

**RÉSIDUS D'HEXAZINONE DANS L'EAU ET LES SÉDIMENTS À LA SUITE DE
TRAITEMENTS RÉALISÉS DE 1989 À 1994
EN MILIEU FORESTIER**

Jean Legris, biol.

Gisèle Couture, tech. de la faune

Pierre Léveillé, biol.

**Ministère des Ressources naturelles
Direction de l'environnement forestier
Service du suivi environnemental**

Québec, juin 1997

© Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Québec, 1997
ISBN 2-550-31969-9
Code de diffusion : RN97-3067

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le personnel du ministère des Ressources naturelles qui a collaboré à la réalisation de cette étude et, spécialement :

Michel Carmichaël	tech. de laboratoire
Lise Deschênes	tech. de la faune
Luc Laberge	biologiste
Guy Mamarbachi	chimiste
Suzanne Leblond	secrétaire
Chantal Turcotte	tech. de laboratoire

SOMMAIRE

De 1989 à 1996, la Direction de l'environnement forestier du ministère des Ressources naturelles du Québec a effectué un suivi environnemental des résidus d'hexazinone dans l'eau et les sédiments de cours d'eau protégés par une bande de protection de 25 ou 50 mètres et dans des mares intentionnellement exposées à une application de 2,2 kg i.a./ha. Les objectifs étaient de quantifier les résidus et d'évaluer la persistance de l'hexazinone dans le milieu aquatique à la suite de traitements en milieu forestier.

Dans les deux mares étudiées, la concentration initiale dans l'eau approche 1 000 µg/l et près de 50 % du produit se dissipe à l'intérieur d'une période de trois jours. De faibles quantités d'hexazinone sont décelées jusqu'à 39 mois après le traitement. Dans les sédiments, les concentrations sont plutôt variables et ne dépassent pas 7 µg/g poids sec. Les valeurs sont inférieures à 1 µg/g après 12 mois et sont décelées jusqu'à 77 mois.

Près de soixante ruisseaux répartis dans 26 secteurs d'application ont fait l'objet de prélèvements (~ 400 eaux et 200 sédiments). Des résidus d'hexazinone sont fréquemment retrouvés dans l'eau (> 1,00 µg/l) et occasionnellement dans les sédiments (> 0,010 µg/g poids sec) des cours d'eau, quelle que soit la largeur de la bande de protection. Des résidus sont détectés jusqu'à 39 mois dans l'eau et 6 ans dans les sédiments. Avec la bande de protection de 50 m, les concentrations sont généralement inférieures à celles retrouvées avec une bande de 25 m, particulièrement lors des premiers mois après l'application du phytocide.

Actuellement, les utilisateurs ne peuvent appliquer ce produit par voie terrestre à moins de 50 m d'une étendue d'eau. Avec de telles bandes, les niveaux de résidus observés ne devraient pas présenter de risques toxicologiques significatifs pour la majorité des organismes aquatiques.

LEGRIS, J., G. COUTURE et P. LÉVEILLÉ, 1997. *Résidus d'hexazinone dans l'eau et les sédiments à la suite de traitements réalisés de 1989 à 1994 en milieu forestier*, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'environnement forestier, Service du suivi environnemental, code de diffusion n° RN97-3067, 40 p.

Mots-clés : hexazinone, résidus, eau, sédiments, milieu aquatique, toxicité

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
SOMMAIRE.....	v
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
INTRODUCTION.....	1
1. DESCRIPTION DES TRAITEMENTS.....	3
1.1 Produits utilisés.....	4
1.2 Techniques d'application.....	4
2. DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLONNAGE.....	7
2.1 Stations en milieu lentique.....	7
2.2 Stations en milieu lotique.....	9
2.3 Techniques de prélèvement.....	13
2.4 Techniques d'analyse.....	13
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	15
3.1 Résidus d'hexazinone en milieu lentique.....	15
3.1.1 Eau.....	15
3.1.2 Sédiments.....	18
3.2 Résidus d'hexazinone en milieu lotique.....	19
3.2.1 Vérification de certaines variables pouvant influencer les résultats.....	20
a) Représentativité des échantillons.....	20
b) Distance des stations par rapport au site traité.....	20
c) Influence du délai de récolte par rapport aux périodes de pluies.....	21
3.2.2 Eau.....	22
a) Cours d'eau sans bande de protection.....	23
b) Cours d'eau protégés par une bande de 25 mètres.....	24
c) Cours d'eau protégés par une bande de 50 mètres.....	24
d) Comparaison des résidus selon la largeur de la bande de protection.....	24
e) Vérifications ponctuelles dans l'eau.....	27
3.2.3 Sédiments.....	29
a) Cours d'eau sans bande de protection.....	29
b) Cours d'eau protégés par une bande de 25 mètres.....	30
c) Cours d'eau protégés par une bande de 50 mètres.....	32
3.3 Évaluation sommaire des impacts de l'hexazinone en milieu aquatique.....	34
CONCLUSION.....	37
BIBLIOGRAPHIE.....	39

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1	Superficies traitées à l'hexazinone en forêt publique de 1989 à 1996	3
TABLEAU 2A.	Description des secteurs d'application d'hexazinone et des stations d'échantillonnage des cours d'eau protégés par une bande de 25 mètres	11
TABLEAU 2B	Description des secteurs d'application d'hexazinone et des stations d'échantillonnage des cours d'eau protégés par une bande de 50 mètres	12
TABLEAU 3.	Résidus d'hexazinone dans l'eau et les sédiments de milieux lenticques.....	16
TABLEAU 4.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans des échantillons d'eau dupliqués	20
TABLEAU 5.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans l'eau des cours d'eau en fonction de la distance du site traité.....	21
TABLEAU 6.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans des échantillons d'eau consécutifs récoltés après des pluies.....	22
TABLEAU 7	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans l'eau d'un cours d'eau sans bande de protection	23
TABLEAU 8.	Concentrations moyennes d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans l'eau selon les débits des cours d'eau (bande de 50 mètres).....	24
TABLEAU 9.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans l'eau de milieux lotiques protégés par une bande de 25 mètres	25
TABLEAU 10.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans l'eau de milieux lotiques protégés par une bande de 50 mètres	26
TABLEAU 11.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/l}$) dans l'eau des cours d'eau ayant fait l'objet de vérifications ponctuelles.....	28
TABLEAU 12.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/g}$) dans les sédiments d'un cours d'eau sans bande de protection.....	29
TABLEAU 13.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/g}$) dans les sédiments de milieux lotiques protégés par une bande de 25 mètres.....	31
TABLEAU 14.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/g}$) dans les sédiments des cours d'eau ayant fait l'objet de vérifications ponctuelles	32
TABLEAU 15.	Résidus d'hexazinone ($\mu\text{g/g}$) dans les sédiments de milieux lotiques protégés par une bande de 50 mètres.....	33
TABLEAU 16.	Analyse préliminaire du risque toxicologique associé aux résidus d'hexazinone retrouvés en milieu forestier	35

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.	Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus d'hexazinone en milieu aquatique.....	8
FIGURE 2.	Résidus moyens d'hexazinone dans l'eau de milieux lentiques.....	17
FIGURE 3.	Résidus moyens d'hexazinone dans les sédiments de milieux lentiques.....	19
FIGURE 4.	Concentrations moyennes d'hexazinone dans l'eau des cours d'eau protégés par des bandes de 25 et 50 mètres.....	27

INTRODUCTION

En 1986, le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) évaluait les possibilités d'utiliser, pour ses travaux sylvicoles, un phytocide ayant pour ingrédient actif l'hexazinone. Plusieurs essais ont été réalisés avec des dosages et des équipements variés soit pour le dégagement des plantations soit pour la préparation des terrains avant le reboisement. Ces essais ont permis de mettre au point des techniques opérationnelles, principalement en intégrant le phytocide à des systèmes mécaniques de préparation des terrains ou en appliquant le phytocide directement au sol après une mise en andains du site.

Dans le but de connaître le comportement de l'hexazinone dans le contexte d'utilisation québécois, la Direction de l'environnement forestier du MRNQ a entrepris en 1989 un suivi environnemental des résidus de ce phytocide. La présente étude porte sur les résidus d'hexazinone dans l'eau et les sédiments de milieux aquatiques qui se trouvent à l'intérieur ou à proximité des secteurs traités. Ce suivi a été effectué lors des opérations courantes réalisées en forêt publique et visait à vérifier la mobilité et la persistance du produit.

Étant donné la dynamique du milieu lotique, plusieurs cours d'eau ont été échantillonnés afin de vérifier la contamination de ces derniers sous différentes conditions opérationnelles et environnementales. Au cours des années qu'a duré cette étude (1989 à 1996), la protection accordée aux cours d'eau pendant les opérations a subi certaines modifications qui ont influencé les résultats obtenus lors de ce suivi environnemental. En 1989 et 1990, une bande de protection de 25 mètres était prescrite le long de tout cours d'eau à écoulement permanent et aucune bande n'était requise pour un cours d'eau intermittent. À la suite des premiers résultats obtenus lors de ce suivi environnemental, le Ministère a prescrit à partir de 1991, des bandes de protection de 50 mètres pour tout cours d'eau, qu'il soit asséché ou non lors des travaux, afin d'assurer une protection adéquate du milieu aquatique.

À l'intérieur des sites traités, on trouve parfois des mares de faibles dimensions qui ne sont pas directement exposées au phytocide en conditions opérationnelles. Pour mieux cerner le comportement de l'hexazinone dans un milieu plus statique, deux mares ont été directement exposées au phytocide afin de vérifier la persistance du produit.

Les résultats obtenus lors de ce suivi environnemental nous permettent de mieux connaître les niveaux résiduels d'hexazinone à la suite des différentes opérations forestières réalisées au Québec et d'en évaluer sommairement les impacts toxicologiques sur le milieu aquatique.

1. DESCRIPTION DES TRAITEMENTS

Les traitements à l'hexazinone ont été réalisés dans le cadre de deux types d'intervention : la préparation des terrains avant le reboisement et le dégagement des plantations. Le tableau 1 dresse le bilan des superficies traitées en forêt publique depuis 1989, selon le type d'intervention.

TABLEAU 1. SUPERFICIES TRAITÉES À L'HEXAZINONE EN FORÊT PUBLIQUE DE 1989 À 1996

ANNÉE	SUPERFICIES (ha)	
	PRÉPARATION	DÉGAGEMENT
1989	936	111
1990	2479	240
1991	1279	3
1992	986	0
1993	960	0
1994	313	0
1995	0	0
1996	0	0

La préparation de terrain vise à limiter l'établissement de la végétation de compétition sur un site prévu pour le reboisement. Après la coupe forestière, les débris de coupes peuvent être mis en andains par un bélier mécanique muni d'un râteau forestier ou d'une pelle. Cette opération laisse généralement peu de végétation au sol selon le degré de sévérité de l'intervention. Les déchets de coupe peuvent également être écrasés sur le site qui est alors préparé mécaniquement à l'aide d'un scarificateur, créant ainsi des sillons propices au reboisement. L'application d'un phytocide est une mesure préventive dans les secteurs où des problèmes de végétation concurrente sont fortement anticipés. Certains équipements permettent l'application du produit en même temps que la préparation mécanique du site. La majorité des travaux requérant l'hexazinone se déroule en période de pré-émergence de la végétation soit durant les mois de mai et juin.

Le dégagement des plantations se déroule habituellement 1 ou 2 ans après le reboisement. La végétation de compétition peut alors atteindre 1 à 2 mètres de hauteur et est souvent composée d'espèces colonisatrices telles le Framboisier (*Rubus idaeus* L.), l'Épilobe à feuilles étroites (*Epilobium angustifolium* L.) et le Cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* L.f.). L'utilisation de l'hexazinone pour dégager les plants opprimés doit alors s'effectuer en traitement localisé avec un pistolet applicateur afin de ne pas affecter les plants reboisés.

1.1 Produits utilisés

L'hexazinone est un phytocide de la famille des triazines. Son nom chimique est le 3-cyclohexyl-6-(diméthylamino)-1-méthyl-1,3,5-triazine-2,4,(1H,3H)-dione. C'est un produit à action systémique. Que sa formulation commerciale soit liquide ou granulaire, il est surtout absorbé par les racines. Il est alors transporté par le xylème jusqu'au feuillage où il affecte le processus de photosynthèse causant ainsi la mort de la plante. L'hexazinone est soluble à l'eau et les pluies favorisent son absorption par le système racinaire.

L'efficacité des produits à base de cet ingrédient actif peut être réduite à mesure qu'augmente la teneur en matière organique du sol. Compte tenu de sa mobilité, son utilisation est déconseillée dans des sols rocheux, graveleux, sablonneux ou à texture grossière ainsi que dans les pentes escarpées (DuPont Canada, s.d.).

Le Velpar^{MD} L, formulation liquide, produit par DuPont Canada inc., a été utilisé dans la majorité des secteurs traités. Le produit contient 240 grammes d'ingrédient actif (i.a.) par litre. La dose d'application prescrite variait de 1 800 à 4 320 g i.a./ha soit entre 7,5 et 18 l/ha. Le produit était dilué avec de l'eau lorsqu'il était appliqué pour la préparation des terrains alors que le produit commercial non dilué était utilisé avec le pistolet applicateur pour le dégagement des plantations.

Le Pronone^{MD} 10 G, formulation granulaire contenant 10 % d'ingrédient actif et vendu par Pro-Serve inc., n'a été utilisé que dans un seul des sites étudiés. La dose d'application était d'environ 2 200 g i.a./ha soit près de 22 kg/ha de granules.

1.2 Techniques d'application

Six appareils d'application différents ont été utilisés pour réaliser les traitements dans les secteurs étudiés. Nous présentons une brève description de chacun d'entre eux tirée de Campagna *et al.* (1995).

Le scarificateur-pulvérisateur :

Il s'agit d'une débusqueuse équipée d'un scarificateur à disques passifs (TTS-35H) et d'une unité de pulvérisation d'une capacité de 1 000 litres comportant quatre buses à jet droit (#003). Ces buses sont disposées de part et d'autre des bras du scarificateur à 90 cm au-dessus du sol de façon à surplomber la végétation d'une distance d'environ 30 cm. Les jets sont dirigés directement vers le sol de chaque côté du sillon. Des sillons espacés d'environ 2 mètres résultent du passage de cet appareil.

La pelle herbicide :

Cet équipement consiste en un bouteur muni d'une pelle en V qui déblaye les déchets de coupe sur une largeur d'environ 2 mètres. Un réservoir en acier de 200 litres ainsi qu'une pompe centrifuge hydraulique à grande pression sont installés à l'arrière du bouteur pour permettre l'application simultanée du phytocide. Quatre buses à jet droit (#0,00012 modifiées) orientées directement vers le sol permettent d'arroser près du passage des chenilles ainsi qu'aux extrémités de la section déblayée.

L'épandeur de granules :

Un système d'épandeur Granul-air^{MD} monté sur une débusqueuse a été utilisé dans un des secteurs étudiés. Cet épandeur est spécialement conçu pour exécuter des travaux d'épandage en milieu forestier. Le réservoir a une capacité de 510 litres. Les granules sont amenés par une vis sans fin vers deux souffleries tubulaires actionnées par un moteur hydraulique. Les tuyaux de sortie projettent les granules dans l'air de chaque côté de l'appareil jusqu'à une distance d'environ 13 mètres.

Le pistolet applicateur :

Il s'agit d'un pistolet à jet dosé (*spot gun*) qui permet de diriger une quantité de phytocide non dilué sur le sol à la base de la végétation de compétition. Cet appareil est muni d'un réservoir de 1 à 5 litres, qui se porte sur le dos ou en bandoulière, et d'un tuyau au bout duquel un pistolet est attaché. La longueur de la course de la gâchette détermine la quantité de produit épandue (de 1 à 20 ml par application).

La rampe forestière :

Il s'agit d'une débusqueuse ou d'un porteur forestier équipé d'un réservoir d'une capacité de 2 000 litres et d'un système de pulvérisation composé d'une rampe centrale à laquelle se greffent, sur deux charnières à ressort, deux sections de rampe repliables. La longueur totale de la rampe varie de 6 à 9 mètres et la hauteur maximale atteint 2 mètres. Des buses à jet droit (#003) sont distribuées à distance égale (environ 50 cm) sur un boyau, maintenu à l'horizontal par la rampe. Les jets sont dirigés directement vers le sol.

Le pulvérisateur à barillet :

L'unité de pulvérisation comporte un réservoir de 2 000 litres monté sur une débusqueuse ou un porteur forestier. Aussi nommé *Boomjet*^{MD}, le système de pulvérisation est composé d'un corps central circulaire, d'un diamètre de 5 cm, monté sur une courte section verticale de rampe. La pulvérisation se fait généralement de 1 à 2 mètres au-dessus de la végétation. Cinq buses de trois

modèles différents sont attachées à ce corps central. D'abord, une buse centrale à jet plat (#9506) dirige un jet dont l'angle varie de 95° à 110° vers le bas. Viennent ensuite deux buses désaxées (#OC-20 ou #OC-10) situées de chaque côté du barillet et dont le jet est dirigé vers le bas. Finalement, deux buses à jet plat de 5° (#0520HE) sont installées de chaque côté du barillet et couvrent les extrémités du patron d'arrosage. La pulvérisation s'effectue sur une bande d'environ 14 à 15 mètres de large.

Note : Les deux derniers systèmes de pulvérisation peuvent être montés sur un même engin porteur. L'opérateur utilise le pulvérisateur à barillet lorsque les vents sont inférieurs à 8 km/h alors que la rampe forestière peut être utilisée tant que les vents ne fractionnent pas les jets (jusqu'à environ 25 km/h).

2. DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Vingt-six secteurs d'application ont été visités au cours de la présente étude qui s'est échelonnée sur une période de 8 ans. Ces secteurs représentent la presque totalité des secteurs traités à l'hexazinone durant cette période. Certains secteurs ont été suivis de façon plus intensive afin d'établir un comportement de base du phytocide, tandis que d'autres n'ont été visités que quelques fois afin de valider ponctuellement ce comportement. Tous les équipements d'application décrits précédemment ont été utilisés lors des travaux nécessaires à la préparation des terrains ou au dégagement des plantations. La figure 1 permet de localiser les différents secteurs d'application, alors que les tableaux 2a et 2b présentent une description des interventions réalisées de même que des stations d'échantillonnage établies dans chacun de ces secteurs.

2.1 Stations en milieu lentique

Les mares susceptibles de se retrouver dans les zones à traiter sont habituellement exclues des aires d'application du phytocide. Elles sont généralement de faibles dimensions et reçoivent les eaux de drainage d'une faible superficie du secteur traité. Dans le cadre de la présente étude, deux mares ont été traitées intentionnellement en 1990 afin de mieux cerner le comportement des résidus dans l'eau et les sédiments d'un milieu aquatique plus statique.

La mare # 1 est située dans le secteur Chasseur (figure 1: E). Une mise en andains des déchets de coupe avait été réalisée dans ce secteur laissant le sol à nu. Une application de 2,2 kg i.a./ha a été réalisée à l'aide d'une rampe forestière. Au début de l'échantillonnage, cette mare présentait un volume d'environ 43 m³ (18 m X 8 m X 0,3 m). Le fond était recouvert d'un limon argileux et les rives colonisées par des scirpes *sp.*, des carex *sp.* et des graminées *sp.*. À la fin de la période d'échantillonnage, le volume avait considérablement diminué (environ 10 m³) et la végétation avait presque complètement envahi la mare.

La seconde mare (mare # 2) est localisée dans le secteur Rouillard (figure 1: H) où le framboisier prédominait. Des aulnes étaient également présents autour de la mare. Une application de 2,2 kg i.a./ha y a été réalisée à l'aide d'une rampe forestière. La mare avait un volume de 12 m³ (8 m X 5 m X 0,3 m) au début de l'échantillonnage. Ce volume pouvait cependant varier selon les précipitations. La mare pouvait s'assécher durant la période estivale tout comme il pouvait y avoir débordement et écoulement après d'importantes précipitations. Le type de fond était plutôt organique constitué de débris végétaux décomposés et de mousses.

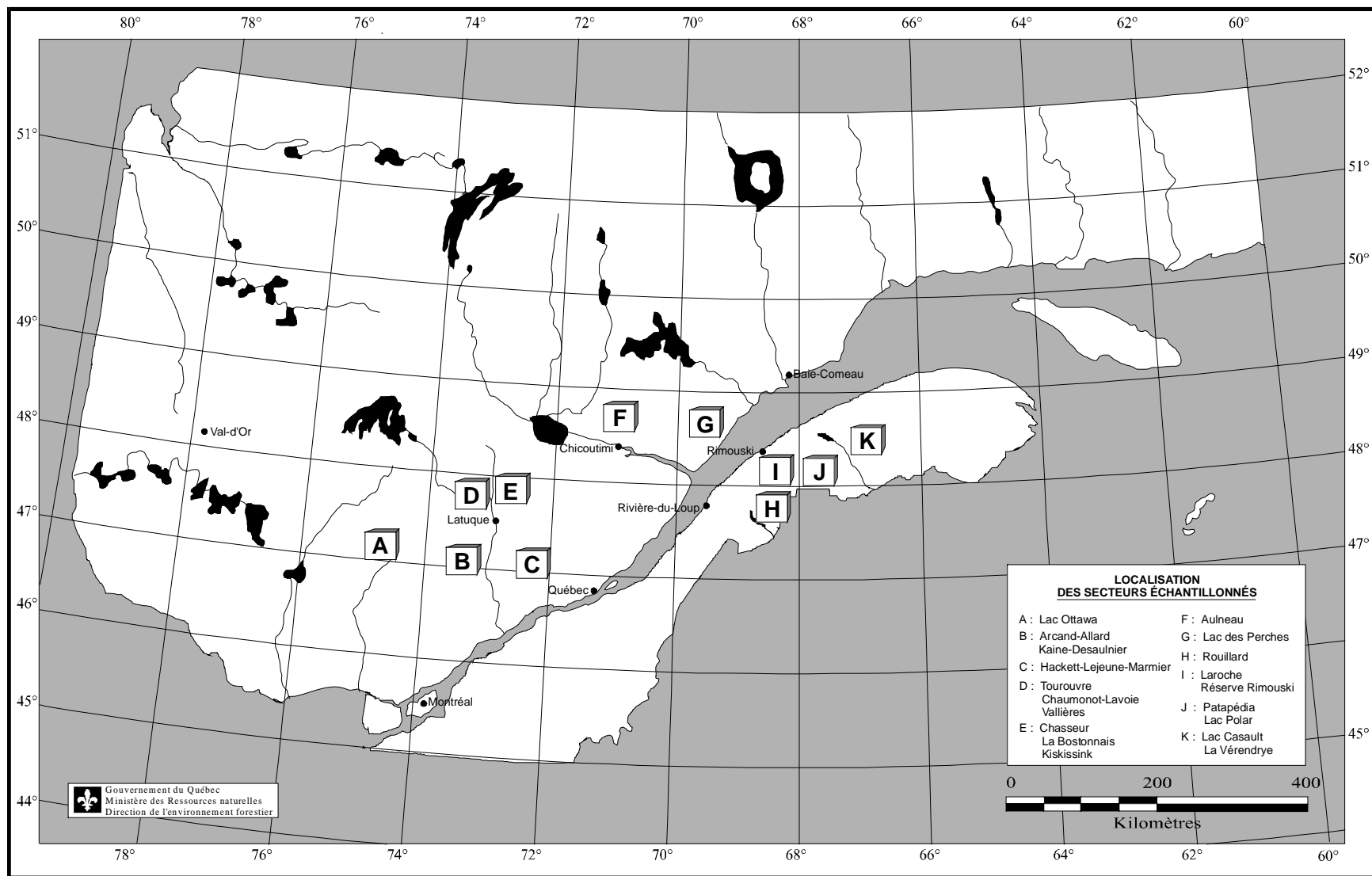


FIGURE 1. Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus d'hexazine en milieu aquatique

Dans chacune des mares, des échantillons témoins d'eau et de sédiments ont été recueillis avant le traitement. Pour l'eau, un prélèvement a été fait 1 heure après l'application du phytocide pour estimer la concentration maximale. Puis, un échantillonnage quotidien a été réalisé au cours de la première semaine, suivi d'un échantillonnage hebdomadaire pour le reste du mois et d'un échantillonnage mensuel jusqu'au début de l'hiver. Trois ou quatre échantillons ont ensuite été prélevés annuellement jusqu'à la non-détection du produit dans au moins deux échantillons successifs. Généralement, des échantillons de sédiments étaient prélevés en même temps que les échantillons d'eau à partir de la troisième journée après le traitement. Lorsque les mares étaient asséchées, des échantillons de boue humide étaient tout de même récoltés. On visait à poursuivre l'échantillonnage jusqu'à la non-détection du produit dans au moins deux échantillons successifs.

2.2 Stations en milieu lotique

Dans cette étude, le terme cours d'eau est pris au sens large et peut représenter un ruisseau permanent ou intermittent ou, dans certains cas, une rigole en bordure ou à l'intérieur des secteurs traités. La plupart de ces ruisseaux se situent à la tête du bassin de drainage et drainent des superficies de faibles dimensions. Bien que les débits de ces cours d'eau puissent varier beaucoup, ils se situent généralement en deçà de 100 litres/seconde.

Les stations d'échantillonnages sont positionnées le plus près possible des zones traitées selon les conditions propres à chaque site. Lorsque la station est située en bordure du secteur traité, elle est alors désignée comme étant à une distance de 0 km. Dans les autres cas, la distance entre le secteur traité et le point d'échantillonnage était notée. Occasionnellement, la station a dû être déplacée de quelques dizaines de mètres en aval ou en amont du site d'origine à cause de détournement, d'inondation ou d'assèchement du cours d'eau. Trois cours d'eau ont été échantillonnés à différentes distances du secteur traité afin de vérifier l'influence de cette variable sur les concentrations retrouvées.

Autant que possible, l'échantillonnage a été exécuté à la suite de précipitations. Cette procédure visait non seulement à accroître les probabilités de retrouver des résidus mais aussi à déceler les concentrations maximales susceptibles d'atteindre les cours d'eau. Notons cependant que l'importance des précipitations a pu varier avant chaque période d'échantillonnage.

En 1989 et 1990, la séquence d'échantillonnage mettait l'accent sur la quantification des résidus peu de temps après le traitement. Plusieurs échantillons ont donc été récoltés au cours du premier mois après le traitement. En plus de récolter des échantillons 1 ou 2 jours après le traitement, une série de trois

échantillons quotidiens consécutifs devait également être prélevée après des pluies significatives. Par la suite, les échantillons étaient récoltés, autant que possible, au printemps, à l'été et à l'automne des années subséquentes jusqu'à la non-détection du produit dans généralement au moins deux échantillons successifs. Compte tenu de la persistance significative de l'hexazinone dans l'eau observée lors des suivis entrepris en 1989, les cours d'eau, établis à partir de 1991, ont été échantillonnés plutôt mensuellement durant l'année du traitement jusqu'au début de l'hiver. Par la suite, les prélèvements étaient réalisés au printemps, à l'été et à l'automne bien que l'échantillonnage printanier ait été annulé vers la fin du programme d'échantillonnage pour certaines raisons logistiques.

Des prélèvements de sédiments pouvaient être combinés aux échantillons d'eau lorsque le type de fond du cours d'eau le permettait et ce, jusqu'à la non-détection du produit dans généralement au moins deux échantillons successifs.

Au total, plus de 400 échantillons d'eau et près de 200 échantillons de sédiments ont été récoltés dans près de 60 cours d'eau différents.

TABLEAU 2A. DESCRIPTION DES SECTEURS D'APPLICATION D'HEXAZINONE ET DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE DES COURS D'EAU PROTÉGÉS PAR UNE BANDE DE 25 MÈTRES

NUMÉRO (a)	NOM OU CANTON	SECTEURS D'APPLICATION				STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE					
		TECHNIQUE D'APPLICATION	DOSE (g i.a./ha)	PRÉPARATION DU SOL (année)	VÉGÉTATION DENSITÉ (%) (b)	COURS D'EAU	DISTANCE (km) (c)	SUPERFICIE (d) (ha)	DÉBIT (litre/sec)	TYPE DE FOND (e)	REMARQUES
410-89-215	Hackett-Lejeune-Marmier	rampe/barillet	2 160	déblaiement et mise en andains (1988)	aucune (sol décapé)	# 1	0	5	0,2 (f)	2-3-4-5	rigole le long du chemin, asséchée l'été
						# 21	0,1	27	150 (f)	----	
231-89-200	Aulneau (Lac à Pitre)	rampe		déblaiement et mise en andains (1988)	aucune (sol décapé)	# 2	0	8	0,4	2-3-8	rigole le long du chemin rigole le long du chemin
						# 11	0	1	0,3	----	
231-89-270	Aulneau (dos de cheval)	pistolet applicateur		plantation 1988	non disponible	# 22	0,5	5	30 (f)	2-4-8	
911-89-199	Lac des Perches	pistolet applicateur	3 600	aucune	Fi (100%)	# 23	0	6	20 (f)	3-8	
742-89-205	Lac Ottawa	barillet	2 880	scarification et mise en andains (1988)	non disponible	# 24	0,2	1	5 (f)	8	
						# 25	0,5	10	10 (f)	8	
420-90-211	Chasseur (Borgia)	rampe	2 160	déblaiement et mise en andains (1989)	aucune (sol décapé)	# 3	0	8	10	----	
						# 4	0	4	5	3-4-5	
420-90-210	Tourouvre (Kennedy)	rampe	2 160	déblaiement et mise en andains (1989)	aucune (sol décapé)	# 5	0	10	3	3-4-5	rigole le long du chemin
						# 6	0	16	14	3-4-5	
						# 7	0	14	7	3-4-5	rigole traversant le secteur
							0,1	14	7	----	
							0,5	14	7	----	
						# 8	0	3	6	3-4-5	
						# 9	0	33	41	4-5	
							0,2	34	64	4-5	
121-90-208	Patapédia	scarificateur-pulvérisateur	2 400	scarification simultanée	RUI-EPA (90%)	# 10	0	85	77	2-8	
410-90-220	Arcand-Allard (Roselin)	rampe	2 160	déblaiement et mise en andains (1989)	aucune (sol décapé)	# 12	0	3	3 (f)	----	
						# 13	0	3	3 (f)	----	
231-90-270	Aulneau (Lamothe)	pistolet applicateur	1 920	déblaiement et mise en andains (1986)	RUI-Fi (80%)	# 14	0,5	5	5 (f)	----	
231-90-270	Aulneau (Shipshaw)	pistolet applicateur	1 920	déblaiement et mise en andains (1986)	RUI-Fi (80%)	# 15	0	3	10 (f)	3-4	
						# 16	0	20	200 (f)	5	
410-90-211	Kaine-Desaulnier	rampe	1 920	déblaiement et mise en andains (1989)	aucune	# 17	0	85	100 (f)	3-8	
111-90-226	Rouillard (ruisseau Richard)	rampe	2 160 4320 (50 %)	aucune	RUI-Fi (100%)	# 18	0	3	8 (f)	----	
						# 19	0,2	40	74	----	
						# 20	0	1	0,5 (f)	----	

TABLEAU 2B. DESCRIPTION DES SECTEURS D'APPLICATION D'HEXAZINONE ET DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE DES COURS D'EAU PROTÉGÉS PAR UNE BANDE DE 50 MÈTRES

NUMÉRO (a)	NOM OU CANTON	SECTEURS D'APPLICATION			STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE						
		TECHNIQUE D'APPLICATION	DOSE (g i.a./ha)	PRÉPARATION DU SOL (année)	VÉGÉTATION (b) DENSITÉ (%)	COURS D'EAU	DISTANCE (c) (km)	SUPERFICIE (d) (ha)	DÉBIT (litre/sec)	TYPE DE FOND (e)	REMARQUES
420-91-210	Chamonot-Lavoie (Slide)	rampe	2 160	déblaiement et mise en andains (1990)	aucune (sol décapé)	# 101	0,2	1	8	----	
						# 102	0	6	8	8	
						# 103	0	10	7	4-5	
						# 104	0,5	10	7 (f)	----	
						# 105	0	4	5	----	
						# 106	0,4	14	25	3	
						# 107	0,2	20	50	1-3-4	
420-91-212	Vallières (Rivière-au-lait)	rampe et épandeur granulaire	2 160	déblaiement et mise en andains (1990)	aucune (sol décapé)	# 108	0	10 (Velpar) 9 (Pronone)	25	----	
						# 109	0	5 (Pronone)	0,5 (f)	3-5	
121-91-205	Lac Casault	scarificateur-pulvérisateur	2400	scarification simultanée	RUI-EPA (90%)	# 110	0	10	3	2-3-4	asséché l'été
						# 111	0	25	10 (f)	1-2	
						# 112	0,5	25	224	----	
121-91-205	Lac Polar	scarificateur-pulvérisateur	2400	scarification simultanée	RUI-EPA (90%)	# 113	0	45	69	2-3-5	
						# 114	0	68	300 (f)	----	
111-91-220	Laroche	pelle-herbicide	2 160	déblaiement simultané	RUI-EPA-Fi (100%)	# 115	0	10	2 (f)	----	
420-92-212	La Bostonnais (Borgia)	rampe	1 800	déblaiement et mise en andains (1991)	aucune (sol décapé)	# 116	0,5	9	15 (f)	----	
						# 117	0	2	15 (f)	2-3-4-5	
						# 118	0	2	15	----	
						# 119	0	12	12	----	
						# 120	0	15	22	3-4-5	
121-92-205	Laroche	scarificateur-pulvérisateur	2 280	scarification simultanée	RUI-EPA (100%)	# 121	0	5	4	----	
121-92-205	La Vérendrye	scarificateur-pulvérisateur	2 280	scarification simultanée	RUI-EPA (100%)	# 122	1,5	40	253	----	
						# 123	1	15	145	----	
121-92-205	Patapédia	scarificateur-pulvérisateur	2 280	scarification simultanée	RUI-EPA (100%)	# 124	0,2	170	260	----	asséché l'été
						# 125	0	20	3 (f)	----	
420-92-210	Kiskissink	rampe	1 800	déblaiement et mise en andains (1991)	aucune (sol décapé)	# 132	0,1	2			
42-93-	Vallières	rampe				# 126	0	3	2 (f)	----	
						# 127	1,2	50	175 (f)	----	
						# 128	0	10	15 (f)	----	
						# 129	0	5	0,5 (f)	----	
420-93-21	Kennedy	rampe				# 130	0	20	10 (f)	----	
012-94-205	Réserve Rimouski	scarificateur-pulvérisateur	2 256	scarification simultanée	RUI-EPA-Fi (100%)	# 131	0,5	12	7 (f)	----	

a. La seconde série de chiffres indique l'année du traitement.

b. RUI = framboisier (*Rubus idaeus*); EPA = épilobe à feuilles étroites (*Epilobium angustifolium*); Fi = feuillus

c. Distance entre la station d'échantillonnage et la limite du secteur traité (incluant la bande de protection)

d. Superficie approximative du secteur traité drainée par le ruisseau

e. Codification: 1 = lutite (argile); 2 = vase; 3 = sable; 4 = gravier fin; 5 = gravier grossier; 6 = blocs, "boulders"; 7 = roc solide; 8 = débris de matière organique

f. Valeur estimée

2.3 Techniques de prélèvement

Tous les récipients utilisés étaient préalablement rincés à l'acétone et à l'hexane en laboratoire. Une feuille d'aluminium était ensuite insérée entre l'ouverture et le couvercle du récipient afin d'éviter toute contamination. Les instruments utilisés devaient également être nettoyés à l'eau distillée et à l'alcool éthylique avant leur utilisation.

Les échantillons d'eau ont été récoltés à l'aide de bouteilles Sovirel^{MD} d'une capacité de 1 litre. En milieu lotique, les échantillons étaient prélevés autant que possible au centre du cours d'eau, en surface, l'ouverture du goulot orientée vers l'amont. En milieu lentique, les échantillons étaient récoltés à 30 cm de la rive. Les échantillons étaient placés au frais dans une glacière (4° C) et expédiés au laboratoire dès que possible. L'hexazinone était extrait des échantillons moins d'une semaine après la récolte alors que le dosage pouvait être réalisé plus tard.

Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'une louche recouverte de chrome d'un diamètre de 92 mm et d'un volume de 100 ml. L'échantillonneur devait faire pénétrer la louche complètement dans les sédiments en la faisant pivoter de façon à la remplir totalement sans perturber la surface de la couche sédimentaire. Un bloc recouvert d'une feuille d'aluminium décontaminée était ensuite appuyée sur la louche afin d'éviter la perte de sédiments lors de la remontée hors de l'eau. Le substrat était ensuite déposé dans un pot en verre. Deux prélèvements, effectués à la même station, constituaient l'échantillon. Les échantillons étaient placés au frais dans une glacière (4° C) et acheminés, dès que possible, au laboratoire où ils étaient congelés jusqu'à leur analyse.

2.4 Techniques d'analyse

Les analyses de résidus d'hexazinone ont été réalisées par le laboratoire de chimie organique du MRNQ selon la méthode décrite par Mamarbachi et Carmichael (1991). La technique d'analyse nécessitait l'usage d'un chromatographe en phase gazeuse Hewlett Packard 5890A équipé de deux détecteurs spécifiques à l'azote et au phosphore (NPD).

Dans l'eau, la technique utilisée a permis d'obtenir une récupération moyenne de 97 % avec un coefficient de variation de 2,8 %. Cette valeur provient de quatre essais effectués à des concentrations de 10 µg/l. La limite de détection de cette méthode est de 1,00 µg/l.

Pour les sédiments, la récupération moyenne est de 89 % avec un coefficient de variation de 5,6 % lors de quatre essais réalisés à des niveaux de concentrations de 1,00 µg/g. La limite de détection est de 0,010 µg/g (poids sec).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pour atténuer la sous-évaluation des résultats décelée lors des tests de récupération, nous avons majoré tous les résultats d'analyses à un pourcentage de récupération équivalent à 100 %. De plus, les valeurs non détectées ont été considérées à la demie de la limite de détection lors des calculs des moyennes (\bar{X}) et des écarts-types (S_x).

3.1 Résidus d'hexazinone en milieu lentique

Le tableau 3 présente les résidus d'hexazinone dans l'eau et les sédiments des deux mares échantillonnées. Rappelons que, pour l'objet de ce suivi, ces petits étangs ont été directement exposés au phytocide. De ce fait, cette situation reflète un scénario de pire cas qui ne devrait pas se présenter en conditions opérationnelles, puisque des bandes de protection doivent être respectées près de ces nappes d'eau. Les pluies survenues durant le premier mois après le traitement à chacun des sites ont été notées. On remarque que les deux échantillons témoins de sédiments prélevés avant le traitement démontrent une faible quantité d'hexazinone (près de la limite de détection). En ce qui a trait à la mare # 2, un travailleur affecté aux pulvérisations a marché dans la mare avant la prise d'échantillon, ce qui pourrait expliquer cette contamination. Pour la mare # 1, la contamination notée dans les sédiments pourrait peut-être s'expliquer par une situation semblable (quoique non confirmée) puisque des travaux étaient en cours dans le secteur où se situait la mare avant le début de l'échantillonnage.

3.1.1 Eau

Les valeurs maximales se retrouvent respectivement après 1 heure (747 $\mu\text{g/l}$) et 1 jour (997 $\mu\text{g/l}$) dans les mares # 1 et # 2. Ces concentrations diminuent de près de la moitié entre 1 et 3 jours après l'application. Dans la mare # 1, la concentration d'hexazinone atteint environ 10 % de la concentration maximale après environ 2 mois alors que, dans la mare # 2, cette valeur est atteinte après environ 2 semaines. Dans un cadre de suivi environnemental, il est difficile de préciser des valeurs de TD_{50} et TD_{90} puisque les pluies ont pu déplacer une partie de l'hexazinone appliqué sur le site vers la mare, le produit étant très soluble dans l'eau. Au cours de la première année après le traitement (12 à 17 mois), les concentrations varient de 5,69 à 30,2 $\mu\text{g/l}$ dans les deux mares alors qu'une valeur maximale de 13,3 $\mu\text{g/l}$ est atteinte au cours de la

2^{ème} année (24 à 29 mois). Les concentrations diminuent en deçà de 3 µg/l à partir de la 3^{ème} année et le produit n'est plus détecté après 39 mois à l'exception d'une seule valeur près de la limite de détection à 50 mois.

TABLEAU 3. RÉSIDUS D'HEXAZINONE DANS L'EAU ET LES SÉDIMENTS DE MILIEUX LENTIKES

DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT	MARE # 1		PLUIE CUMUL. (mm)	MARE # 2		PLUIE CUMUL. (mm)
	EAU (µg/l)	SÉDIMENTS (µg/g)		EAU (µg/l)	SÉDIMENTS (µg/g)	
Témoin	nd ^(a)	0,029	----	(----) ^(b)	0,013	----
1 hre	747	----	----	166	----	----
1 jr	304	----	2,0	997	----	2,0
2 jrs	251	----	2,8	606	----	9,2
3 jrs	236	0,587	6,2	567	0,379	9,8
4 jrs	324	----	7,4	----	----	9,8
5 jrs	341	----	7,4	----	----	9,8
2 sem.	277	4,30	9,4	99,2	7,00	37,6
3 sem.	222	2,99	32,0	59,2	0,105	62,0
1 mois	148	5,22	71,6	72,1	4,05	63,6
2 mois	72,2	0,905	----	68,0	2,73	----
3 mois	63,9	1,18	----	36,2	2,71	----
4 mois	----	----	----	69,5	1,79	----
5 mois	25,1	0,343	----	----	----	----
12 mois	9,89	0,358	----	30,2	0,861	----
14 mois	8,44	0,348	----	----	1,57	----
15 mois	8,42	0,375	----	----	----	----
16 mois	----	----	----	12,4	0,541	----
17 mois	5,69	0,090	----	----	----	----
24 mois	7,30	0,284	----	13,3	0,586	----
26 mois	3,12	0,100	----	7,29	----	----
28 mois	----	----	----	5,15 ^(c)	0,225 ^(c)	----
29 mois	3,37	0,088	----	----	----	----
36 mois	1,84 ^(c)	0,030	----	2,87	0,159	----
39 mois	1,61	0,046	----	1,65	0,141	----
41 mois	nd	0,035	----	nd	0,082	----
50 mois	nd	0,025	----	1,11	0,101	----
52 mois	----	----	----	nd	0,067	----
53 mois	nd	0,096	----	----	----	----
62 mois	----	----	----	----	0,025	----
63 mois	----	nd	----	----	----	----
65 mois	nd	0,097	----	nd	0,057	----
75 mois	----	0,044	----	----	0,028	----
77 mois	----	0,100	----	----	nd	----

a. Non détecté (eau: <1,00 µg/l, sédiments: <0,010 µg/g poids sec)

b. Bris de l'échantillon

c. Moyenne de deux échantillons

Afin d'avoir une image du comportement de l'hexazinone en milieu lentique, nous avons représenté, à la figure 2, les résidus moyens d'hexazinone dans l'eau des deux mares en fonction du temps après le traitement. Notons que les résidus retrouvés à 4 et 5 mois ont été regroupés pour calculer la moyenne après 4 mois alors que les échantillons récoltés les années subséquentes ont été regroupés pour obtenir

une seule valeur moyenne par année. On constate que la concentration moyenne maximale est de $651 \pm 490 \mu\text{g/l}$ et que le temps de dissipation de 50 % des résidus seraient inférieur à 14 jours. Le nombre restreint d'échantillons entre 3 et 14 jours ne nous permet pas d'être plus précis bien que, si l'on considère les mares individuellement (tableau 3), on obtient la moitié des valeurs maximales entre 1 et 3 jours après l'application. Près de 90% des résidus se sont dissipés deux mois après le traitement.

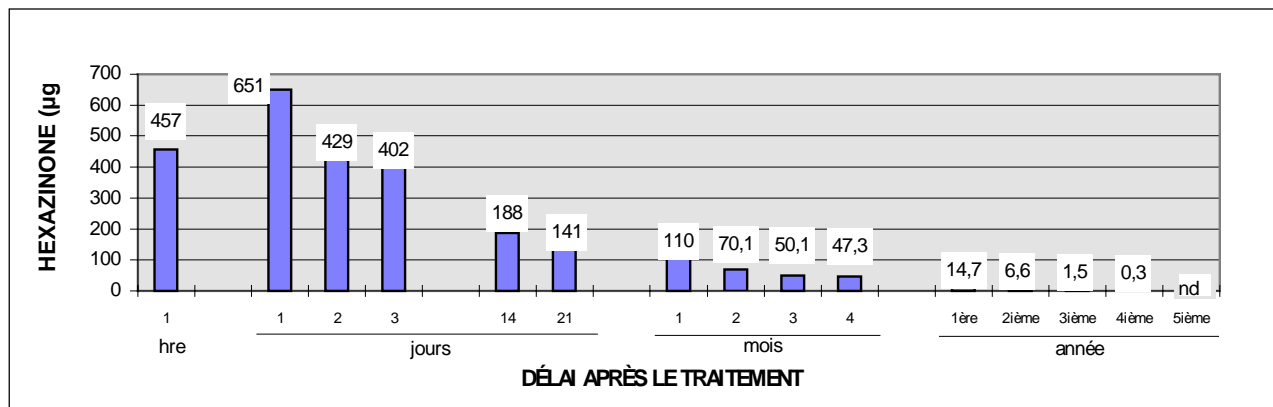


FIGURE 2. Résidus moyens d'hexazinone dans l'eau de milieux lentiques

Legris et Couture (1987) ont vérifié les résidus d'hexazinone dans l'eau d'une mare présentant un écoulement à la suite d'une application de 3,6 kg i.a./ha avec un scarificateur de type Bräcke. L'analyse de huit échantillons lors de ce suivi échelonné sur 69 heures après le traitement a révélé une concentration maximale de $820 \mu\text{g/l}$, trois heures après l'application. Une valeur de $64,8 \mu\text{g/l}$ était retrouvée à la fin de ce suivi.

Solomon *et al.* (1988) ont, pour leur part, étudié la persistance de l'hexazinone dans des enclos de polyéthylène, dans un lac de tourbière du nord de l'Ontario, traités à des taux équivalents à 0,4 et 4 kg i.a./ha. Les concentrations d'hexazinone dans l'eau diminuaient rapidement ($\text{TD}_{50} = \sim 4$ jours) et le produit n'était plus détecté 21 et 42 jours après l'application respectivement pour les deux doses utilisées (limite de détection non précisée).

Une autre étude (Thompson *et al.*, 1992) réalisée dans des enclos de polyéthylène dans un lac de la forêt boréale de l'Ontario (pH ~ 7), indique que les résidus d'hexazinone peuvent persister sous certaines conditions. Des concentrations nominales d'hexazinone (Velpar^{MD} L) de $10^3 \mu\text{g/l}$ et $10^4 \mu\text{g/l}$ se sont très peu dissipées pendant la période de l'étude (35 et 49 jours). Les résultats ont permis d'estimer une demi-vie variant de 131 à 280 jours selon la dose appliquée. Les auteurs attribuaient cette faible dissipation à l'influence de la faible intensité lumineuse et de la courte durée du jour sur la photolyse.

La photodégradation et la décomposition biologique sont les principaux facteurs qui expliquent la diminution des concentrations d'hexazinone dans l'eau (USDA, 1984). Les routes majeures de photodégradation dans l'eau paraissent impliquer la déméthylation qui donne les métabolites B et H (Ghassemi *et al.*, 1982). L'hydrolyse ne paraît pas contribuer de façon appréciable à la dégradation de l'hexazinone dans l'eau (Ghassemi *et al.*, 1981).

En raison de sa forte solubilité dans l'eau (33 g/kg à 25 °C) et de son faible coefficient d'adsorption, il pourra y avoir déplacement de l'hexazinone du site traité vers la mare, particulièrement à la suite de pluies abondantes. Ces apports, variables dans le temps, contribueront à augmenter ou à maintenir des niveaux de résidus plus élevés dans les mares.

3.1.2 Sédiments

Dans les premiers prélèvements effectués lors de ce suivi (3 jours après le traitement), les concentrations trouvées sont de 0,587 µg/g dans la mare # 1 et de 0,379 µg/g dans la mare # 2 (tableau 3). Des précipitations de moins de 10 mm avaient alors été enregistrées à chacun des sites étudiés. Des valeurs maximales de 4,30 et 7,00 µg/g ont respectivement été détectées dans ces mares lors de l'échantillonnage suivant, deux semaines après le traitement. Les précipitations survenues avant le prélèvement de ces échantillons ont peut-être contribué à cette hausse, en déplaçant le produit se trouvant aux alentours des mares vers celles-ci. Mentionnons, à titre d'information, que Léveillé *et al.* (1996) rapportent des résidus équivalents (5 à 7 µg/g) dans la strate 0-10 cm d'un sol traité à une dose semblable, après environ deux semaines.

Après 4 à 5 mois, les résidus dans les sédiments ont diminué de façon importante pour ne représenter qu'environ 7 % de la valeur maximum détectée dans la mare # 1 et 25 % de celle de la mare # 2. Après la 1^{ère} année, les concentrations sont généralement inférieures à 1,00 µg/g alors qu'elles sont près ou inférieures à 0,100 µg/g à partir de la 3^{ième} année. L'hexazinone est détecté jusqu'à la 6^{ième} année après l'application, dernière période échantillonnée dans cette étude (limite de détection de 0,010 µg/g).

Rappelons que l'hexazinone est considéré comme un herbicide mobile de classe 4 selon le système de la classification de Helling et Turner, la classe 5 étant la plus mobile. La grande solubilité de l'hexazinone dans l'eau et son faible coefficient d'adsorption expliquent son potentiel de mobilité dans le sol (Bouchard *et al.*, 1985). Plus le sol est fin, plus le potentiel de mobilité est limité. Parmi les composés du sol, c'est la matière organique qui démontre le plus d'affinité avec l'hexazinone (DuPont Canada inc., s.d.). La dégradation microbienne et la photodégradation seraient les principales voies impliquées dans la dégradation de

l'hexazinone dans les sédiments. Ces processus s'apparenteraient à ceux retrouvés pour le sol (Legris *et al.*, 1995).

Les faibles résidus détectés après trois semaines dans la mare # 2 pourraient s'expliquer par la présence, dans cet échantillon, d'une quantité importante de matière minérale ne favorisant pas l'adsorption du produit. Dans tous les autres échantillons, la matière organique prédominait.

La figure 3 illustre le comportement de l'hexazinone dans les sédiments des milieux lentiques échantillonnés.

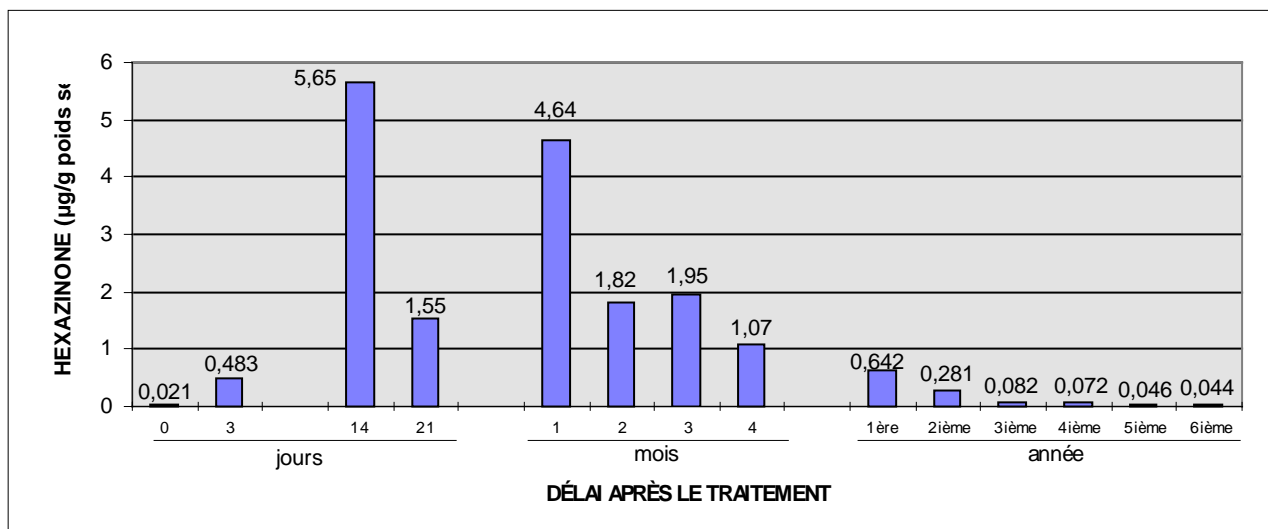


FIGURE 3. Résidus moyens d'hexazinone dans les sédiments de milieux lentiques

3.2 Résidus d'hexazinone en milieu lotique

Quelques-uns des échantillons ont permis de vérifier succinctement l'influence de certaines variables sur le comportement de l'hexazinone. Ainsi, la représentativité d'un échantillon d'eau récolté à un moment précis, l'influence de la distance entre la station d'échantillonnage et le site traité de même que le délai de récolte après une période de pluie sur les concentrations retrouvées dans l'eau ont été examinés. D'autres variables sont susceptibles d'influencer les résultats obtenus mais elles n'ont pas fait l'objet de vérifications particulières lors de cette étude. Mentionnons, à titre d'exemple, quelques variables se rapportant au site traité telles que le type de sol (% de matière organique, porosité, etc.), la pente, le type de préparation de terrain ainsi que le degré de sévérité de la perturbation. Ces caractéristiques, propres à chaque site, peuvent influencer l'adsorption des résidus aux particules de sol ou le ruissellement vers les cours d'eau,

influençant ainsi le déplacement du produit vers les cours d'eau. Les résultats seront donc analysés en tenant compte des constatations qui suivent.

3.2.1 Vérification de certaines variables pouvant influencer les résultats

a) Représentativité des échantillons

Afin de vérifier la représentativité des échantillons récoltés, certains prélèvements ont été récoltés en double et analysés individuellement. Les échantillons ont été recueillis l'un après l'autre, au même endroit dans le ruisseau ou la mare. Les résultats montrent une variation de 0 à 22 % par rapport à la moyenne (tableau 4). Nous jugeons que ces variations, retrouvées aussi dans la littérature scientifique lors d'études équivalentes, sont acceptables compte tenu du cadre de travail en milieu naturel. Ces résultats représentent tout de même l'ordre de grandeur des résidus de phytocide présents dans le milieu.

TABLEAU 4. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/l}$) DANS DES ÉCHANTILLONS D'EAU DUPLIQUÉS

	STATIONS ÉCHANTILLONNÉES								
	ruisseau # 2	ruisseau # 112	ruisseau # 110	ruisseau # 111	mare # 1	mare # 2	ruisseau # 104	ruisseau # 5	ruisseau # 5
1 ^{er} échantillon	nd ^(a)	nd	nd	1,80	2,01	4,87	5,69	10,04	226
2 ^{ème} échantillon	nd	nd	1,10	1,63	1,67	5,42	7,12	8,80	256
Moyenne :	nd	nd	--- ^(b)	1,72	1,84	5,15	6,41	9,42	241
Différence :	0	0	--- ^(b)	0,17	0,34	0,55	1,43	1,24	30
% de la moyenne :	0	0	--- ^(b)	9,9	18,5	10,7	22,3	13,2	12,5

a. Non-détecté (< 1,00 $\mu\text{g/l}$)

b. Non applicable

Note: la valeur moyenne des échantillons dupliqués est considérée comme une valeur unique dans les sections suivantes

b) Distance des stations par rapport au site traité

Certaines stations d'échantillonnage n'ont pu être positionnées à 0 km du site traité en raison de la configuration physique des lieux. Afin de vérifier l'effet de la distance sur les niveaux de résidus détectés, certains ruisseaux ont été échantillonnés à différentes positions sur leur parcours. Ainsi, trois ruisseaux comptaient au moins deux stations d'échantillonnage. Les prélèvements étaient toujours effectués de l'aval vers l'amont, c'est-à-dire de la station la plus distante du site traité vers celle la plus près afin de réduire les risques de contamination. Deux de ces ruisseaux ont été échantillonnés au cours du premier mois après le

traitement alors que, pour le troisième, l'échantillonnage s'est poursuivi jusqu'à l'année suivante. Les résultats sont présentés au tableau 5.

TABLEAU 5. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/l}$) DANS L'EAU DES COURS D'EAU EN FONCTION DE LA DISTANCE DU SITE TRAITÉ

No	STATION	DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT																				
		JOURS											MOIS									
		1	2	3	4	5	11	13	14	15	16	17	18	1	2	3	4	5	12	12	14	17
9	(0 km)	30,2	19,9	---	---	---	---	17,7	11,3	12,2	---	---	---	11,3	---	---	---	---	---	---	---	
	(0,2 km)	30,7	21,1	---	---	---	---	16,5	17,7	12,2	---	---	---	12,9	---	---	---	---	---	---	---	
7	(0 km)	30,6 ^(a)	---	25,6	19,1	26,9	---	---	---	17,2	23,1	15,9	14,2	---	---	---	---	---	---	---	---	
	(0,1 km)	23,2 ^(a)	---	19,1	26,8	20,8	---	---	---	17,9	18,1	14,1	12,2	---	---	---	---	---	---	---	---	
	(0,5 km)	nd ^(a)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	8,0	---	---	---	---	---	---	---	---	
103	(0 km)	nd ^(b)	---	---	---	---	nd	---	---	---	---	---	---	nd	nd	2,47	2,62	5,38	8,23	7,44	9,16	6,25
	(0,5 km)	---	---	---	---	---	nd	---	---	---	---	---	---	nd	nd	1,95	1,73	2,09	5,34	5,02	5,47	6,50

a. Seulement une partie du secteur concerné avait été traité lors de ce prélèvement

b. Non détecté (< 1,00 $\mu\text{g/l}$)

Compte tenu de la variation possible de 20 % observée précédemment, ces résultats nous laissent croire que les concentrations détectées sont passablement identiques ou, tout au moins, du même ordre de grandeur le long d'un même ruisseau jusqu'à 500 mètres en aval du site traité. Bien sûr, il ne doit pas y avoir de tributaire ou de modification importante sur ce tronçon. La valeur non détectée à la station 0,5 km du ruisseau #7, un jour après le traitement pourrait s'expliquer par la présence, en aval de la station 0,1 km, d'un bassin de matière organique susceptible d'adsorber l'hexazinone. Dans la présente étude, nous assumerons que les valeurs trouvées à 0,5 km et moins du site traité sont comparables.

c) Influence du délai de récolte par rapport aux périodes de pluies

Des séries de trois échantillons quotidiens ont été récoltées, à quelques reprises, après des précipitations significatives afin de vérifier l'influence du temps écoulé entre l'échantillonnage et les pluies sur les niveaux de résidus détectés. Ces échantillons ont été récoltés au cours du premier mois après le traitement pour maximiser les niveaux de résidus retrouvés (tableau 6).

On ne peut démontrer de variations évidentes des niveaux de résidus détectés (à la hausse ou à la baisse) reliées directement au délai de récolte après les précipitations. Les débits des cours d'eau n'ont pas été mesurés quotidiennement et ne peuvent donc être utilisés pour quantifier ce phénomène. De façon générale, les résultats obtenus reflètent la variation d'environ 20 % déjà observée pour des échantillons

doubles. Nous considérerons donc que les échantillons récoltés à l'intérieur d'un délai de 72 heures après les précipitations sont comparables.

TABLEAU 6. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/l}$) DANS DES ÉCHANTILLONS D'EAU CONSÉCUTIFS RÉCOLTÉS APRÈS DES PLUIES

DATE	PLUIES (mm)	STATIONS								
		#3 (0 km)	#4 (0 km)	#5 (0 km)	#6 (0 km)	#7 (0 km)	#7 (0,1 km)	#8 (0 km)	#9 (0 km)	#9 (0,1 km)
Mai : 16	0,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
17	8,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	15,8	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19	2,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	0,8	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	3,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---
22	1,2	11,5	3,51	111	1,75	25,6	23,2	---	---	---
23	0,0	11,3	3,91	81,6	1,39	19,1	19,1	---	---	---
24	0,0	8,96	4,70	78,3	1,32	26,9	26,8	---	---	---
25	0,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
26	trace	---	---	---	---	---	---	---	---	---
27	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
28	1,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
29	trace	---	---	---	---	---	---	---	---	---
30	0,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
31	0,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Juin : 1	0,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	0,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3	16,2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
4	5,4	---	---	76	< 1,00	17,2	17,9	4,28	17,7	16,5
5	1,2	---	---	54,6	< 1,00	23,1	18,1	7,66	11,3	17,7
6	0,6	---	---	41,5	1,60	15,9	14,1	5,44	12,2	12,2

3.2.2 Eau

L'échantillonnage des résidus d'hexazinone a été effectué dans la majorité des cours d'eau qui drainaient les superficies traitées lors des travaux réalisés en conditions opérationnelles durant la période de 1989 à 1994. Plus du deux tiers des cours d'eau ont fait l'objet d'un suivi intensif pour vérifier le comportement et la persistance des résidus, alors que d'autres ont été visités de façon plus ponctuelle pour vérifier la présence ou non du produit dans l'eau .

Bien que ces cours d'eau diffèrent les uns des autres, nous examinerons les résultats en fonction surtout de la largeur des bandes de protection qui était de 25 mètres en 1989 et 1990, et de 50 mètres à partir de 1991. Lorsque plus d'une station était établie sur le cours d'eau, une seule station (généralement 0 km) a été

considérée afin de ne comparer qu'une série de valeurs par ruisseau. Dans le même esprit, puisque l'effort d'échantillonnage n'était pas équivalent entre tous les cours d'eau, certains regroupements ont été faits par période (hebdomadaire, mensuelle ou annuelle) pour présenter des valeurs moyennes comparables entre les deux types de bandes de protection.

a) Cours d'eau sans bande de protection

À la suite de l'analyse de l'ensemble des résultats, nous avons constaté que le cours d'eau # 5 présentait des valeurs élevées durant le premier mois suivant l'application du phytocide (tableau 7). Il s'agit possiblement d'un cas de contamination directe qui correspond plutôt à un cours d'eau sans bande de protection. Cette situation particulière pourrait s'expliquer par la procédure de travail utilisée dans ce secteur et les caractéristiques physiques du site. Le secteur présentait un sol décapé et une pente assez prononcée favorisant le ruissellement. Le cours d'eau échantillonné était une rigole à faible débit le long d'un chemin forestier et l'équipement de pulvérisation a fait plusieurs passages successifs dans un sentier de débusquage qui se drainait directement vers celui-ci lors des épisodes de pluies.

Mentionnons aussi que près de 16 mm de pluie ont été enregistrées moins de 12 heures avant la prise de l'échantillon du 2^{ième} jour après le traitement où l'on observe une valeur moyenne de 241 µg/l (226 et 256 µg/l). De telles concentrations se rapprochent des résultats des travaux de Neary *et al.* (1983) qui ont observé un maximum de 442 µg/l après un premier orage survenu trois jours après un traitement de 1,68 kg i.a./ha d'hexazinone sous forme granulaire. Aucune bande de protection n'avait alors été établie le long du cours d'eau.

Les concentrations élevées constatées au cours du premier mois après le traitement diminuent de façon importante et les données observées après 1 an, se comparent aux résidus notés après un même délai pour des cours d'eau protégés avec une bande de 25 mètres. Il est donc plausible que l'effet de la contamination directe ait été atténué par les périodes de précipitations durant la première année.

TABLEAU 7. Résidus d'hexazinone (µg/l) dans l'eau d'un cours d'eau sans bande de protection

DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT	RUISSEAU #5	
	X ± S _x	(n)
1 jour	9,42 ± 0,877	(2)
2 jours	241 ± 21,2	(2)
7 jours	90,3 ± 18,0	(3)
< 1 sem. (a)	114 ± 117,5	(3)
2 semaines	----	
3 semaines	57,4 ± 17,4	(3)
4 semaines	32,8	(1)
< 1 mois (b)	67,9 ± 41,4	(3)
1 an	11,7 ± 1,85	(4)
2 ans	14,6 ± 8,16	(5)
3 ans	1,57 ± 0,963	(3)
Valeur maximale:	241	

a. Moyenne établie à partir des moyennes quotidiennes disponibles

b. Moyenne établie à partir des moyennes hebdomadaires disponibles

b) Cours d'eau protégés par une bande de 25 mètres

Près de 100 prélèvements ont été effectués dans neuf ruisseaux protégés par une bande de 25 mètres (tableau 9). Tous les cours d'eau échantillonnés ont présenté des résidus détectables. Les 2/3 de ces cours d'eau ont présenté des valeurs supérieures à 10 µg/l (maximum absolu de 63,1 µg/l). La moyenne globale pour l'ensemble de ces cours d'eau est de 20,0 ± 19,8 µg/l pour les échantillons récoltés au cours de la 1^{ère} semaine après le traitement. Si on utilise les moyennes hebdomadaires de chacun des ruisseaux, on obtient une moyenne globale de 15,4 ± 19,0 µg/l pour les échantillons récoltés au cours du premier mois après le traitement. L'année suivant le traitement, les concentrations moyennes observées sont généralement inférieures à 5 µg/l jusqu'à la non-détection du produit au cours de la 3^{ième} année après le traitement (39 mois plus précisément).

c) Cours d'eau protégés par une bande de 50 mètres

Vingt-sept ruisseaux protégés par une bande de protection de 50 mètres ont été échantillonnés lors des suivis intensifs dans lesquels plus de 250 échantillons ont été récoltés. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 10. Près de 80 % des cours d'eau échantillonnés ont présenté des résidus détectables bien que seulement 10 % d'entre eux aient dépassé 10 µg/l (maximum absolu de 36,8 µg/l). Les plus fortes concentrations se retrouvent généralement dans les cours d'eau présentant les plus faibles débits (tableau

TABLEAU 8. Concentrations moyennes d'hexazinone (µg/l) dans l'eau selon les débits des cours d'eau (bande de 50 mètres)

Débit (l/sec)	Nombre de ruisseaux	0 - 5 mois après le traitement		
		(µg/l)	(n)	(%)*
< 1	2	8,46	7	100
1 - 10	11	4,14	50	100
10 - 50	9	2,41	44	66
> 50	5	0,74	21	60

* Ruisseaux contaminés

8). La moyenne globale des échantillons récoltés au cours de la 1^{ère} semaine est de 5,04 ± 10,9 µg/l et de 3,51 ± 4,85 µg/l pour ceux récoltés à l'intérieur du premier mois. Les résidus demeurent relativement stables jusqu'à la fin de la saison (autour de 2,5 ± 4 µg/l) et diminuent graduellement les saisons subséquentes. Aucun résidu n'a été détecté après une période de 39

mois.

d) Comparaison des résidus selon la largeur de la bande de protection

La comparaison des résidus détectés dans l'eau en fonction de la largeur de la bande de protection permet de démontrer, comme il était plausible de le croire, que les niveaux de contamination des cours d'eau sont

plus importants en présence d'une bande de protection de 25 mètres que de 50 mètres. Les concentrations plus élevées observées au cours du premier mois après le traitement, avec les bandes

TABLEAU 9. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/l}$) DANS L'EAU DE MILIEUX LOTIQUES PROTÉGÉS PAR UNE BANDE DE 25 MÈTRES

# RUISSEAU	DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT														VALEUR MAXIMALE						
	< 1 sem.		2 sem.		3 sem.		4 sem.		< 1 mois ^(a)		1 an		2 ans			3 ans		4 ans		5 ans	
	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)		X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)
#1	63,1	(1)	----		----		----		63,1	(1)	----		----		----		----		----		63,1
#2	7,75	(1)	----		----		----		7,75	(1)	----		7,73	(1)	3,50 \pm 2,75	(2)	nd ^(b)	(3)	nd	(1)	7,75
#3	14,5	(1)	10,6 \pm 1,41	(3)	----		9,85 \pm 1,12	(3)	11,6 \pm 2,50	(3)	----		----		----		----		----		14,5
#4	3,16 \pm 1,84	(4)	----		5,16 \pm 1,58	(2)	12,1	(1)	6,80 \pm 4,69	(3)	----		----		----		----		----		12,1
#6	1,24 \pm 0,528	(4)	----		0,867 \pm 0,635	(3)	1,04	(1)	1,05 \pm 0,187	(3)	----		----		----		----		----		1,75
#7	25,6 \pm 4,79	(4)	18,7 \pm 3,84	(3)	----		14,2	(1)	19,1 \pm 5,74	(3)	5,20 \pm 2,43	(4)	3,97 \pm 1,56	(5)	1,01 \pm 0,439	(3)	----		----		30,6
#8	19,4 \pm 5,16	(2)	5,79 \pm 1,72	(3)	----		10,6	(1)	11,9 \pm 6,90	(3)	1,67 \pm 0,670	(3)	nd	(5)	----		----		----		23
#9	25,1 \pm 7,28	(2)	13,7 \pm 3,46	(3)	----		11,3	(1)	16,7 \pm 7,37	(3)	1,73 \pm 0,896	(4)	0,984 \pm 0,450	(5)	----		----		----		30,2
#10	----		----		nd	(1)	----		nd	(1)	2,79 \pm 1,10	(3)	1,96 \pm 0,452	(4)	nd	(3)	nd	(1)	----		3,7
MOYENNE																					
GLOBALE^(c)	20,0 \pm 19,8		12,2 \pm 5,42		3,01 \pm 2,59		9,85 \pm 4,57		15,4 \pm 19,0		2,85 \pm 1,65		3,03 \pm 2,95		1,67 \pm 1,61		nd		nd		

a. Moyenne établie à partir des moyennes de chacune des semaines

b. Non détecté (<1,00 $\mu\text{g/l}$); une valeur de 0,5 $\mu\text{g/l}$ a été considérée pour les calculs

c. Moyenne établie à partir des moyennes de chacun des cours d'eau

TABLEAU 10. RÉSIDUS D'HEXAZINONE (µg/l) DANS L'EAU DE MILIEUX LOTIQUES PROTÉGÉS PAR UNE BANDE DE 50 MÈTRES

# RUISSEAU	DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT																VALEUR MAXIMALE																
	< 1 sem.		2 sem.		3 sem.		4 sem.		< 1 mois ^(a)		2 mois		3 mois		4 mois			5 mois		1 an		2 ans		3 ans		4 ans							
	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)		X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)	X ± S _x	(n)				
#101	nd ^(b)	(1)	nd	(1)	---	---	nd	(1)	nd	(3)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	1,09	(1)	0,963 ± 0,925	(4)	nd	(2)	---	---	---	---	2,35						
#102	nd	(1)	2,03	(1)	---	---	1,25	(1)	1,25 ± 0,765	(3)	nd	(1)	2,84	(1)	1,86	(1)	4,02	(1)	2,88 ± 0,568	(4)	0,750 ± 0,433	(3)	---	---	---	---	4,02						
#103	nd	(1)	nd	(1)	---	---	nd	(1)	nd	(3)	nd	(1)	2,47	(1)	2,62	(1)	5,38	(1)	7,78 ± 1,24	(4)	3,00 ± 1,21	(3)	nd	(1)	---	---	9,16						
#104	36,8	(1)	12,4	(1)	---	---	7,03	(1)	18,7 ± 15,9	(3)	5,34	(1)	13,4	(1)	7,44	(1)	---	---	6,91 ± 2,19	(4)	2,81 ± 1,77	(3)	nd	(2)	---	---	36,8						
#105	nd	(1)	---	---	nd	(1)	---	---	nd	(2)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(2)	---	---	---	---	---	---	nd						
#106	2,54	(1)	---	---	1,07	(1)	---	---	1,81 ± 1,04	(2)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	4,74	(1)	2,15 ± 0,456	(4)	1,24 ± 0,784	(3)	nd	(2)	---	---	4,74						
#107	nd	(1)	---	---	nd	(1)	---	---	nd	(2)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	1,69	(1)	nd	(4)	---	---	---	---	---	---	1,69						
#108	3,48	(1)	---	---	---	---	nd	(1)	3,48 ± 2,11	(2)	nd	(1)	nd	(1)	3,85	(1)	---	---	1,76 ± 1,04	(5)	0,777 ± 0,479	(3)	nd	(2)	---	---	3,85						
#109	nd	(1)	---	---	---	---	---	---	nd	(1)	---	---	nd	(1)	4,48	(1)	---	---	4,83 ± 0,926	(5)	3,32 ± 1,35	(3)	1,22 ± 1,01	(2)	nd	(1)	6,1						
#110	---	---	---	---	---	---	7,53	(1)	7,53	(1)	2,64	(1)	2,88	(1)	---	---	---	---	1,76 ± 0,537	(4)	0,600 ± 0,173	(3)	nd	(1)	---	---	7,53						
#111	---	---	9,52	(1)	---	---	---	---	9,52	(1)	---	---	5,67	(1)	---	---	---	---	2,79 ± 0,912	(2)	1,68 ± 0,064	(2)	---	---	---	---	9,52						
#112	---	---	2,17	(1)	---	---	---	---	2,17	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---	---	---	---	0,893 ± 0,483	(4)	nd	(3)	---	---	---	---	2,17						
#113	---	---	---	---	nd	(1)	---	---	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---	---	nd	(3)	---	---	---	---	---	---	nd						
#115	---	---	nd	(1)	---	---	nd	(1)	nd	(2)	---	---	nd	(1)	6,27	(1)	---	---	3,71 ± 0,486	(3)	0,810 ± 0,537	(3)	---	---	---	---	6,27						
#116	---	---	nd	(1)	---	---	nd	(1)	nd	(2)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	1,45	(1)	1,43 ± 0,15	(3)	nd	(2)	---	---	---	---	1,56						
#117	---	---	nd	(1)	---	---	---	---	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---	---	---	---	---	---	---	---	nd						
#118	---	---	nd	(1)	---	---	---	---	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---	---	---	---	---	---	---	---	nd						
#119	---	---	nd	(1)	---	---	---	---	nd	(1)	nd	(1)	7,69	(1)	1,55	(1)	1,76	(1)	0,850 ± 0,606	(3)	---	---	---	---	---	---	7,69						
#120	---	---	2,29	(1)	---	---	---	---	2,29	(1)	2,93	(1)	9,17	(1)	4,60	(1)	4,14	(1)	1,92 ± 0,8	(3)	1,39 ± 0,07	(2)	0,765 ± 0,375	(2)	---	---	9,17						
#121	nd	(1)	---	---	---	---	7,77	(1)	7,77 ± 5,14	(2)	---	---	1,34	(1)	nd	(1)	---	---	1,54 ± 1,22	(3)	nd	(2)	---	---	---	---	7,77						
#124	---	---	---	---	---	---	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	nd						
#125	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,71	(1)	2,06	(1)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,71					
#126	---	---	---	---	2,77	(1)	nd	(1)	2,77 ± 1,61	(2)	1,07	(1)	---	---	nd	(1)	---	---	nd	(2)	---	---	---	---	---	---	2,77						
#127	---	---	---	---	2,25	(1)	1,17	(1)	1,71 ± 0,76	(2)	nd	(1)	---	---	nd	(1)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,25						
#128	---	---	---	---	13,1	(1)	12,2	(1)	12,7 ± 0,64	(2)	7,62	(1)	---	---	5,12	(1)	---	---	2,92 ± 0,64	(2)	1,95 ± 0,76	(2)	1,41 ± 1,28	(2)	---	---	13,1						
#129	---	---	---	---	9,73	(1)	12,4	(1)	11,1 ± 1,9	(2)	18,3	(1)	---	---	15,3	(1)	---	---	10,8	(1)	---	---	---	---	---	---	18,3						
#130	9,13	(1)	---	---	---	---	---	---	9,13	(1)	---	---	---	---	---	---	---	---	2,80 ± 0,54	(2)	1,86 ± 0,70	(2)	nd	(2)	---	---	9,13						
MOYENNE																																	
GLOBALE^(c)																	5,04 ± 10,9	2,72 ± 3,99	3,80 ± 4,86	3,78 ± 4,59	3,51 ± 4,85	2,15 ± 4,48	2,46 ± 3,48	2,69 ± 3,57	2,21 ± 1,96	2,76 ± 2,67	1,39 ± 0,960	0,710 ± 0,350	nd				

a. Moyenne établie à partir des moyennes de chacune des semaines

b. Non détecté (<1,00 µg/l); une valeur de 0,5 µg/l a été considérée pour les calculs

c. Moyenne établie à partir des moyennes de chacun des cours d'eau

réduites ont d'ailleurs incité le MRNQ à exiger, depuis 1991, le respect d'une bande de protection de 50 mètres pour tout cours d'eau ou canal, qu'il soit asséché ou non. À cet égard, mentionnons que le MRNQ s'est fixé un seuil d'intervention de 10 µg/l pour les travaux en milieu forestier. Cette valeur correspond à 10 % de la limite maximale des pesticides pouvant être acceptée dans l'eau potable selon la réglementation québécoise [R.R.Q., 1981, c.Q-2, r. 4.1]. Nous croyons que ce seuil d'intervention offre un facteur de sécurité acceptable en regard des objectifs du Règlement sur l'eau potable et pour le maintien général de la qualité du milieu aquatique (voir section 3.3). La figure 4 illustre bien l'influence de la largeur des bandes de protection sur les niveaux de résidus retrouvés dans l'eau par rapport au seuil d'intervention établi.

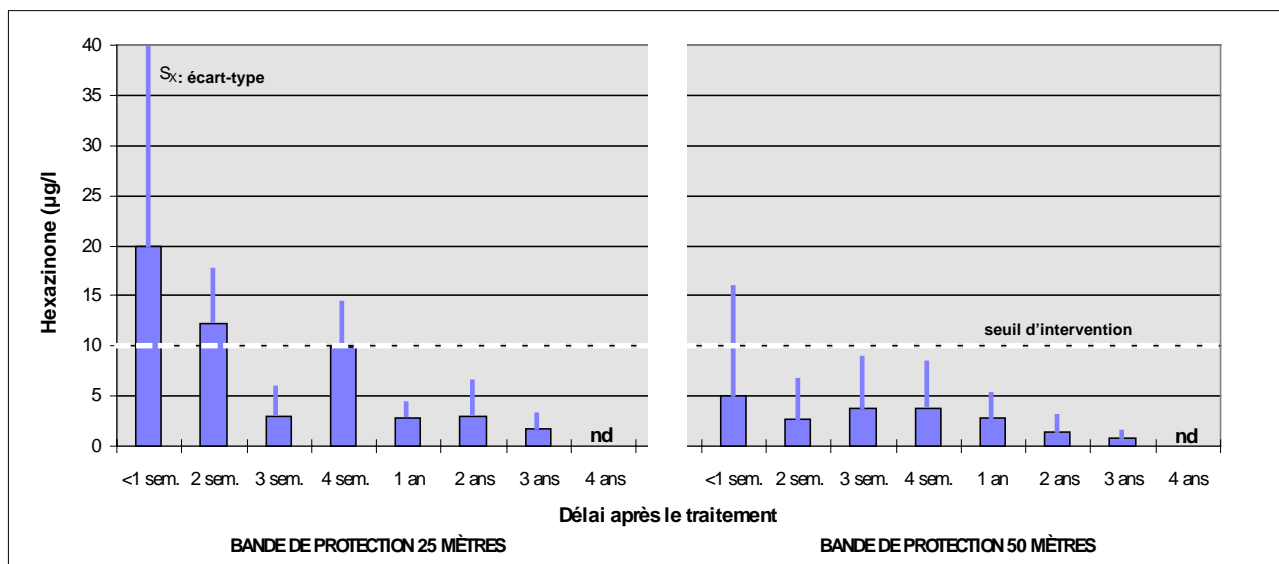


FIGURE 4. Concentrations moyennes d'hexazinone dans l'eau des cours d'eau protégés par des bandes de 25 et 50 mètres

e) Vérifications ponctuelles dans l'eau

Quatorze échantillons d'eau ont été récoltés dans 11 cours d'eau protégés par une bande de 25 mètres alors que 13 autres prélèvements ont été effectués dans cinq ruisseaux protégés par une bande de 50 mètres. Les résultats sont présentés au tableau 11.

Le recours à seulement un ou deux échantillons ponctuels ne semble pas suffisant pour statuer sur la contamination d'un cours d'eau. Les conditions propres au site traité, l'occurrence et l'importance des précipitations ainsi que le délai de récolte après le traitement peuvent, en effet, influencer les niveaux de résidus susceptibles de se retrouver dans les cours d'eau. Ainsi, bien que 12 des 16 cours d'eau visités n'aient pas indiqué la présence d'hexazinone dans l'eau, un seul échantillon non détecté ne peut être

garant de l'absence totale d'hexazinone dans le cours d'eau. Des quatre cours d'eau qui ont présenté des résidus détectables, trois étaient protégés par une bande de 25 mètres. Les concentrations observées dans ces cours d'eau respectent le comportement des résidus notés lors des suivis intensifs.

TABLEAU 11. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/l}$) DANS L'EAU DES COURS D'EAU AYANT FAIT L'OBJET DE VÉRIFICATIONS PONCTUELLES

DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT	COURS D'EAU ÉCHANTILLONNÉS															
	BANDE DE PROTECTION DE 25 MÈTRES											BANDE DE PROTECTION DE 50 MÈTRES ^(a)				
	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	#21	#114	#122	#123	#131	#132
2 jrs	----	nd ^(b)	nd	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
3 jrs	----	----	----	----	----	----	----	nd	nd	----	----	----	----	----	----	----
7 jrs	nd	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1 mois	----	----	----	nd	1,80	1,32	7,57	----	----	----	----	----	nd	nd	----	----
2 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	nd	nd	----
3 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	nd	----	2,04
4 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----
12 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----	----	----	----
13 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----	----	----	----
14 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----	----	----	----
16 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----	----	----	----
24 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	nd	----	----	----	----	----	----
36 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----	----	----	----	----
39 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----	----	----	----	----
40 mois	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd	----	----	----	----	----

a. Les cours d'eau #122 et #123 ont respectivement été échantillonnés à 1,5 et 1,0 km du site traité.

b. Non détecté (< 1,00 $\mu\text{g/l}$)

La récolte de trois ou quatre échantillons consécutifs peut cependant s'avérer plus représentative du degré de contamination du cours d'eau. Ainsi, des quatre cours d'eau où une telle séquence d'échantillonnage a été réalisée (# 21, 114, 122 et 123), il est fort probable que le cours d'eau # 114 n'ait effectivement jamais été contaminé puisque aucun résidu n'a été détecté l'année suivant le traitement, période où le niveau de résidus devrait s'être stabilisé à la suite des nombreuses précipitations. Le cours d'eau # 21, quant à lui, ne présente pas de résidu mais la période d'échantillonnage se situe à la limite de la persistance de l'hexazinone relevée dans la présente étude. En ce qui concerne les cours d'eau # 122 et # 123, bien que les résultats nous indiquent effectivement la non-détection du produit aux stations d'échantillonnage (localisées à 1 km et plus du site traité), il n'est pas exclu que ces cours d'eau aient été contaminés immédiatement en aval du site traité et que les résidus se soient dilués par la suite sous la limite de la détection puisque leur débit respectif est assez important (253 l/sec et 145 l/sec).

3.2.3 Sédiments

Dans la majorité des cas, des échantillons de sédiments ont été couplés aux échantillons d'eau lorsque le type de fond du ruisseau le permettait. Le suivi s'effectuait généralement jusqu'à la non-détection du produit dans au moins deux échantillons successifs. Ainsi, près de 190 échantillons de sédiments ont été récoltés dans 20 ruisseaux lors des suivis intensifs alors que 8 autres échantillons ont été prélevés ponctuellement dans 8 ruisseaux différents protégés par des bandes de 25 mètres. Tous les échantillons ont été prélevés à des stations localisées à proximité des secteurs traités (0 km) à l'exception de deux échantillons prélevés à 0,5 km lors des vérifications ponctuelles.

Certains prélèvements ont été dupliqués afin de vérifier la représentativité des échantillons. Neuf ruisseaux distincts ont servi à ces vérifications. Les analyses obtenues ne peuvent cependant que confirmer la non-détection du produit puisque, à l'exception d'un seul échantillon qui indiquait 0,011 µg/g, aucun autre résidu d'hexazinone n'a été détecté (limite de détection de 0,010 µg/g) dans les 18 échantillons de sédiments récoltés. Mentionnons que sept de ces ruisseaux présentaient des résidus détectables dans les échantillons d'eau prélevés au même moment.

a) Cours d'eau sans bande de protection

Comme pour les résidus dans l'eau, les résultats obtenus (tableau 12) au cours du premier mois après le traitement pour le cours d'eau # 5 (cours d'eau directement contaminé) ne sont pas représentatifs d'un cours d'eau protégé par une bande de protection de 25 mètres.

Deux échantillons ont été prélevés dans cette rigole durant le premier mois suivant le traitement. Les résidus détectés ne semblent pas suivre les tendances observées dans l'eau. Bien que deux jours après l'application du phytocide, des concentrations relativement élevées de l'ordre de 240 µg/l aient été détectés dans l'eau (cf. tableau 7), les résidus détectés dans les sédiments ne sont que de 0,046 µg/g après sept jours. Inversement, après 4 semaines, les résultats étaient de 32,8 µg/l dans l'eau et de 0,404 µg/g dans les sédiments. Par la suite, les résidus sont très faibles ou non détectés jusqu'à la fin de l'échantillonnage même si l'hexazinone est détecté dans l'eau aux mêmes périodes.

TABLEAU 12. Résidus d'hexazinone (µg/g) dans les sédiments d'un cours d'eau sans bande de protection

DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT	RUISSEAU #5	
	X ± S _x	(n)
1 semaine	0,046	(1)
4 semaines	0,404	(1)
< 1 mois	0,225 ± 0,253	(2)
5 mois	nd	(1)
1 an	0,019 ± 0,029	(4)
2 ans	nd	(4)
Valeur maximale:	0,404	

Cette situation pourrait s'expliquer par la composition des sédiments récoltés. Tous les échantillons de sédiments de ce ruisseau (à l'exception de l'échantillon récolté à 4 semaines) étaient plutôt constitués de sable ou de gravier fin et grossier alors que les matériaux grossiers sont peu favorables à l'adsorption de l'hexazinone. En ce qui a trait à la valeur élevée de 0,404 µg/g retrouvée à 4 semaines, cet échantillon comportait une proportion de matière organique (humus) plus importante. Bien que le coefficient d'adsorption de l'hexazinone soit faible, il est plus facilement adsorbé aux particules fines ainsi qu'à la matière organique (Legris *et al.*, 1995). De fortes précipitations (plus de 60 mm de pluie) survenues au cours des deux dernières semaines précédant l'échantillonnage auraient favorisé l'apport de ce type de sédiments dans la rigole.

b) Cours d'eau protégés par une bande de 25 mètres

L'hexazinone a été détecté dans les sédiments de sept des huit cours d'eau échantillonnés (tableau 13). Près de 50 % des échantillons récoltés sont positifs. La moyenne globale des échantillons récoltés durant le premier mois suivant l'application est de $0,014 \pm 0,011$ µg/g. De 1 à 4 ans après les travaux, la moyenne annuelle est d'environ 0,050 µg/g. Après 5 et 6 ans, quelques cours d'eau présentent encore des résidus détectables de l'ordre de 0,020 µg/g.

La valeur maximale de chacun des ruisseaux n'apparaît pas nécessairement durant la saison du traitement. Certains maxima ont été observés après 12, et même, 24 mois. Une concentration maximale de 0,256 µg/g est notée après deux ans.

Les résidus détectés dans les sédiments ne sont pas proportionnels aux quantités observées dans l'eau. En effet, même si ces dernières diminuent graduellement en fonction du temps, les valeurs détectées dans les sédiments fluctuent. Ces variations pourraient être attribuables, en partie, aux apports de sédiments ou de particules venant du site traité à la suite des périodes de précipitations. Les pluies pourraient également favoriser le déplacement de l'hexazinone sous forme soluble.

Les résidus ont persisté principalement dans trois des cours d'eau étudiés. En se référant au tableau 2A de la section 2.2, on remarque que les sédiments de ces cours d'eau sont majoritairement composés de matières organiques (humus) ou de matières fines (vase) favorisant l'adsorption du produit par opposition aux particules plus grossières retrouvées dans les autres cours d'eau. Indiquons que la photodégradation et la décomposition biologique sont les principaux facteurs impliqués dans la dégradation de l'hexazinone dans les eaux naturelles (USDA, 1984). La dégradation du produit se ferait plus lentement dans les sédiments que dans l'eau.

TABLEAU 13. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/g}$) DANS LES SÉDIMENTS DE MILIEUX LOTIQUES PROTÉGÉS PAR UNE BANDE DE 25 MÈTRES

# RUISSEAU	DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT														VALEUR MAXIMALE									
	< 1 sem.		3 sem.		4 sem.		< 1 mois ^(a)		5 mois		1 an		2 ans			3 ans		4 ans		5 ans		6 ans		
	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)		$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$	(n)	$X \pm S_x$
#1	nd ^(b)	(1)	----	----	----	----	nd	(1)	----	----	0,063 \pm 0,043	(3)	0,033 \pm 0,031	(3)	0,036 \pm 0,032	(3)	0,091 \pm 0,046	(3)	0,008 \pm 0,004	(2)	----	----	----	0,143
#2	nd	(1)	----	----	----	----	nd	(1)	----	----	0,139 \pm 0,098	(3)	0,123 \pm 0,120	(3)	0,109 \pm 0,023	(2)	0,026 \pm 0,011	(3)	0,022 \pm 0,024	(2)	0,022	(1)	----	0,256
#4	----	----	----	----	0,011	(1)	0,011	(1)	nd	(1)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,011
#6	nd	(1)	----	----	----	----	nd	(1)	nd	(1)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	nd
#7	0,018	(1)	----	----	----	----	nd	(1)	nd	(1)	nd	(4)	nd	(4)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,018
#8	----	----	----	----	0,027	(1)	0,027	(1)	nd	(1)	0,008 \pm 0,005	(4)	nd	(5)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,027
#9	0,019	(1)	----	----	----	----	0,019	(1)	nd	(1)	nd	(4)	nd	(4)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,019
#10	----	----	0,032	(1)	----	----	0,032	(1)	----	----	0,048 \pm 0,029	(3)	0,082 \pm 0,017	(4)	0,037 \pm 0,009	(3)	0,050 \pm 0,006	(2)	nd	(1)	----	----	----	0,094
MOYENNE																								
GLOBALE^(c)	0,019 \pm 0,001		0,032		0,019 \pm 0,011		0,014 \pm 0,011		nd		0,045 \pm 0,053		0,042 \pm 0,050		0,061 \pm 0,042		0,055 \pm 0,033		0,012 \pm 0,009		0,022			

a. Moyenne établie à partir des moyennes de chacune des semaines

b. Non détecté (<0,010 $\mu\text{g/g}$ poids sec); une valeur de 0,005 $\mu\text{g/g}$ a été considérée pour les calculs

c. Moyenne établie à partir des moyennes de chacun des cours d'eau

De façon générale, les sédiments ne semblent pas être un indicateur fiable pour quantifier les niveaux de résidus d'hexazinone dans le milieu lotique puisque ce produit est peu adsorbé aux particules plus ou moins grossières fréquemment retrouvées dans les cours d'eau. Les résultats des vérifications ponctuelles effectuées dans huit cours d'eau, protégés par une bande de 25 mètres, appuient cet énoncé (tableau 14). Aucun des échantillons récoltés n'a permis de quantifier la présence d'hexazinone même si les cours d'eau #15, 16 et 17 ont présenté des résidus détectables dans l'eau à la même période d'échantillonnage (cf. tableau 11). Ces trois cours d'eau comportaient des sédiments de type plutôt grossier (sable, gravier fin et grossier) qui favorisent peu l'adsorption de l'hexazinone.

TABLEAU 14. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/g}$) DANS LES SÉDIMENTS DES COURS D'EAU AYANT FAIT L'OBJET DE VÉRIFICATIONS PONCTUELLES

DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT	COURS D'EAU ÉCHANTILLONNÉS							
	BANDE DE PROTECTION 25 MÈTRES							
	#11	#15	#16	#17	#22	#23	#24	#25
7 jrs	nd ^(a)	---	---	---	---	---	---	---
1 mois	---	nd	nd	nd	---	---	---	---
2 mois	---	---	---	---	nd	nd	nd	nd

a. Non détecté (< 0,010 $\mu\text{g/g}$)

b) Cours d'eau protégés par une bande de 50 mètres

Onze ruisseaux ayant fait l'objet d'un suivi intensif dans l'eau ont aussi servi à la récolte de sédiments. Près de 100 échantillons y ont été récoltés dont 30 % se sont avérés positifs. Six cours d'eau ont présenté des résidus d'hexazinone dans les sédiments. Une concentration maximale de 0,262 $\mu\text{g/g}$ est observée après 3 mois. La moyenne globale des échantillons récoltés durant le premier mois suivant l'application est de $0,033 \pm 0,063 \mu\text{g/g}$. On note des valeurs semblables jusqu'à 4 mois après le traitement et pour les années subséquentes, on observe des concentrations se rapprochant de la limite de détection. Selon les données recueillies, ce phytocide pourrait être détecté dans les sédiments jusqu'à 3 ans après un traitement qui intègre une bande de protection de 50 mètres au cours d'eau (tableau 15).

L'hexazinone n'a pas été détecté dans les sédiments de certains de ces ruisseaux même si des échantillons d'eau récoltés aux mêmes périodes d'échantillonnage en indiquaient la présence. Comme il a été mentionné précédemment, les résidus sont plutôt détectés dans les cours d'eau qui comportent des sédiments de type organique (ruisseau # 102) ou vaseux (ruisseaux # 110 et # 111). Il semble toutefois que la bande de protection de 50 mètres a limité l'entrée de l'hexazinone dans les cours d'eau. Les résidus y sont détectés moins fréquemment et, généralement, en moins grande quantité qu'avec une bande de 25 mètres.

TABLEAU 15. RÉSIDUS D'HEXAZINONE ($\mu\text{g/g}$) DANS LES SÉDIMENTS DE MILIEUX LOTIQUES PROTÉGÉS PAR UNE BANDE DE 50 MÈTRES

# RUISSEAU	DÉLAI APRÈS LE TRAITEMENT																VALEUR MAXIMALE															
	< 1 sem.		2 sem.		3 sem.		4 sem.		< 1 mois ^(a)		2 mois		3 mois		4 mois			5 mois		1 an		2 ans		3 ans		4 ans						
	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)		X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)	X \pm S _x	(n)			
#102	---		0,188	(1)	---		0,200	(1)	0,194 \pm 0,008	(2)	0,067	(1)	0,262	(1)	0,149	(1)	nd	(1)	0,007 \pm 0,003	(4)	---		---		---		---		0,262			
#103	nd ^(b)	(1)	nd	(1)			nd	(1)	nd	(3)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(3)	---		---		---		---		nd			
#105	nd	(1)	---		---		nd	(1)	nd	(2)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(2)	---		---		---		---		nd			
#106	nd	(1)	---		nd	(1)	---		nd	(2)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(4)	---		---		---		---		nd			
#107	---		---		nd	(1)	---		nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	0,009 \pm 0,007	(4)	---		---		---		---		0,019			
#109	---		---		---		---		---		---		nd	(1)	nd	(1)	---		nd	(3)	---		---		---		---		nd			
#110	---		---		---		nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---		---		0,027 \pm 0,012	(4)	0,015 \pm 0,004	(3)	0,011 \pm 0,008	(2)	nd	(1)	---		0,045			
#111	---		---		---		0,097	(1)	0,097	(1)	0,064	(1)	0,045	(1)	---		---		0,052 \pm 0,022	(3)	0,019 \pm 0,009	(2)	0,013 \pm 0,000	(2)	nd	(1)	---		0,097			
#113	---		---		---		nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---		0,019 \pm 0,024	(3)	---		---		---		---		0,046			
#117	---		nd	(1)	---		---		nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	nd	(1)	---		---		---		---		---		nd			
#120	---		nd	(1)	---		---		nd	(1)	0,032	(1)	0,018	(1)	0,019	(1)	nd	(1)	nd	(3)	---		---		---		---		0,032			
MOYENNE																																
GLOBALE^(c)	nd		0,051 \pm 0,092		nd		0,053 \pm 0,081		0,033 \pm 0,063		0,020 \pm 0,026		0,033 \pm 0,077		0,023 \pm 0,048		nd		0,014 \pm 0,015		0,017 \pm 0,003		0,012 \pm 0,002		nd							

a. Moyenne établie à partir des moyennes de chacune des semaines

b. Non détecté (<0,010 $\mu\text{g/g}$ poids sec); une valeur de 0,005 $\mu\text{g/g}$ a été considérée pour les calculs

c. Moyenne établie à partir des moyennes de chacun des cours d'eau

3.3 Évaluation sommaire des impacts de l'hexazinone en milieu aquatique

Comme l'hexazinone est un phytocide, les macrophytes sont susceptibles d'être très sensibles à la présence de ce produit dans le milieu aquatique. La *Vallisneria* compte parmi les genres les plus sensibles des plantes aquatiques; elle est contrôlée à une concentration de 100 µg/l (Rohecouste, 1976; Choquette, 1990). Dans notre étude, les deux mares qui ont été intentionnellement traitées ont généralement présenté des résidus au-dessus de cette valeur durant le premier mois après le traitement. Des effets phytotoxiques sur les macrophytes les plus sensibles au produit seraient donc plausibles dans ces circonstances. Rappelons toutefois que ces milieux sont généralement exclus des zones à traiter alors que nous ne retrouvons pas un tel niveau de concentration dans l'eau des ruisseaux protégés par une bande de 50 mètres. Dans notre étude, les résidus détectés sont généralement en deçà de 10 µg/l et le maximum observé a été de 36,8 µg/l, peu de temps après le traitement. Mentionnons que plusieurs des cours d'eau échantillonnés dans cette étude sont en tête de bassin versant et présentent de faibles débits maximisant ainsi les possibilités de retrouver des résidus d'hexazinone. L'apport d'eau par les différents affluents amènera une dilution des concentrations tout au long du parcours du ruisseau.

Du côté des micro-organismes, des essais en laboratoire démontrent des effets apparents sur les algues à 500 µg/l d'hexazinone (Fowler, 1977; USDA, 1984). Williamson (1988) rapporte une inhibition de 50 % de la reproduction chez l'algue verte *Selenastrum capricornutum* exposée à 20 µg/l de Velpar^{MD} pendant 18 jours.

Thompson *et al.* (1993a; 1993b) ont étudié les impacts de l'hexazinone chez le phytoplancton et le zooplancton dans des enclos de polyéthylène dans un lac de la forêt boréale de l'Ontario. Leurs résultats indiquaient des impacts persistants et statistiquement significatifs sur les communautés planctoniques à des niveaux d'exposition chroniques supérieurs à 100 µg/l, les effets observés à 10 µg/l (réduction de la biomasse) étant transitoires. Les auteurs ont calculé une concentration effective médiane (CE₅₀) de 30 µg/l chez les groupes dominants de phytoplancton. Le groupe le plus sensible était les chrysophytes avec une CE₅₀ d'environ 3 µg/l.

En ce qui concerne les invertébrés aquatiques, Kreutzweiser *et al.* (1992) ont estimé une concentration létale médiane (CL₅₀) supérieure à 80 000 µg/l puisqu'ils n'ont pas observé de mortalité significative parmi 13 espèces d'insectes aquatiques exposées à des concentrations d'hexazinone de 70 000 à 80 000 µg/l lors de bioessais. Mayack *et al.* (1982), pour leur part, n'ont pas observé d'effets néfastes sur les macroinvertébrés aquatiques exposés à des concentrations intermittentes de 6 à 44 µg/l dans un ruisseau permanent de second ordre. Kreutzweiser *et al.* (1995) ont évalué l'effet d'une concentration de 2 700 µg/l sur le périphyton et les communautés d'invertébrés, en laboratoire et dans des canaux extérieurs. Leurs résultats ont amené les auteurs à conclure que la contamination d'un cours d'eau par l'hexazinone ne

cause pas d'effets néfastes aux communautés de macroinvertébrés, même si elles sont exposées à une telle concentration pendant 12 heures. USDA (1984) rapporte une CL₅₀ de 151 000 µg/l chez les daphnies (*Daphnia magna*) pour une exposition de 48 heures alors qu'aucun effet n'a été observé à une concentration de 20,000 µg/l dans une étude de 21 jours.

Les données concernant les poissons indiquent que l'hexazinone n'est que légèrement toxique avec une CL₅₀ (96 hres) d'environ 274 000 µg/l pour le méné tête-de-boule (*Pimephales promelas*) (USDA, 1984) alors qu'une concentration de 160 000 µg/l s'est révélée sans effets (Kennedy, 1984).

Les données toxicologiques disponibles indiquent donc que la faune aquatique risque peu d'être affectée par les niveaux de résidus d'hexazinone détectés dans notre étude. Legris *et al.* (1995) ont effectué une analyse préliminaire du risque toxicologique encouru par la faune aquatique en tenant compte des résidus retrouvés dans les cours d'eau protégés par une bande de 50 mètres de la présente étude. Selon une approche du « pire scénario raisonnable » et selon la méthodologie préconisée par USDA (1988) et, plus récemment, recommandée par US EPA (1992), les auteurs concluaient que, dans le contexte forestier québécois, l'hexazinone ne présente aucun risque significatif pour la faune tant aquatique que terrestre. En comparant la valeur du 90^e centile des concentrations détectées dans l'eau au cours des 17 premiers mois suivant le traitement (bande de protection de 50 mètres) et les concentrations occasionnant des effets aiguës ou chroniques pour divers organismes, nous constatons que des facteurs de sécurité acceptables sont respectés (tableau 16).

TABLEAU 16. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DU RISQUE TOXICOLOGIQUE ASSOCIÉ AUX RÉSIDUS D'HEXAZINONE RETROUVÉS EN MILIEU FORESTIER ^(a)

ORGANISMES	TOXICITÉ AIGUË (µg/l)	FACTEUR DE SÉCURITÉ	TOXICITÉ CHRONIQUE (µg/l)	FACTEUR DE SÉCURITÉ
Macrophytes	100	15	----	----
Micro-organismes	----	----	30 (CE ₅₀)	5
Invertébrés	151 000(CL ₅₀)	23 230	20 000 (NSEO) ^(b)	3 077
Poissons	274 000 (CL ₅₀)	42 153	----	----
Hommes	----	----	100 (potabilité)	15

a. Résidus dans l'eau (90^{ème} centile) = 6,5 µg/l

b. Niveau sans effet observable

Mentionnons aussi que les concentrations retrouvées dans les ruisseaux protégés par une bande de protection de 50 mètres sont en deçà des exigences québécoises stipulées dans le Règlement sur l'eau potable [R.R.Q., 1981, c.Q-2, r. 4.1]. Ce dernier ne présente pas de critères spécifiques à l'hexazinone mais indique que la concentration totale de tous les pesticides présents dans l'eau ne doit pas dépasser

100 µg/l. Au États-Unis, la limite maximale permise d'hexazinone dans l'eau potable est fixée à 200 µg/l (US EPA, 1989 dans Michael et Neary, 1990).

CONCLUSION

Le suivi environnemental, effectué par le MRNQ pendant huit années, a permis de quantifier et d'évaluer la persistance des résidus d'hexazinone dans le milieu aquatique après différents types d'application en milieu forestier.

Dans un milieu lentique directement traité à une dose de 2,2 kg i.a./ha, la concentration initiale dans l'eau est d'environ 1 000 µg/l et près de 50 % du produit se dissipe à l'intérieur d'une période de trois jours après l'application. Près de 90 % des résidus disparaissent dans les deux mois suivant l'application. De faibles quantités d'hexazinone sont décelées jusqu'à 39 mois après le traitement. Dans les sédiments, les résidus varient plutôt selon le type de substrat et les périodes de précipitations. Des valeurs maximales d'environ 5 à 7 µg/g ont été retrouvées à l'intérieur du premier mois après le traitement. Généralement, les résidus sont inférieurs à 1 µg/g après 12 mois et de faibles valeurs peuvent être détectées jusqu'à 77 mois.

Au cours de ce suivi environnemental, la largeur des bandes de protection a doublé, passant de 25 à 50 mètres, ce qui nous permet de comparer les effets de ce paramètre sur les quantités d'hexazinone retrouvées dans le milieu lotique. Les résultats démontrent que, quelle que soit la largeur des bandes de protection, des résidus peuvent être retrouvés dans l'eau jusqu'à 39 mois après le traitement. Globalement, les concentrations sont moins élevées dans les cours d'eau protégés par une bande de 50 mètres comparativement à 25 mètres, particulièrement lors des premiers mois après l'application du phytocide. Avec une bande de 50 mètres, les résidus détectés sont généralement en deçà du seuil d'intervention (10 µg/l) établi par le MRNQ afin de respecter la qualité du milieu aquatique.

De faibles quantités d'hexazinone peuvent être détectées occasionnellement dans les sédiments des cours d'eau, particulièrement si ceux-ci sont composés de matières organiques ou de particules fines. Les sédiments semblent cependant être un indicateur peu fiable car les résidus trouvés dans ce substrat fluctuent indépendamment des résidus retrouvés dans l'eau. L'hexazinone peut y être détecté jusqu'à six ans après le traitement dans certains cas.

Actuellement, les utilisateurs en milieu forestier ne peuvent appliquer ce produit par voie terrestre à moins de 50 mètres d'une étendue d'eau. Avec de telles bandes, les niveaux de résidus ne devraient pas présenter de risques toxicologiques significatifs pour la majorité des organismes aquatiques. Notons toutefois que certaines espèces phytoplanctoniques peuvent être sensibles au produit à des valeurs aussi faibles que 3 µg/l. Dans un cadre opérationnel, il est donc important de tenir compte des caractéristiques des sites traités afin de limiter le déplacement du phytocide vers les zones sensibles. Étant donné la mobilité et la persistance de l'hexazinone observée lors de cette étude, certaines préoccupations concernant la possibilité de contamination des eaux souterraines peuvent être soulevées.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHARD, D.C., T.L. LAVY et E.R. LAWSON, 1985. « Mobility and Persistence of Hexazinone in a Forest Watershed » dans *Journal of Environmental Quality*, 14(2):229-233.
- CAMPAGNA, M., G. COUTURE, L. LABERGE, R. LANGEVIN, J. LEGRIS, P. LÉVEILLÉ et D. POULIOT, 1995. *Étude comparative des modes de dégagement de la régénération forestière, version finale, annexe D : Description des outils*, Québec, gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'environnement forestier, c.d. RN95-3098, p.m.
- CHOQUETTE, L., 1990. *Toxicité de l'hexazinone sur les composantes vivantes du milieu (revue de littérature)*, Charlesbourg, gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la conservation, Service des études environnementales, 59 p.
- DUPONT CANADA, s.d. *Velpar^{MD} L, herbicide*, étiquette de produit, Mississauga, Ontario, s.p.
- GHASSEMI, M., L. FARGO, P. PAINTER, P. PAINTER, J. QUINLIVAN, R. SCOFIELD et A. TAKATA, 1981. *Environmental Fates and Impacts of Major Forest Use Pesticides*, Washington, D.C., US Environmental Protection Agency, Office of Pesticides and Toxic Substances, 435 p.
- GHASSEMI, M., S. QUINLIVAN et M. DELLARCO, 1982. « Environmental Effects of New Herbicides for Vegetation Control in Forestry » dans *Environment International*, 7:389-401.
- FENG, J. et C. FENG, 1988. *Détermination et devenir des résidus d'hexazinone dans une forêt du Nouveau-Brunswick*, Sault-Ste-Marie (Ont.), Service canadien des forêts, Institut pour la répression des ravageurs forestiers, rapport d'information FPM-X-81F, 22 p.
- FOWLER, 1977. « Laboratory Trials of a New Triazine Herbicide (DPX 3674) on Various Aquatic Species of Macrophytes and Algae » dans *Weed Research*, 17:191-195.
- KENNEDY, G.L., Jr., 1984. « Acute and Environmental Toxicity Studies with Hexazinone » dans *Fundamental and Applied Toxicology*, 4(4):603-611.
- KREUTZWEISER, D.P., S.B. HOLMES et D.J. BEHMER, 1992. « Effects of the Herbicides Hexazinone and Triclopyr Ester on Aquatic Insects » dans *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 23(3):364-374.
- KREUTZWEISER, D.P., S.S. CAPELL et B.C. SOUSA, 1995. « Hexazinone Effects on Stream Periphyton and Invertebrate Communities » dans *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14(9):1521-1527.
- LEGRIS, J., et G. COUTURE, 1987. *Étude préliminaire des résidus d'hexazinone dans l'environnement suite à des travaux de préparation de terrain en milieu forestier, 1986*, Québec, gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la conservation, Service des études environnementales, publ. No. 3317, 33 p.
- LEGRIS, J., G. COUTURE et R. LANGEVIN, 1995. *Évaluation des impacts de l'hexazinone utilisé dans le milieu forestier*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'environnement forestier, Service du suivi environnemental, c.d. RN95-3083, 163 p.
- LÉVEILLÉ, P., J. LEGRIS et G. COUTURE, 1996. *Résidus d'hexazinone dans le sol après une pulvérisation terrestre en milieu forestier*, Québec, gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'environnement forestier, Service du suivi environnemental, c.d. RN96-3040, 19 p.

- MAMARBACHI, G. ET M. CARMICHAEL, 1991. *Méthodes d'analyse de l'hexazinone dans différentes composantes de l'environnement forestier*, Québec, gouvernement du Québec, Ministère des Forêts, Direction de la recherche, 15 p.
- MAYACK, D.T., P.B. BUSH, D.G. NEARY et J.E. DOUGLASS, 1982. « Impact of Hexazinone on Invertebrates After Application to Forested Watersheds » dans *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 11(2):209-217.
- MICHAEL, J. L. et D.G. NEARY, 1990. « Fate and Transport of Forestry Herbicides in the South : Research Knowledge and Needs » dans *Proceedings of the South Biennial Southern Silvicultural Research Conference*, vol. 2, p. 641-649.
- NEARY, D.G., 1983. « Monitoring Herbicide Residues in Springflow After an Operational Application of Hexazinone » dans *Southern Journal of Applied Forestry*, 7(4):217-223.
- NEARY, D.G., P.B. BUSH et J.E. DOUGLASS, 1983 dans NEARY, D.G., 1983.
- ROCHECOUSTE, E., 1976. A New Versatile Herbicide : 3-cyclohexyl-6-(dimethylamino-1-methyl-1, 3, 5-triazine-2, 4(1H,3H)-dione) » dans *Proceedings 5th Asian-Pacific Weed Science Society Conference*, p. 116-120.
- SOLOMON, K.R., C.S. BOWHEY, K. LIBER et G.R. STEPHENSON, 1988. « Persistence of Hexazinone (VELPAR), triclopyr (GARLON) and 2,4-D in a Northern Ontario Canada Aquatic Environment » dans *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 36(6):1314-1318.
- THOMPSON, D.G., L.M. MACDONALD et B. STAZNICK, 1992. « Persistence of Hexazinone and Metsulfuron-methyl in a Mixed-Wood/Boreal Forest Lake » dans *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40(8):1444-1449.
- THOMPSON, D.G., S.B. HOLMES, D. THOMAS, K. WAINIO-KEISER, L. MACDONALD et K.R. SOLOMON, 1993a. « Impact of Hexazinone and Metsulfuron Methyl Herbicides on Phytoplankton Community of a Mixed-Wood/Boreal Forest Lake » dans *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12:1695-1707.
- THOMPSON, D.G., S.B. HOLMES, D. THOMAS, K. WAINIO-KEISER, L. MACDONALD et K.R. SOLOMON, 1993b. « Impact of Hexazinone and Metsulfuron Methyl on the Zooplankton Community of a Boreal Forest Lake » dans *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12: 1709-1717.
- USDA (US Department of Agriculture), 1984. *Pesticide Background Statement : Volume 1 Herbicides*, Forest Service, Agriculture Handbook, No 633.
- USDA (US Department of Agriculture), 1988. *Vegetation Management in the Appalachian Mountains, Draft environmental Impact Statement, Appendices : Volume II*, Forest Service, Southern Region, Management Bulletin R8-MB24.
- US EPA (US Environmental Protection Agency), 1989 dans MICHAEL ET NEARY, 1990.
- US EPA (US Environmental Protection Agency), 1992. *Framework for Ecological Risk Assessment*, Washington, D.C., Risk Assessment Forum, EPA/630/R-92/001, 41 p.
- WILLIAMSON, D.A., 1988. « Hexazinone Residues in Surface and Groundwater at Two Sites Within Agassiz Provincial Forest, Manitoba, Canada » dans *Water Pollution Research Journal Canada*, 23(3):434-439.