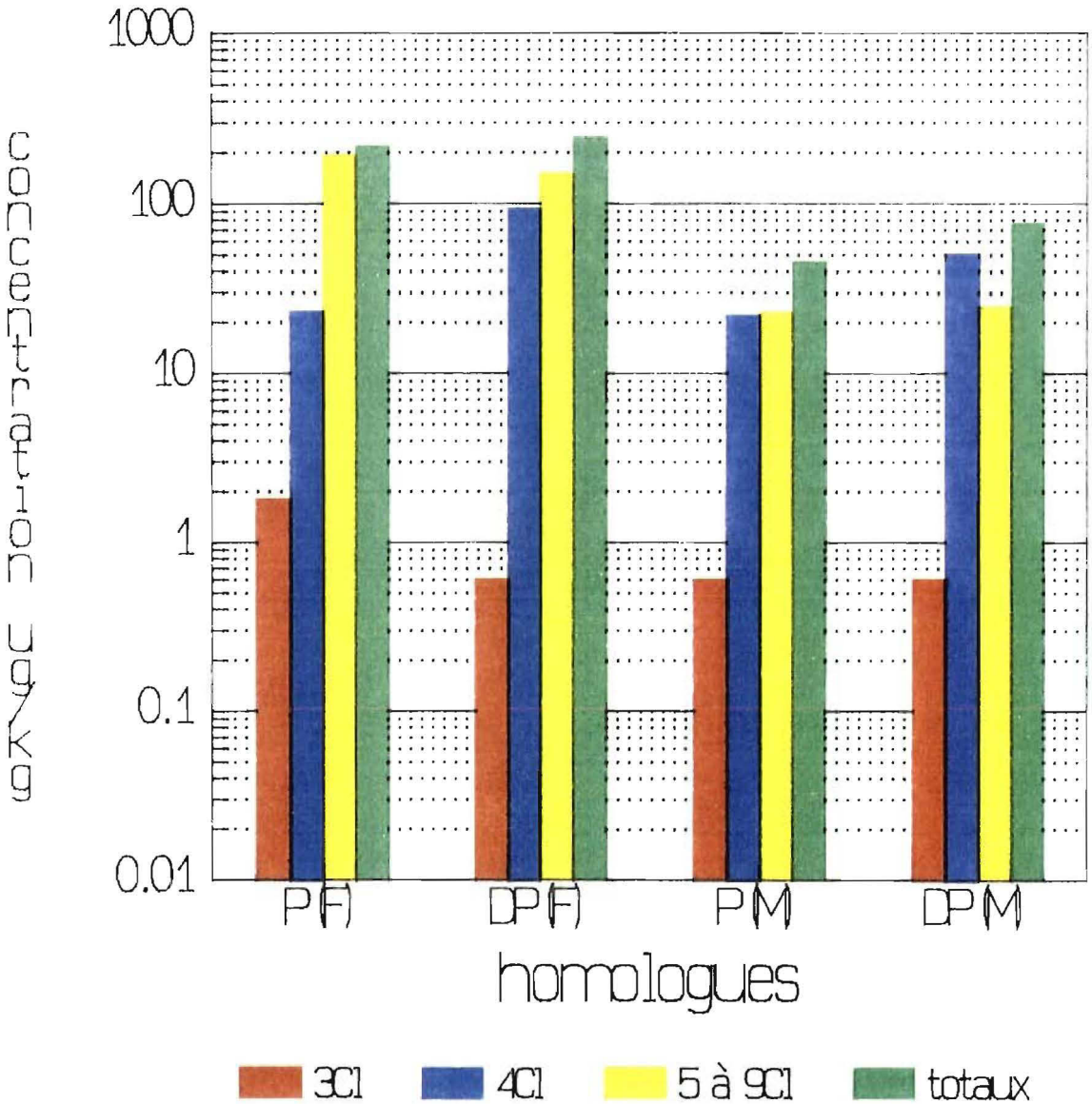
S=site P=panache C=contrôle

HERBIVORES-OISEAUX
BPC dans le foie
PIGEON BISET



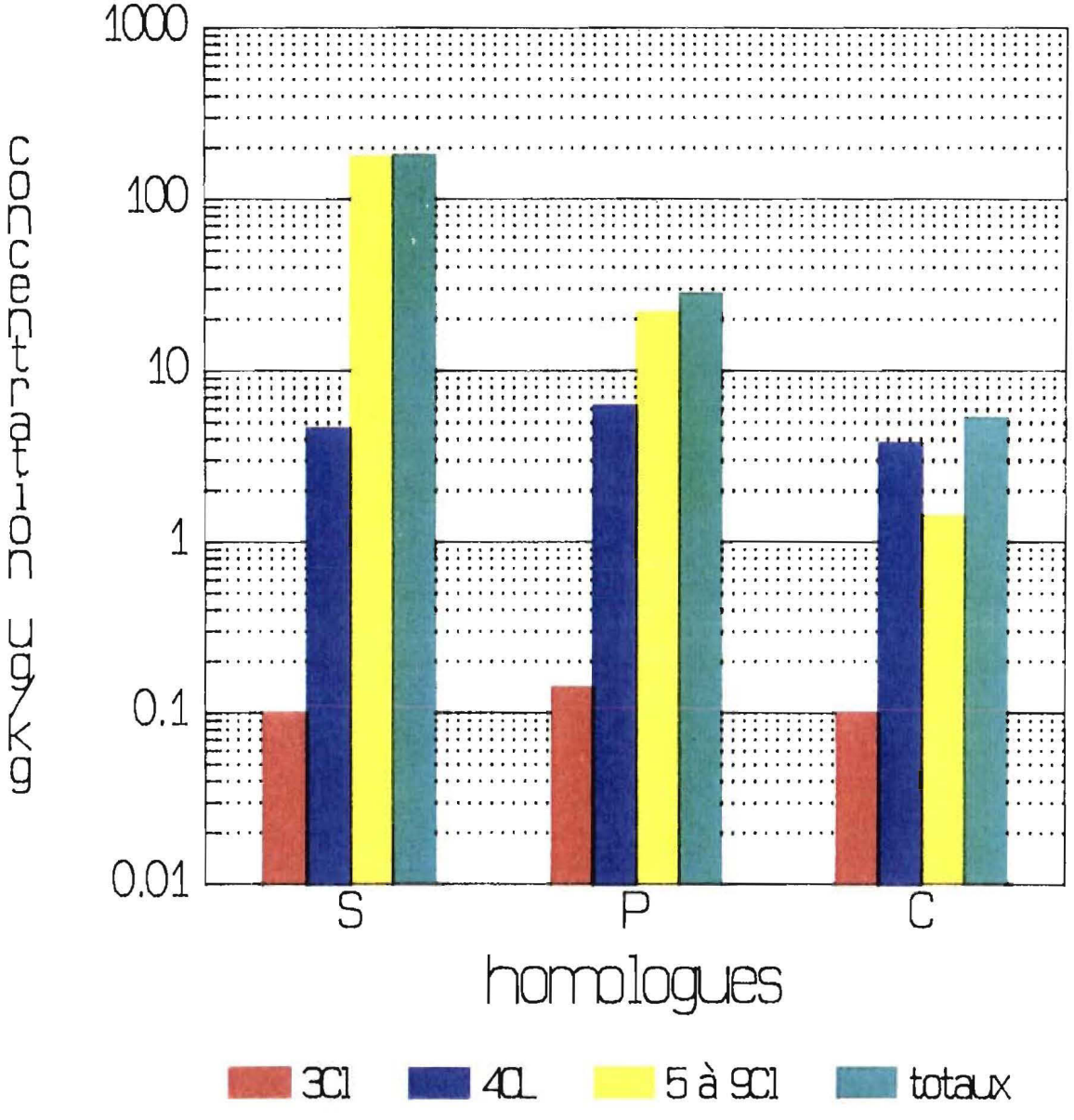
P=panache C=contrôle

HERBIVORES-MAMMIFERES TERRESTRES
BPC dans le foie et le muscle
LAPIN A QUEUE BLANCHE



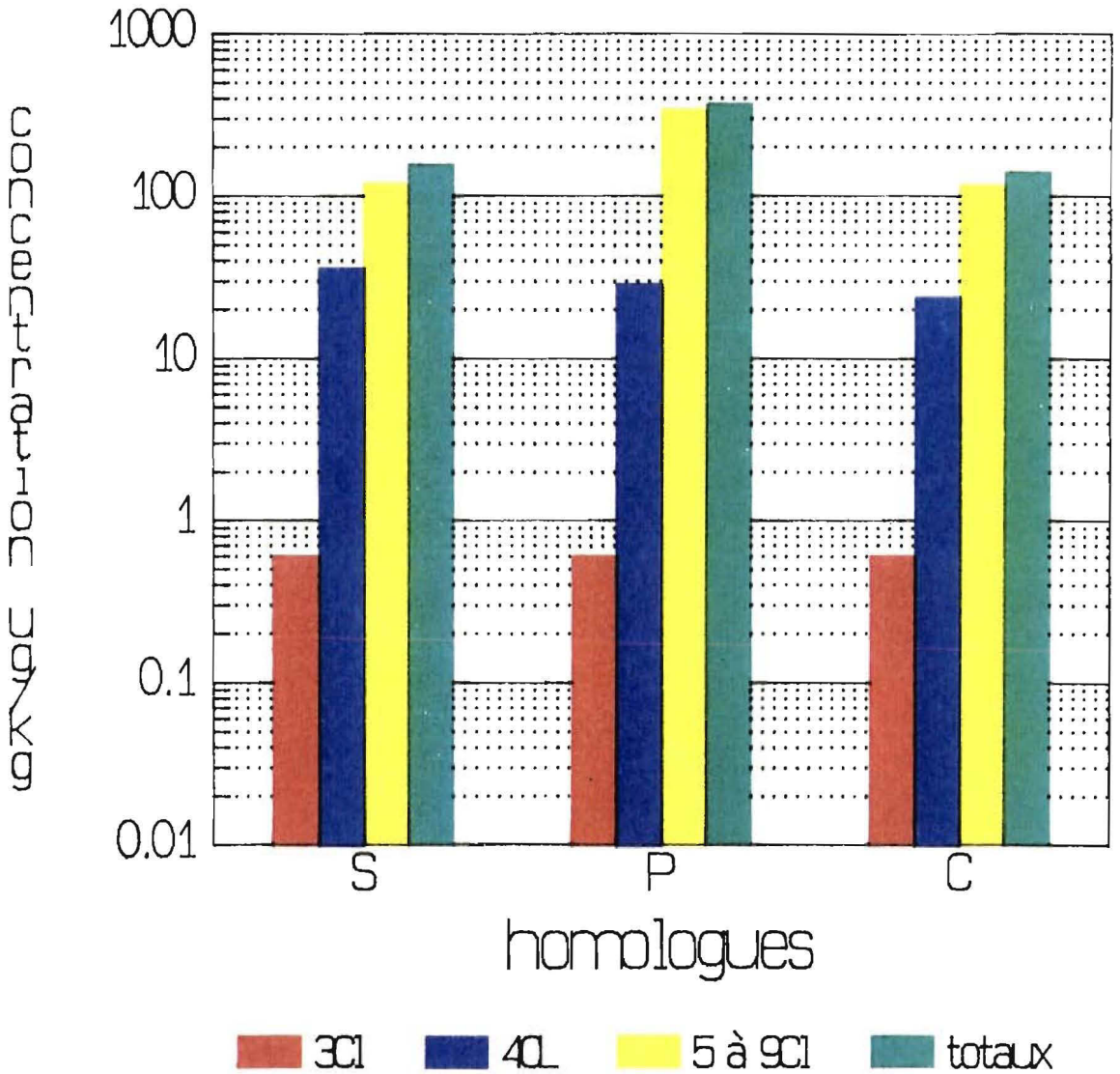
P=panache DP=zone D du panache
F=foie M=muscle

HERBIVORES-MAMMIFERES SEMI-AQUATIQUES
BPC dans le foie
RAT MUSQUE



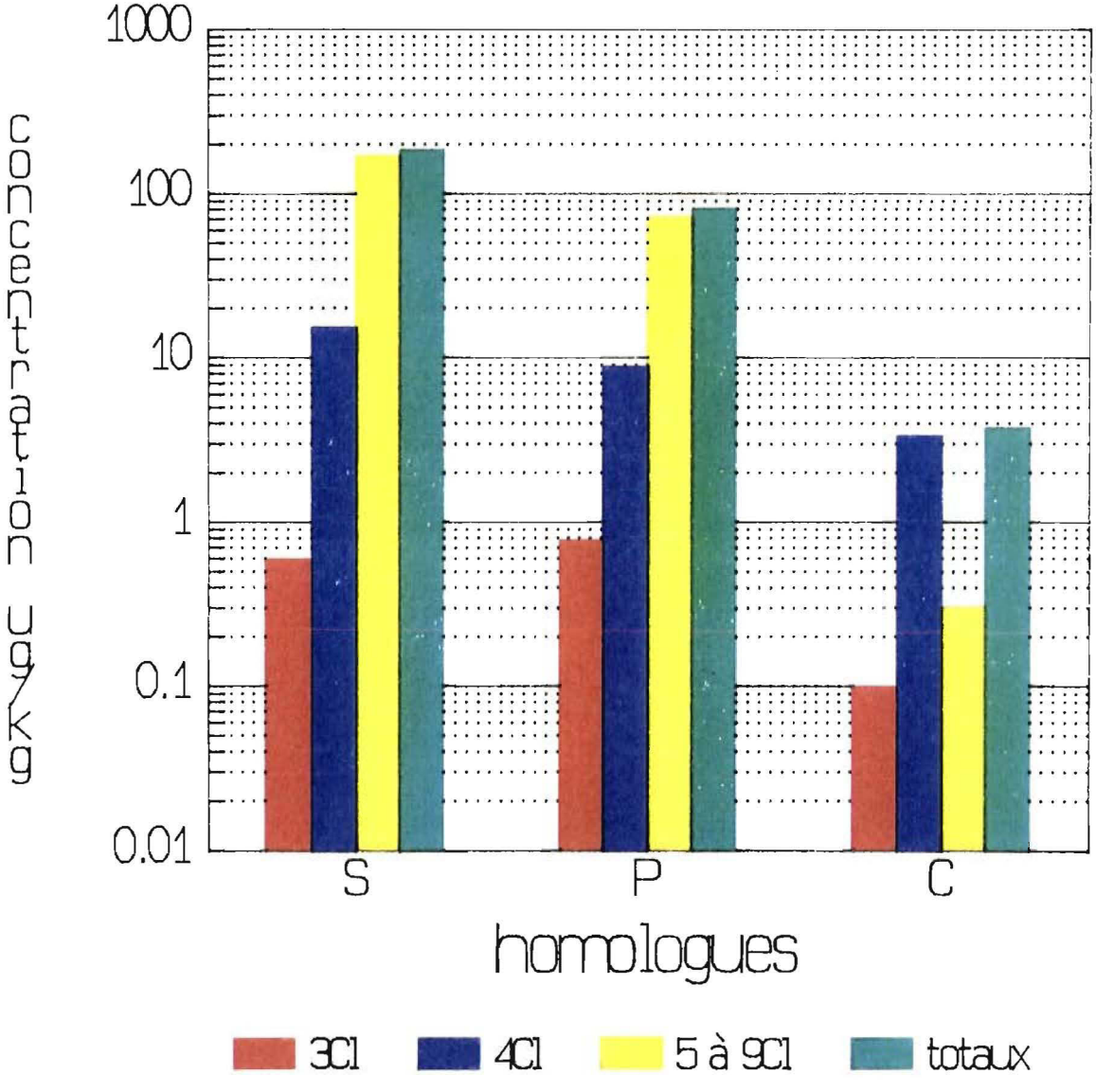
S=site P=panache C=contrôle

OMNIVORES-OISEAUX
BPC dans l'oeuf
MERLE D'AMERIQUE



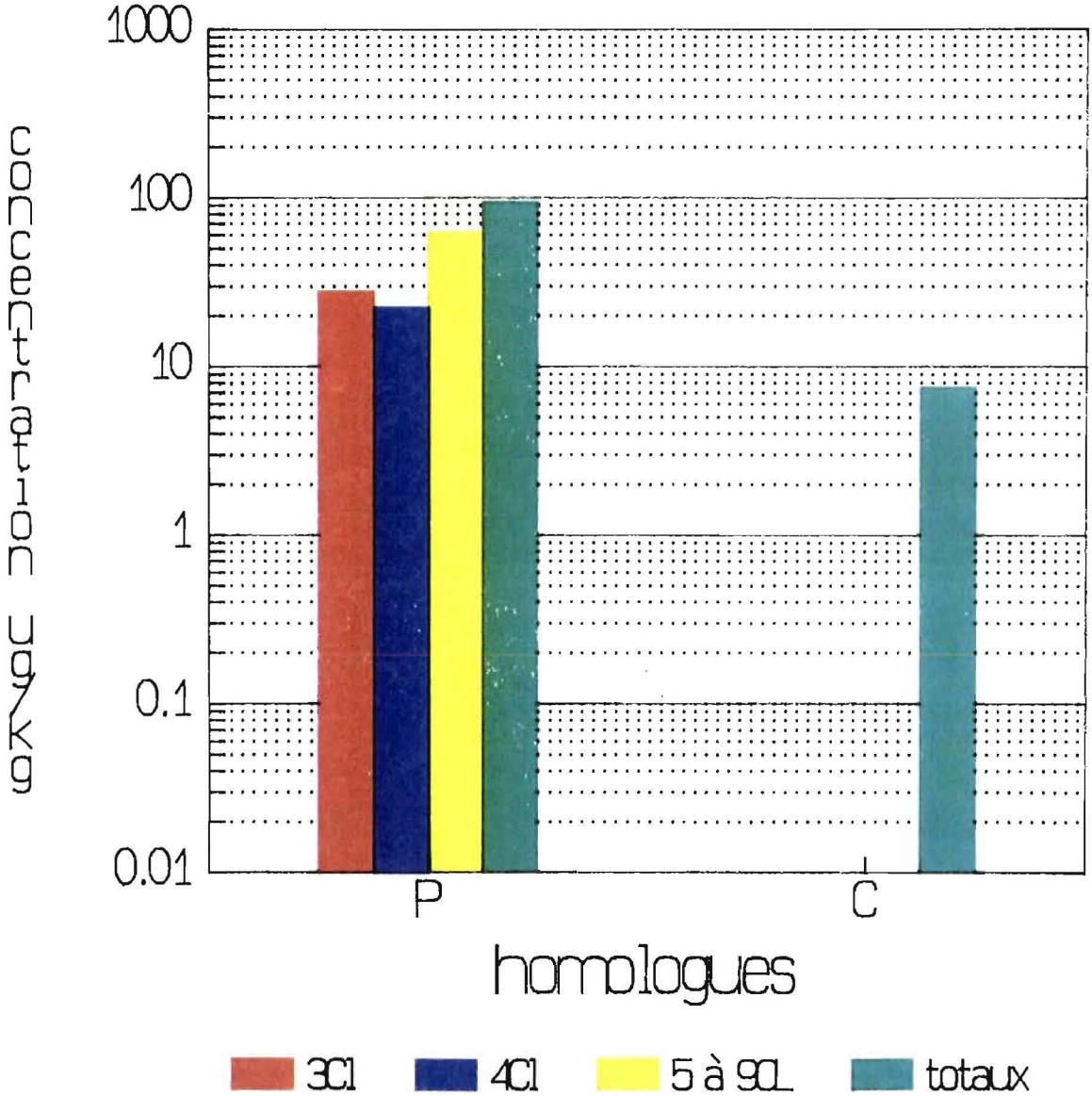
S=site P=panache C=contrôle

OMNIVORES-MAMMIFERES
BPC dans le corps entier
RONGEURS



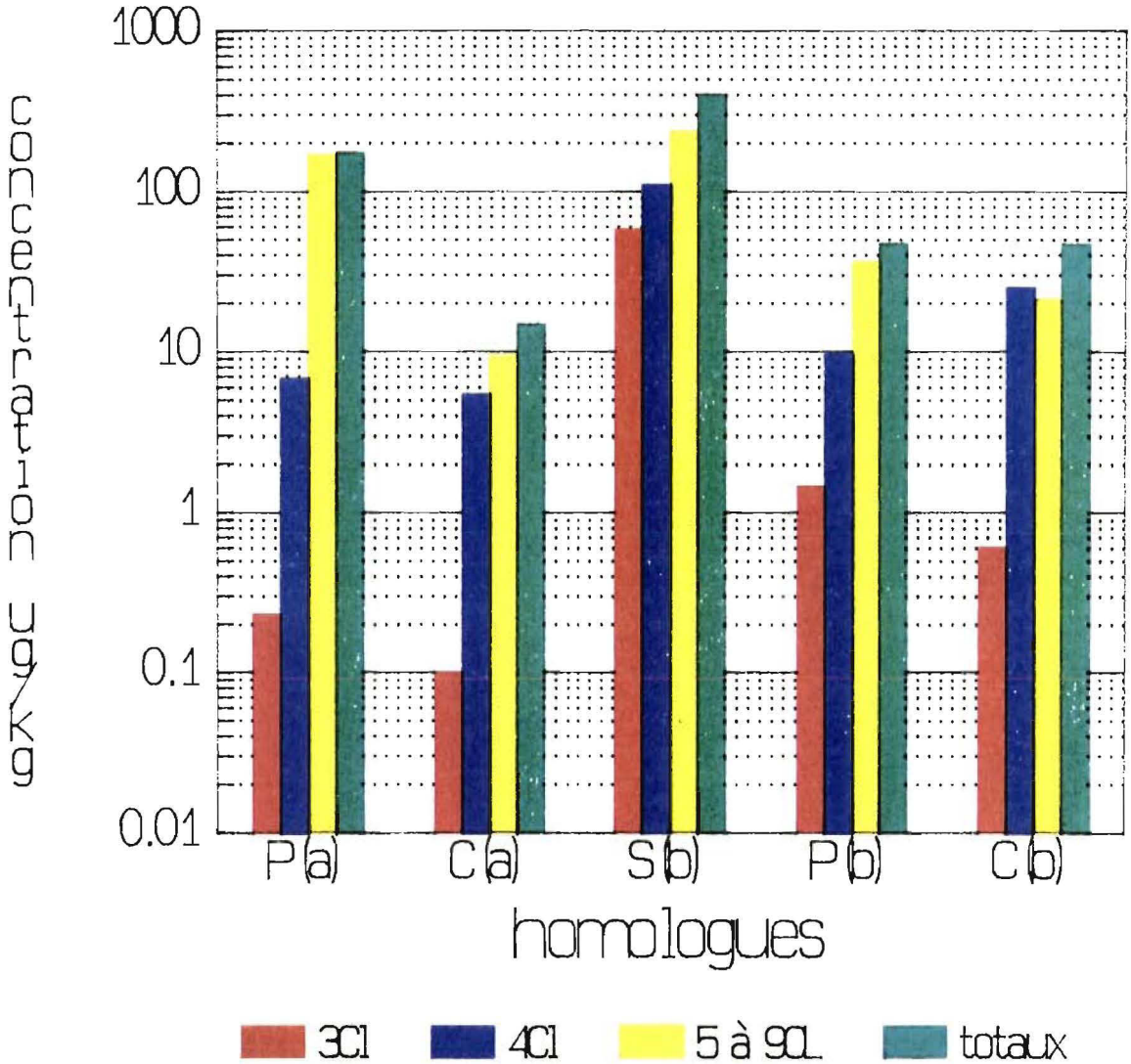
S=site P=panache C=contrôle

INSECTIVORES-AMPHIBIENS
BPC dans le corps entier
GRENOUILLE



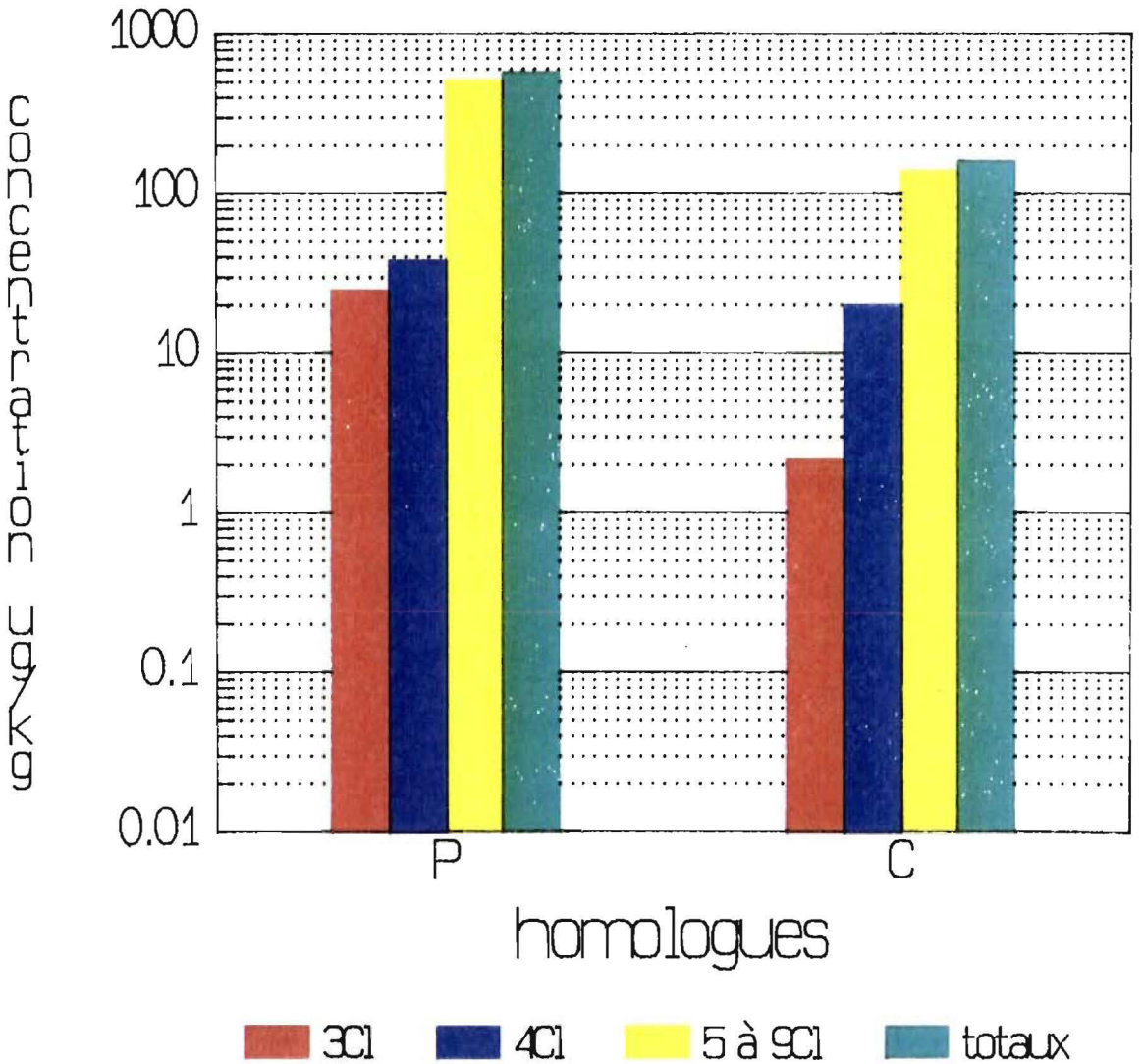
P=panache C=contrôle

INSECTIVORES-MAMMIFERES
BPC dans le corps entier
MUSARAIGNE CENDREE



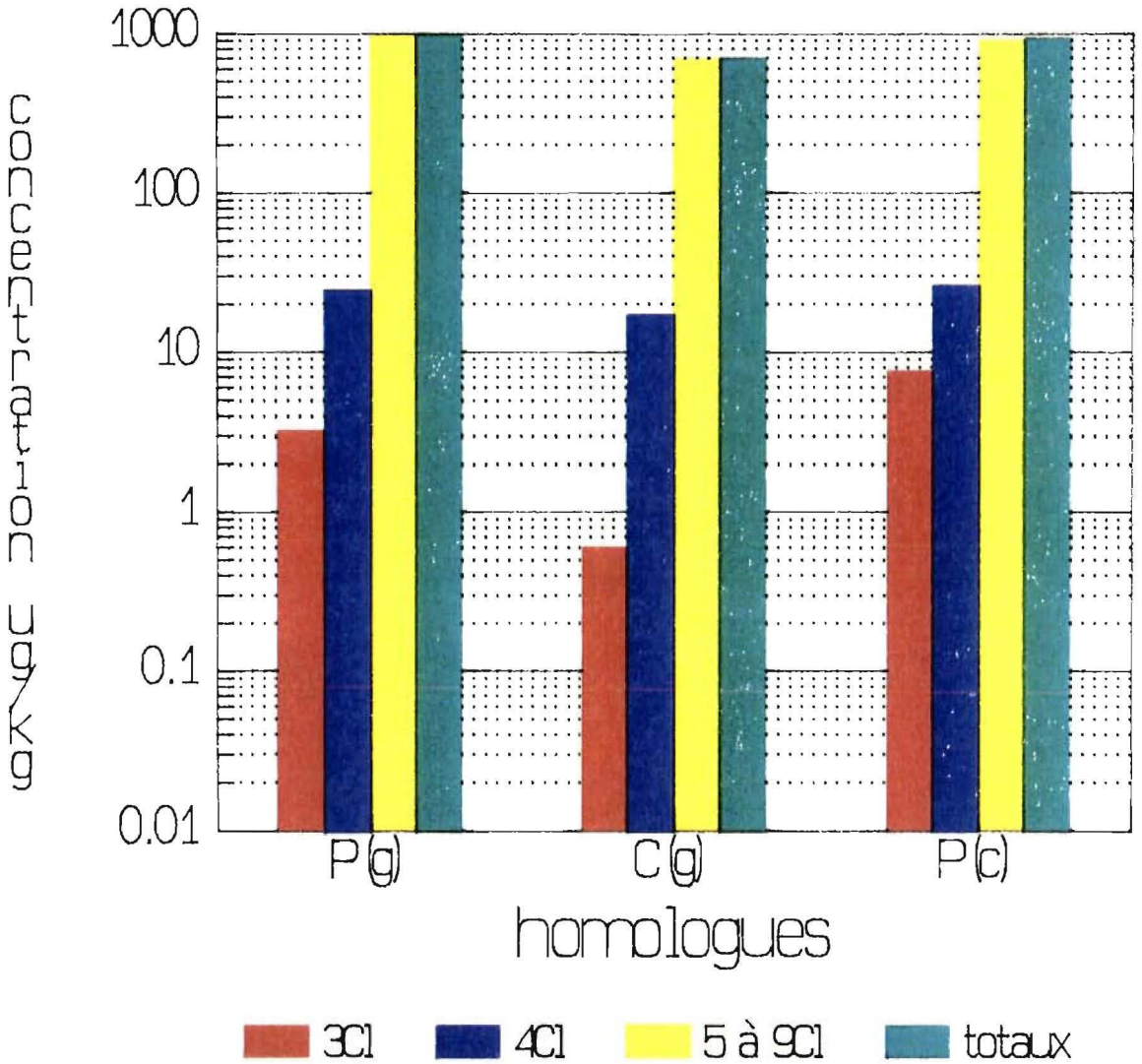
S=site P=panache C=contrôle
a=moins de 30jours
b=plus de 30 jours

RAPACES DIURNES
BPC dans l'oeuf
CRECERELLE D'AMERIQUE



P=panache C=contrôle

RAPACES NOCTURNES
BPC dans l'oeuf
GRAND-DUC et CHOUETTE RAYEE



P=panache C=contrôle
g=grand-duc d'Amérique
c=chouette rayée