EL 3600295F

Jean Rodrigue

T42
No 105

EFFETS PHYSIOLOGIQUES ET COMPORTEMENTAUX DU TRAITEMENT DES PELOUSES AU CHLORPYRIPHOS SUR LE MERLE D'AMÉRIQUE (*Turdus migratorius*)

Robert Décarie[1]
Jean-Luc DesGranges[2]
(rédacteurs)

SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES N°105
Région du Québec 1990
Service canadien de la faune

ENVIRONNEMENT CANADA BIBLIOTHÈQUE

Ce rapport peut être cité comme suit:

Décarie, R. et J.L. DesGranges (réd.). 1990. Effets physiologiques et comportementaux du traitement des pelouses au chlorpyrifos sur le Merle d'Amérique (*Turdus migratorius*). G.R.E.B.E. inc. pour Environnement Canada et Dow Chemical Inc. Série de rapports techniques n°105. Service canadien de la faune, région du Québec. IX + 82pp. + annexes.

[1]G.R.E.B.E. inc., 1134, rue Sainte-Catherine ouest, Montréal (Québec), H3B 1H4.
[2]Service canadien de la faune, Environnement Canada, C.P. 10100, Sainte-Foy (Québec), G1V 4H5.

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

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990
Numéro de catalogue CW 69-5/105F
ISBN 0-662-96347-4
ISSN 0831-6481

1. Oiseaux - insecticides 2. Chlorpyriphos (insecticide).

Copies disponibles auprès du

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

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES iii

LISTE DES TABLEAUX v

LISTE DES FIGURES vii

LISTE DES ANNEXES ix

REMERCIEMENTS 1

EFFETS DU TRAITEMENT DES PELOUSES AU CHLORPYRIPHOS (DURSBAN) SUR LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN MILIEU URBAIN . . 2

RÉSUMÉ 2

ABSTRACT 3

1.0 INTRODUCTION 4

2.0 LE CHLORPYRIFOS 5

3.0 MÉTHODOLOGIE 7

3.1 Aire d'étude 7
3.2 Matériel biologique 8
3.3 Chronologie du traitement 9

3.3.1 Utilisation des pelouses 9
3.3.2 Productivité 12

3.4 Dispositifs de mesure 15

3.4.1 Mesure de l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet. 15
3.4.2 Hypothèses rivales 18
3.4.3 Mesure de la productivité 20

3.5 Analyses statistiques 21

3.5.1 Utilisation des pelouses en fonction des traitements 21
3.5.2 Caractéristiques des sites d'alimentation 25
3.5.3 Effet des traitements sur la productivité du

Merle d'Amérique 26

4.0 RÉSULTATS 27

4.1 Utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet 27
4.2 Effet des traitements sur l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet . . . 29
4.3 Caractéristiques des sites d'alimentation 33

4.3.1 Hauteur de l'herbe 33
4.3.2 Superficie, stratification végétale, importance de l'aménagement humain 39

4.4 Effet des traitements sur la productivité 42

5.0 DISCUSSION 46

6.0 BIBLIOGRAPHIE 48

ÉTUDE DE L'EFFET DU CHLORPYRIFOS SUR LES NIVEAUX D'ACÉTYLCHOLINESTÉRASE ET LA MORTALITÉ CHEZ LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN CAPTIVITÉ 55

RÉSUMÉ 55

ABSTRACT 56

1.0 INTRODUCTION 57

2.0 MÉTHODE 58

3.0 RÉSULTATS 62

4.0 DISCUSSION 76

5.0 RECOMMANDATIONS 78

6.0 RÉFÉRENCES 80

LISTE DES TABLEAUX

EFFETS DU TRAITEMENT DES PELOUSES AU CHLORPYRIPHOS (DURSBAN) SUR LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN MILIEU URBAIN

Tableau 1 Proportion des terrains autour des nids où l'information concernant les traitements de 1986 à 1988 est connue. 17

Tableau 2 Comparaison des caractéristiques particulières aux analyses inférentielles et exploratoires. 25

Tableau 3 Nombre de terrains avec au moins une présence de Merle d'Amérique ou d'Étourneau sansonnet sur 17 visites dans le quartier de Duvernay, à l'été 1989, en fonction des types de traitements effectués 31

Tableau 4 Utilisation des pelouses par l'ensemble des merles en fonction de la disponibilité de chacune des classes de hauteur de pelouse 42

Tableau 5 Utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique en fonction de l'aménagement paysager et humain 46

Tableau 6 Comparaison de la productivité en fonction du pourcentage moyen de terrains dans chaque catégorie de traitement. 52

Tableau 7 Comparaison de la productivité moyenne en fonction du pourcentage de terrains dans chaque catégorie de traitements, selon l'ordre de la couvée. 53

ÉTUDE DE L'EFFET DU CHLORPYRIFOS SUR LES NIVEAUX D'ACÉTYLCHOLINESTÉRASE ET LA MORTALITÉ CHEZ LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN CAPTIVITÉ

Tableau 1 Concentration (ppm) de chlorpyriphos dans les échantillons d'herbe. 63

Tableau 2 Niveau de l'AChE du sang et poids de Merles d'Amérique du groupe témoin et dates de relevés selon le protocole original prévu. 64

Tableau 3 Niveau de l'AChE du cerveau de Merles d'Amérique du groupe témoin. 65

Tableau 4 Niveau de l'AChE du cerveau, poids et durée d'intoxication de Merles d'Amérique du groupe dose léthale 1. 66

Tableau 5 Niveau de l'AChE du cerveau, poids et durée d'intoxication de Merles d'Amérique du groupe dose léthale 2. 67

Tableau 6 Niveau de l'AChE du cerveau, poids et durée d'intoxication de Merles d'Amérique du groupe courbe standard. 73

LISTE DES FIGURES

EFFETS DU TRAITEMENT DES PELOUSES AU CHLORPYRIPHOS (DURSBAN) SUR LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN MILIEU URBAIN

Figure 1 Catégories de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1988 à Duvernay (Laval) 12

Figure 2 Catégories de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1989, retenues pour étudier l'utilisation des terrains par le Merle d'Amérique dans le secteur de Duvernay (Laval) 15

Figure 3 Distribution des terrains par catégorie de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1989 dans le quartier de Duvernay (Laval). 16

Figure 4 Catégories de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1988, retenues pour étudier l'effet du chlorpyrifos sur la productivité du Merle d'Amérique en 1988 dans les secteurs de Duvernay et St-Vincent-de-Paul (Laval) 19

Figure 5 Analyse factorielle de correspondance illustrant la relation entre les abondances relatives les plus élevées de Merle d'Amérique et d'Étourneau sansonnet mesurées durant l'été 1989 et les traitements effectués de 1986 à 1989, sur les pelouses à Duvernay (Laval). . 34

Figure 6 Proportion des terrains avec au moins une présence établie après 17 visites durant l'été 1989 pour les espèces à l'étude et selon le sexe ou l'âge en fonction des traitements effectués de 1986 à 1989 à Duvernay (Laval). 37

Figure 7 Pourcentage de présence de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets en fonction de la disponibilité des terrains par classe de traitements. 40

Figure 8 Distribution des présences de Merle d'Amérique en fonction des classes de longueur d'herbe et disponibilité de celles-ci, le 3 juillet 1989. 41

Figure 9 Proportion d'utilisation des pelouses à herbe courte et moyenne par le Merle d'Amérique durant l'été 1989 en fonction des traitements effectués sur celles-ci de 1986 à 1989 à Duvernay (Laval). 43

Figure 10 Pourcentage de Merles d'Amérique en fonction de la disponibilité des pelouses à herbe courte par classe de traitements. 44

Figure 11 Analyse factorielle de correspondance illustrant la relation entre la présence de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets durant l'été 1989 en fonction de l'aménagement paysager à Duvernay (Laval). 48

Figure 12 Analyse de correspondance illustrant la relation entre la productivité des couvées de Merle d'Amérique en 1988 et les traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1987 à Duvernay (Laval). 51

ÉTUDE DE L'EFFET DU CHLORPYRIFOS SUR LES NIVEAUX D'ACÉTYLCHOLINESTÉRASE ET LA MORTALITÉ CHEZ LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN CAPTIVITÉ

Figure 1 Plan des volières. 59

Figure 2 Vitesse d'apparition des symptômes d'intoxication chez les Merles d'Amérique. 68

Figure 3 Relation entre l'activité de l'AChE et la durée d'exposition (dose létale 2). 70

Figure 4 Relation entre la durée d'exposition et le poids (dose létale 2). 71

Figure 5 Relation entre l'activité de l'AChE et le poids (dose létale 2). 72

Figure 6 Relation entre la durée d'exposition et l'activité d'AChE (courbe standard). 74

Figure 7 Relation entre la durée d'exposition et l'activité d'AChE (données de la courbe standard jumelées à celles de l'expérience dose létale). 75

LISTE DES ANNEXES

EFFETS DU TRAITEMENT DES PELOUSES AU CHLORPYRIPHOS (DURSBAN) SUR LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN MILIEU URBAIN

Annexe 1 Contributions associées à chacune des valeurs de la représentation graphique de l'AFC illustrant la relation entre les abondances relatives les plus élevées de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets mesurées durant l'été 1989 et les traitements effectués de 1986 à 1989 sur les pelouses à Duvernay (Laval) (figure 5). 52

Annexe 2 Contributions associées à chacune des valeurs de la représentation graphique de l'AFC illustrant la relation entre la présence de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets durant l'été 1989 et l'aménagement paysager à Duvernay (Laval) (figure 11). 53

Annexe 3 Contributions associées à chacune des valeurs de la représentation graphique de l'AFC illustrant la relation entre la productivité des couvées de Merles d'Amérique en 1988 et les traitements effectués sur les pelouses en 1986 et 1987 à Duvernay (Laval) (figure 12). 54

REMERCIEMENTS

Nous remercions la compagnie Dow Chemical, notamment M. Richard J. Hood, et la Direction de Protection de l'Environnement (Montréal) pour leurs contributions à l'étude.

Nous remercions le personnel des compagnies qui ont participé à l'étude et tout particulièrement M. Don Gordon, directeur des services techniques, région du Québec et M. Jean-François Jutras, directeur des ventes et services, succursale rive-nord de la compagnie Chemlawn, M. Guy Van Den Abeele, président et M. Pierre Bouffard, gérant technique et phytotechnologiste de la compagnie Nature Plus, M. Philippe Van Den Abeele président de la compagnie Pelouse Québec et M. Yvon Gravel président de la compagnie Pelouse Santé pour leur précieuse collaboration. Nous remercions aussi Mme Karen Lloyd et M. Pierre Mineau qui nous ont permis de consulter la documentation du groupe d'évaluation des pesticides du SCF à Hull.

M. François Morneau a participé à la conception de l'étude. Mme Cécile Dubé et M. Mario St-Georges ont participé à la campagne de terrain.

Enfin, nous remercions les résidents du quartier de Duvernay, à Laval qui ont accepté de nous fournir des informations concernant l'utilisation des pesticides sur leur pelouse.

Pour la réalisation de l'étude des merles en captivité, nous remercions l'Université de Sherbrooke qui nous ont laissé utiliser certaines de leurs pelouses ainsi que Mme Maryse Piché qui a participé aux travaux expérimentaux.

EFFETS DU TRAITEMENT DES PELOUSES AU CHLORPYRIPHOS (DURSBAN) SUR LE MERLE D'AMÉRIQUE (TURDUS MIGRATORIUS) EN MILIEU URBAIN

par Claire Lépine[1], Robert Décarie[1] et Jean-Luc DesGranges[2]

[1] G.R.E.B.E. Inc., 1134 Sainte Catherine ouest
Montréal (Qc) H3B 1H4
[2] SCF (Région du Québec), 1141, route de l'Eglise
Sainte Foy (Qc) G1V 4H5

RÉSUMÉ

La présente étude vise à vérifier si l'usage immédiat ou répété sur plusieurs années de chlorpyrifos (DURSBAN) a un effet sur l'utilisation des pelouses en milieu résidentiel par le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) et l'Étourneau sansonnet (Sturnus vulgaris) et si l'usage répété de cet insecticide sur les pelouses a un impact sur la productivité des nichées de Merle d'Amérique. Quatre compagnies ont fourni les informations concernant l'entretien des pelouses depuis 1986 dans un secteur de Duvernay, à Laval et les propriétaires ne retenant pas les services de ces compagnies ont fourni l'information concernant leur pelouse. L'abondance et la fréquence de présence de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets ont été notées sur les pelouses de ce secteur à 17 reprises du 4 juillet au 11 août 1989. Il ne semble pas que l'usage répété du chlorpyrifos ait un effet sur l'utilisation des pelouses par les merles et les étourneaux. Les lombriciens qui, eux ont subi une baisse de biomasse et d'abondance suite à l'utilisation de chlorpyrifos sur les pelouses (Coderre 1990) ont, à cette période de l'année, une activité réduite et sont donc moins disponibles quelque soit la pelouse. Dans le même temps, les merles voient leur régime alimentaire réorienté vers les fruits, les rendant moins tributaires des vers de terre.

La productivité de 86 nids de Merle d'Amérique a été mesurée à l'été 1988. Les propriétaires et les compagnies collaboratrices ont fourni les informations concernant les traitements de pesticides effectués lors des deux années précédentes autour de chacun des nids. Les résultats de cette étude semblent indiquer des effets négatifs de l'utilisation répétée de chlorpyrifos sur ce paramètre de nidification. La diminution de l'abondance et de la biomasse des lombriciens pourrait expliquer cet impact négatif bien que, selon la littérature, la diminution de proies ne semblent pas influencer la productivité. Par ailleurs, le grand nombre d'informations manquantes autour de chacun des nids commande d'étudier plus en profondeur les effets à long terme d'arrosages répétés au chlorpyrifos sur la productivité.

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish if the immediate or repeated use of chlorpyrifos (DURSBAN) in a suburban area affects the use of lawns by the American Robin (Turdus migratorius) and the European Starling (Sturnus vulgaris), and if the repeated use of this insecticide has an effect on the productivity of the American Robin.

Four companies involved in lawn maintenance provided information on what was sprayed since 1986 on lawns in a sector of Duvernay, in Laval. The owners who were not customers of these companies provided information concerning their lawn. The abundance and frequency of presence of the American Robin and European Starling on these lawns were estimated on 17 occasions between July 4 and August 11, 1989. It seems that there are no effects of the repeated use of chlorpyrifos on the utilization of lawns by the robin or the starling although the abundance and weight of earthworms were reduced by the use of chlorpyrifos on the lawns (Coderre 1990). Earthworms are less active during this period of the summer, becoming less available on every lawn, treated or not. This is also the time that robins change their foraging activity towards fruits.

The productivity of 86 nests of robins was measured in 1988. The owners and the four associate companies provided information concerning the spraying of the lawns around the nests for the two years before the 1988 nesting season. It seems that there are negative effects of the repeated use of chlorpyrifos on this variable. The reduced availability of earthworms may explain this impact although it seems, according to the literature, that a diminished number of prey has no effect on productivity. However, the importance of missing information as to what was sprayed on each lawn surrounding the nests makes it necessary to study long-terms effects of chlorpyrifos on productivity.

1.0 INTRODUCTION

L'utilisation de pesticides phytosanitaires en milieu urbain suscite depuis quelques années des interrogations quant aux répercussions sur l'avifaune. De nombreux cas de décès d'oiseaux ont été notés suite à l'application d'insecticides organophosphorés tels le diazinon et le chlorpyrifos sur les pelouses (Stone 1979, Coon 1983, Stone et Gradoni 1987). Une étude d'Environnement Canada mentionne que ces deux insecticides sont les plus fréquemment employés au Québec (Cossette et al. 1988).

Bien que leur usage tende à diminuer ces dernières années à cause de la nouvelle loi provinciale sur les pesticides en vigueur depuis le 7 juillet 1988 et qui vise à réduire leur application (Québec 1989), les insecticides sont encore très employés dans certains secteurs où prolifèrent la Punaise terne (Blissus leucopterus) et autres insectes s'attaquant à l'herbe.

La compagnie Dow Chemical et le Service Canadien de la Faune (SCF) désirent vérifier les effets de l'usage de chlorpyrifos en milieu résidentiel sur l'utilisation des pelouses comme site d'alimentation par les oiseaux et sur la productivité du Merle d'Amérique (Turdus migratorius).

Outre le constat des incidents cités, il s'agit de la première étude sur les effets du chlorpyrifos en milieu urbain. En effet, Brunet et Cyr (1990) ont étudié l'effet de l'épandage de cet insecticide (sous forme aqueuse) sur les pelouses de cages dans lesquelles étaient maintenus des Merles d'Amérique, Balcomb et al. (1984) ont fait de même en administrant par voie orale du chlorpyrifos sous forme granulaire à des Moineaux domestiques (Passer domesticus) et des Carouges à épaulettes (Agelaius phoeniceus). Dans le même ordre d'idée, Hurlbert et al. (1970) ont travaillé avec des canards en enclos (voir aussi Kenaga 1974 et Hurlbert 1977). Clements et Bale (1988) ont essayé diverses méthodes pour étudier les effets du chlorpyrifos sur les oiseaux et les mammifères de prairies et McEwen et al. (1986) ont étudié les effets du chlorpyrifos sur des Alouettes cornues (Eremophila alpestris) et des Bruants de McCown (Calcarius mccownii) en milieu agricole. Dans les deux cas, les espèces ont continué à utiliser les sites malgré l'application de chlorpyrifos.

Le chlorpyrifos est peu persistant dans l'environnement (Sears et Chapman 1979, Meikle et al. 1983, Sears et al 1987). Par conséquent, deux types d'effets peuvent être mesurés: les effets directs et immédiats des arrosages et les effets indirects dus à l'usage répété de cet insecticide.

Les effets immédiats pourraient entrainer une contamination de l'oiseau ou l'obliger à changer momentanément de sites d'alimentation pour éviter d'ingérer des proies exposées ou pour éviter d'être en contact avec les rédidus de chlorpyrifos. En effet, en laboratoire,

quand un choix est donné à des Faisans à collier (Phasianus colchicus) ou à de jeunes Canards colverts (Anas platyrhynchos), la nourriture non contaminée au chlorpyrifos est généralement préférée (Bennett et Prince 1981, Kenaga et al. 1981). Cependant, en milieu naturel, les pelouses venant d'être arrosées au chlorpyrifos attiraient plutôt des Étourneaux sansonnets (Sturnus vulgaris) et des Corneilles mantelées (Corvus corone) tentés par les proies tuées par l'insecticide, et ce, sans effets apparents immédiats (Clements et Bale 1988).

Les effets indirects pourraient être entrainés par la diminution de proies suite à l'épandage répété de cet insecticide. Les vers de terre sont une source importante de nourriture pour les oiseaux s'alimentant au sol en milieu urbain (Kalmbach 1914 et Howell 1942 in Heppner 1965, Dolbeer et al. 1978). Or, il a été démontré par Coderre (1990) que les terrains traités au fertilisant, à l'herbicide et au chlorpyrifos depuis quelques années soutenaient une abondance et une biomasse de vers de terre inférieures à celles des terrains traités seulement au fertilisant et à l'herbicide. Par conséquent il est possible que les oiseaux se nourrissant de ces proies puissent éviter ces sites où il y a moins de vers de terre ou s'ils ne les évitent pas, la diminution de proies pourraient entrainer une baisse de productivité.

Les objectifs de cette étude sont de:

1- vérifier si l'usage de chlorpyrifos a un effet immédiat sur l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet après la période de reproduction;

2- vérifier si l'usage répété (depuis 1986) de chlorpyrifos sur les pelouses en milieu résidentiel a un impact sur leur utilisation par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet après la période de reproduction;

3- vérifier si la productivité des nichées de Merle d'Amérique de 1988 a été affectée par l'intensité de traitement au chlorpyrifos que les pelouses ont subi lors des deux années précédentes (1986 et 1987);

2.0 LE CHLORPYRIFOS

Le chlorpyrifos ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$), aussi connu sous le nom de Dursban, Fosban ou Lorsban, est un insecticide organophosphoré utilisé pour contrôler les populations d'insectes tels les moustiques, les termites, les poux, les blattes et divers insectes s'attaquant aux pelouses et aux plantes ornementales. On l'utilise en concentrés émulsifiables, en poudre, en granules, en capsules et sur divers matériaux imprégnés (Odenkirchen et Eisler 1988).

Le chlorpyrifos se dégrade rapidement par photodécomposition (demie-vie de 3 jours) et par volatilisation (demie-vie de 8 heures) (Meikle et al. 1983). Seulement 9 pour cent de la solution appliquée sur une pelouse demeure présente dans l'herbe et le chaume après 56 jours. Le chaume empêche la pénétration de l'insecticide dans le sol, 2 pour cent de la solution demeure présente dans la zone du sol occupée par les racines après 56 jours et moins de 1 pour cent à une profondeur de -2.5 cm (Sears et Chapman 1979). Dans le sol, il a une demie-vie qui varie de moins d'une semaine à plus de 6 mois en fonction de l'humidité du sol, de l'activité microbienne, de la température, du contenu des sols en argile et en matière organique (Kuhr et Tashiro 1978; Odenkirchen et Eisler 1988).

Le chlorpyrifos est considéré comme très toxique pour certaines espèces d'oiseaux et modéremment toxique pour d'autres, via une exposition orale aigüe (Smith 1987). La DL_{50} orale aigüe varie selon les espèces et selon les auteurs (Tucker et Haegele 1971, Schafer jr et al. 1983, Grolleau et Caritez 1986, Smith 1987, Odenkirchen et Eisler 1988):

Carouge à épaulettes(Agelaius phoeniceus): 13 ppm
Quiscale bronzé (Quiscalus quiscula): 5,6-13,3 ppm
Caille japonaise (Coturnix japonica): 13,3-15,9 ppm
Faisan à collier (Phasianus colchicus): 8,4-17,7 ppm
Moineau domestique (Passer domesticus): 10-21 ppm
Pigeon biset (Columbia livia): 10-26,9 ppm
Corneille d'Amérique (Corvus brachyrhynchos) >32 ppm
Perdrix rouge (Alectoris rufa): 44 ppm
Étourneau sansonnet (Sturnus vulgaris): 5-75 ppm
Colin de Virginie (Colinus virginianus) 32-108 ppm

Il ne semble pas exister de données sur la toxicité aigüe chez le Merle d'Amérique. Toutefois, elle devrait se rapprocher de celles de l'Étourneau sansonnet, du Carouge à épaulettes et du Quiscale bronzé.

L'intoxication peut se faire par ingestion, inhalation ou contact dermique. Le chlorpyrifos, comme les autres organophosphorés, agit principalement en réduisant les niveaux d'activité de la cholinestérase dans certains tissus (cerveau et sang). La mort survient généralement entre 1 heure et 9 jours après une exposition au produit (Odenkirchen et Eisler 1988; Brunet et Cyr 1990). Des oiseaux ayant des niveaux réduits d'activité de la cholinestérase peuvent survivre jusqu'à la récupération (McEwen et al. 1986).

3.0 MÉTHODOLOGIE

Pour rencontrer les objectifs 1 et 2, le travail a été séparé en deux étapes. En premier lieu, la chronologie des traitements (chlorpyrifos, herbicides, fertilisants) effectués sur les terrains d'un secteur de Laval, de 1986 à 1989 a été établie. Par la suite, l'utilisation des pelouses de la zone étudiée par des oiseaux se nourrissant de proies vivant au sol a été mesurée de façon à vérifier si cette utilisation est influencée par les traitements au chlorpyrifos. Il n'a été tenu compte que des traitements effectués sur les pelouses de la partie avant des maisons, les terrains arrières n'étant pas accessibles pour des observations quotidiennes.

Pour l'objectif 3, le travail a aussi été séparé en deux étapes. La productivité de 86 nids de première et seconde nichée découverts en 1988 par Morneau et al. (1990) a été utilisée. Par la suite, la chronologie des traitements effectués en 1986 et 1987 sur chacun des 6 à 12 terrains (avant et arrière) entourant celui où le nid avait été découvert a été établie.

3.1 Aire d'étude

Utilisation des pelouses

Le quartier de Duvernay à Laval dans la province de Québec a été choisi comme site d'étude. C'est un secteur où le chlorpyrifos a été fortement utilisé au cours des dernières années et les propriétaires sont réceptifs à ce genre d'étude (Don Gordon, président de l'Association Paysage Québec, comm. pers.). Pour concentrer l'effort demandé par la documentation de la chronologie des traitements sur chacun des terrains, le site d'étude a été restreint à un quadrilatère inclus dans ce quartier et comprenant 2275 terrains (carte 1).

Le secteur est composé surtout de maisons détachées et, dans une proportion moindre, de semi-détachées. Une seule rue comprend des immeubles à logements multiples (4 logements). La superficie de la majorité des terrains avant des maisons varie de moins de 50 m² jusqu'à 150 m², quelques-uns seulement étant plus grands. Pour une description plus approfondie du secteur à l'étude, se référer à l'étude de Morneau et al. (1990).

Productivité

Le secteur où a été réalisé ce volet inclue les quartiers de Duvernay et de St-Vincent-de-Paul à Laval. C'est dans ces quartiers que Morneau et al. (1990) ont localisé des nids de merle durant l'été 1988.

3.2 Matériel biologique

Utilisation des pelouses

L'étude a porté sur deux des espèces les plus abondantes en milieu urbain: le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet. Le régime alimentaire du merle est composé d'invertébrés à corps mou tels les vers de terre et les larves d'insectes, d'invertébrés à corps durs tels les coléoptères, orthoptères et lépidoptères et de baies ou petits fruits (Beal 1915 in Jonhson et al 1976, Hamilton 1935, Heppner 1965, Jonhson 1969, Paszowski 1982, Tobin 1984, Swihart et Johnson 1986, Wheelwright 1986). La composition de ce régime alimentaire varie au cours de l'année. Les invertébrés sont consommés en abondance au printemps pendant la période de nidification et pendant l'été. Graduellement, les fruits remplacent ces invertébrés et deviennent la principale source alimentaire pendant les saisons d'automne et d'hiver (Jonhson 1969, Wheelwright 1986). Si le chlorpyrifos a un impact important sur les invertébrés au printemps et durant l'été, les merles pourraient devoir modifier leurs patrons d'utilisation des terrains.

L'Étourneau sansonnet est grégaire et possède une alimentation assez semblable à celle du Merle d'Amérique, bien que plus variée. En effet, la moitié de son alimentation est constituée de divers invertébrés mais il se nourrit aussi de fruits sauvages ou cultivés, de semences, de déchets végétaux et de différents grains tels le blé et le maïs lorsque les individus commencent à se rassembler en bande en juillet et en août (Kalmbach 1928, Dolbeer et al., 1978).

Productivité

Le Merle d'Amérique a été utilisé pour évaluer les effets de l'utilisation répétée du chlorpyrifos sur ce paramètre de reproduction de l'espèce.

3.3 Chronologie du traitement

3.3.1 Utilisation des pelouses

Recherche d'information

Quatre compagnies d'entretien phytosanitaire ont accepté de fournir l'information nécessaire à la description de la chronologie des terrains du secteur choisi: Chemlawn, Nature Plus, Pelouse Québec et Pelouse Santé. La première étape a été de colliger ces informations.

D'un terrain à l'autre, le nombre et le type de traitements appliqués varient en fonction des besoins du terrain, de l'année en cours et de la compagnie d'entretien.

La chronologie des produits appliqués chez chaque client de ces quatre compagnies n'a pas pu être complétée pour tous les terrains puisque certains propriétaires ont changé de compagnie depuis 1986. Certains d'entre eux ne sont clients d'une de ces quatres compagnies que depuis 1988. De plus, la collecte de ces informations ne fournissait aucun terrain témoin (non entretenu depuis 1986) ou traité légèrement (fertilisant sans herbicide ou insecticide). Une enquête auprès des propriétaires n'utilisant pas les services de ces compagnies s'est donc avérée nécessaire pour connaître les produits appliqués depuis 1986. Un échantillonnage systématique a été effectué pour déterminer quels terrains feraient l'objet du sondage. Une maison sur deux a été visitée (jusqu'à deux fois si le propriétaire était absent à la première visite). Les traitements effectués sur les rocailles ou les arbustes et arbres ne faisaient pas l'objet de l'étude.

Dans une enquête, les informations obtenues peuvent parfois être erronées ou imprécises. Dans certains cas, il s'est avéré nécessaire d'éliminer les informations données par les propriétaires puisque l'état de la pelouse ne correspondait pas à ce qui pouvait être attendu à partir des informations fournies.

Dans ce secteur, les quatre compagnies ci-haut mentionnées ont entretenu 41 % pelouses au moins une fois depuis 1986. Vingt pour cent des terrains ont été entretenus par le propriétaire, par une autre compagnie ou un jardinier. Soixante-huit terrains (3 %) sont considérés comme des témoins. L'information n'était pas disponible pour les 809 maisons restantes (36 %) parce qu'elles n'ont pas fait l'objet du sondage ou parce que les gens n'habitaient la maison que depuis 1989.

Méthode d'entretien des pelouses

Chacune des quatre compagnies visite les terrains de ses clients quatre fois pendant l'été. Du fertilisant est appliqué à chaque visite. Avant 1988, ces compagnies appliquaient un (ou des) herbicide(s) deux à quatre fois par année et un insecticide à la troisième visite. Depuis 1988, les herbicides et les insecticides ne sont appliqués qu'au besoin. La première visite a lieu en avril, la seconde en juin, la troisième en juillet et août et la dernière en septembre et octobre. On applique jusqu'à 1,7 kg/100 m^2 par année de fertilisant NPK (16-2-6) auquel on ajoute parfois du fer. Les herbicides employés sont le Killex (39 ml de matière active/100 m^2 de 2,4-D en solution avec du Mecoprop) ou le MCPA mélangé à du Mecoprop. Le Dacthal, un herbicide pré-émergence, est parfois employé une fois par année (jusqu'à 1,2 kg/100 m^2). Le chlorpyrifos (Dursban 4E) est appliqué à une concentration de 24 ml à 48 ml de matière active/100 m^2 (Don Gordon, président de l'Association Paysage Québec, comm. pers.).

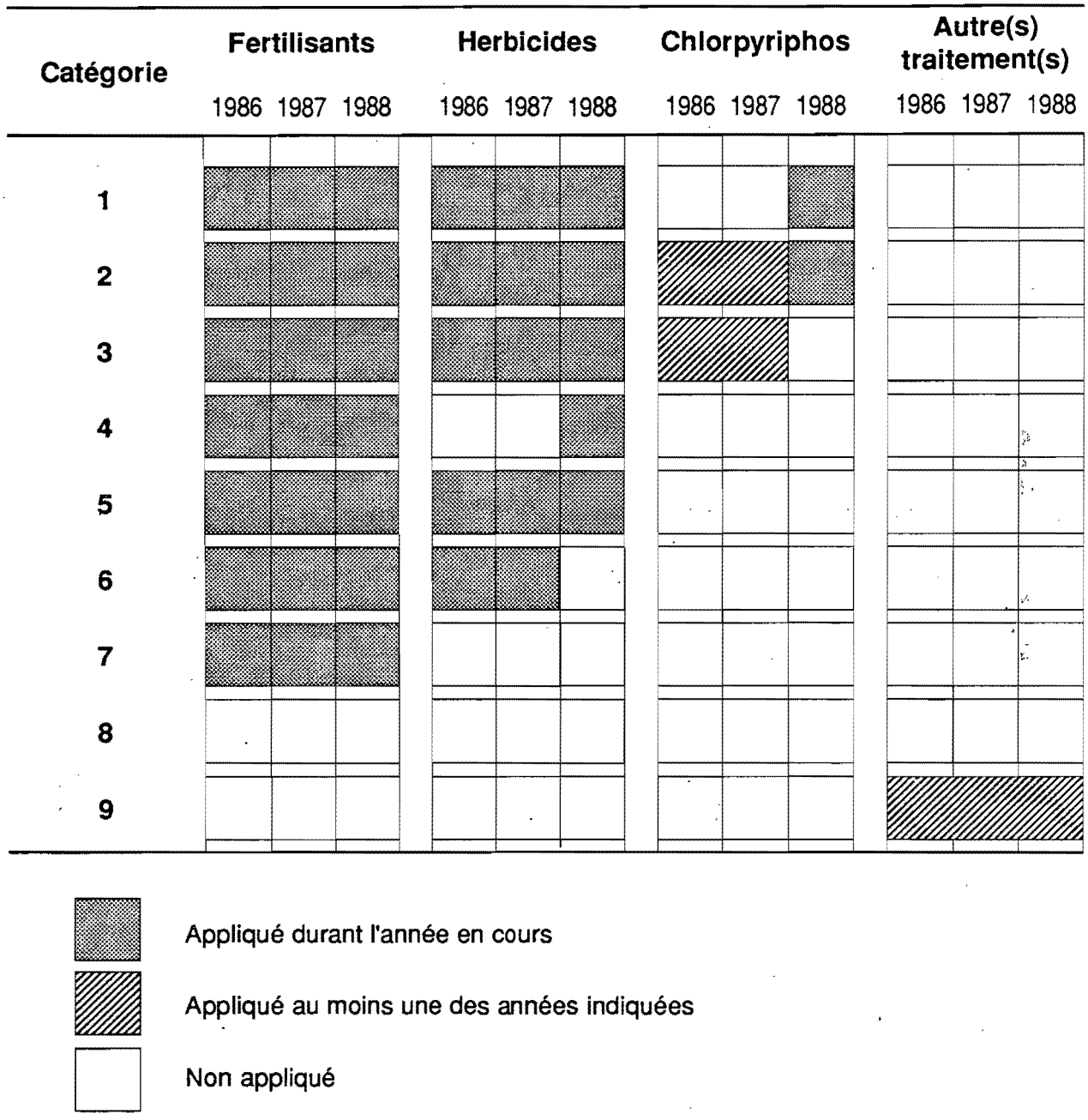
Lorsque les propriétaires font appel à un jardinier plutôt qu'à une des compagnies d'entretien phytosanitaire, celui-ci applique du fertilisant et de l'herbicide granulaire 2 à 4 fois par année et parfois un insecticide. Lorsqu'ils font l'entretien eux-mêmes, les propriétaires procèdent de plusieurs façons. Certains appliquent exactement les mêmes produits que les compagnies sus-mentionnées. D'autres, au gré des besoins, appliquent parfois du fertilisant, parfois de l'herbicide et parfois de l'insecticide. Certains appliquent le traitement sur toute la pelouse, d'autres localement. Quelques-uns n'appliquent aucun produit. Il arrive fréquemment que les propriétaires ne connaissent pas le type de produit appliqué.

Traitement de l'information

Les terrains pour lesquels l'information était fragmentaire, non pertinente ou douteuse ont dû être éliminés. De plus, il n'existait aucun terrain traité uniquement au chlorpyrifos. Les types de traitements effectués ont donc été divisés en catégories homogènes permettant la comparaison entre des terrains traités avec des fertilisants et des herbicides et des terrains traités avec ces mêmes pesticides plus du chlorpyrifos et avec des terrains non traités depuis 1986. Ceci permettait d'isoler les effets de cet insecticide.

Dans un premier temps, 9 catégories de traitements appliqués localement ou sur toute la pelouse de 1986 à 1988 ont été retenues (figure 1).

Figure 1 - Catégories de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1988 à Duvernay (Laval)



Les traitements au chlorpyrifos en 1986 et en 1987 ont été regroupés car il a été impossible de déterminer si les terrains avaient reçu ou non du chlorpyrifos en 1987. A ces 9 catégories se sont ajoutées les différentes modalités d'applications réalisées en 1989, à savoir, des fertilisants, des herbicides ou de l'insecticide utilisés seuls ou en combinaison avec les autres. L'insecticide utilisé n'était pas toujours du chlorpyrifos et le propriétaire pouvait avoir décidé, après 3 ans de changer de type de produits ou de compagnie d'entretien. Le nombre de catégories pouvait donc augmenter en fonction de ces diverses combinaisons.

De plus, très peu de chlorpyrifos a été appliqué en 1989 sur les pelouses, rendant l'effectif trop faible pour effectuer des analyses de type inférentiel. Les applications de chlorpyrifos de 1989 ont donc été éliminées des catégories retenues pour ces analyses rendant impossible l'étude des effets immédiats de cet insecticide. Toutefois, elles ont quand même pu être utilisées en variable supplémentaire dans certaines analyses exploratoires traitées plus loin.

Plusieurs des catégories étant trop faiblement représentées, cinq d'entre elles ont finalement été retenues pour les analyses statistiques (figure 2).

La figure 3 et la carte 1 présentent le nombre et la répartition de ces catégories dans le secteur à l'étude.

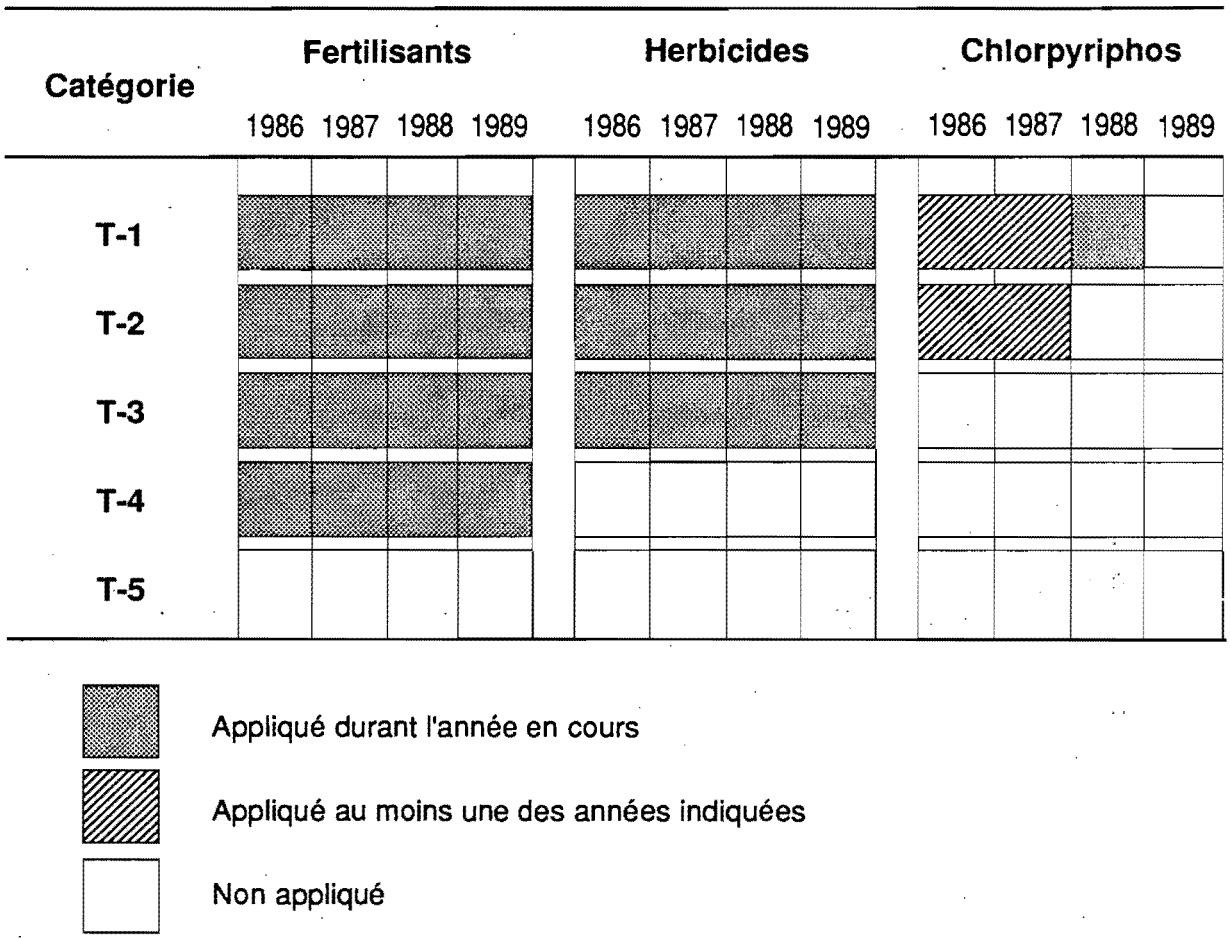
3.3.2 Productivité

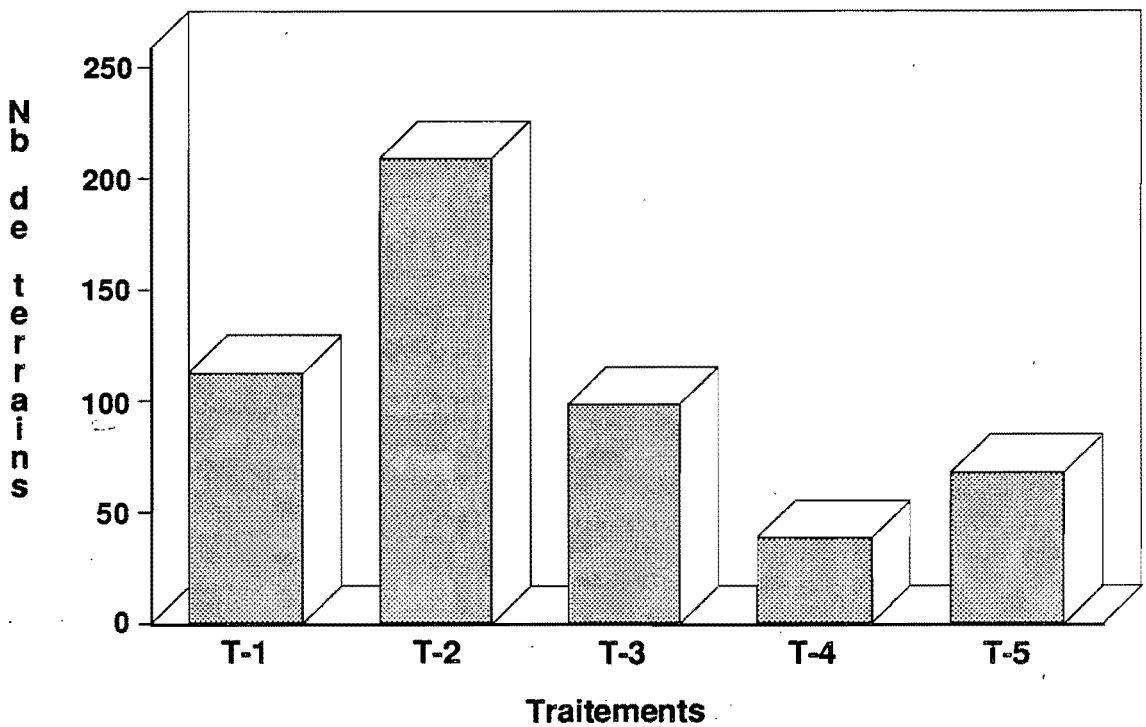
Recherche d'information

Une enquête a été effectuée auprès des 6 à 12 propriétaires de terrains jouxtant celui où chaque nid a été découvert afin de connaître les traitements réalisés sur chacun de ces terrains en 1986, 1987 et au début de 1988. Une surface de 0,5 ha autour de chacun des nids est suffisante pour couvrir la majorité de l'aire d'alimentation du Merle d'Amérique car le territoire de chasse de cet oiseau est généralement centré sur le nid (Howell 1942 et Young 1955 in Johnson 1969, Swihart et Johnson 1986) et couvre généralement une superficie d'environ 0,12 ha (Butts 1927, Young 1951 in Schoener 1968). Certains individus peuvent cependant se déplacer jusqu'à 1 km du nid à la recherche de nourriture (Johnson 1969).

Les questions posées étaient les mêmes que celles du volet portant sur l'utilisation des pelouses. Lorsque les propriétaires indiquaient avoir retenu les services de l'une ou l'autre des compagnies ci-haut mentionnées, les archives étaient consultées pour connaître quels traitements ces compagnies y avaient effectués.

Figure 2 - Catégories de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1989, retenues pour étudier l'utilisation des terrains par le Merle d'Amérique dans le secteur de Duvernay (Laval)





LÉGENDE

T-1 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987 et en 1988. n = 112

T-2 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987. n = 209

T-3 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989. n = 99

T-4 Fertilisants de 1986 à 1989. n = 38

T-5 Aucun traitement de 1986 à 1989 (témoin). n = 68

Figure 3 - Distribution des terrains par catégorie de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1989 dans le quartier de Duvernay (Laval)

Traitement de l'information

Les catégories de traitement sont les mêmes que celles retenues pour la section 3.3.1. Toutefois, comme la productivité a été estimée au printemps 1988, les catégories de traitements réalisés après cette période ont été éliminées (figure 4).

En moyenne, le pourcentage des terrains autour de chacun des nids dont l'information sur le traitement est connue est peu élevé (tableau 1). Cette faible proportion est reliée au fait que le choix des terrains a été effectué en fonction de l'emplacement des nids.

Tableau 1 Proportion des terrains autour des nids où l'information concernant les traitements de 1986 à 1988 est connue.

Proportion des terrains où l'information est connue (%)	Nombre de nids
0 à 19	20
20 à 39	39
40 à 59	21
60 à 79	6
80 à 100	0

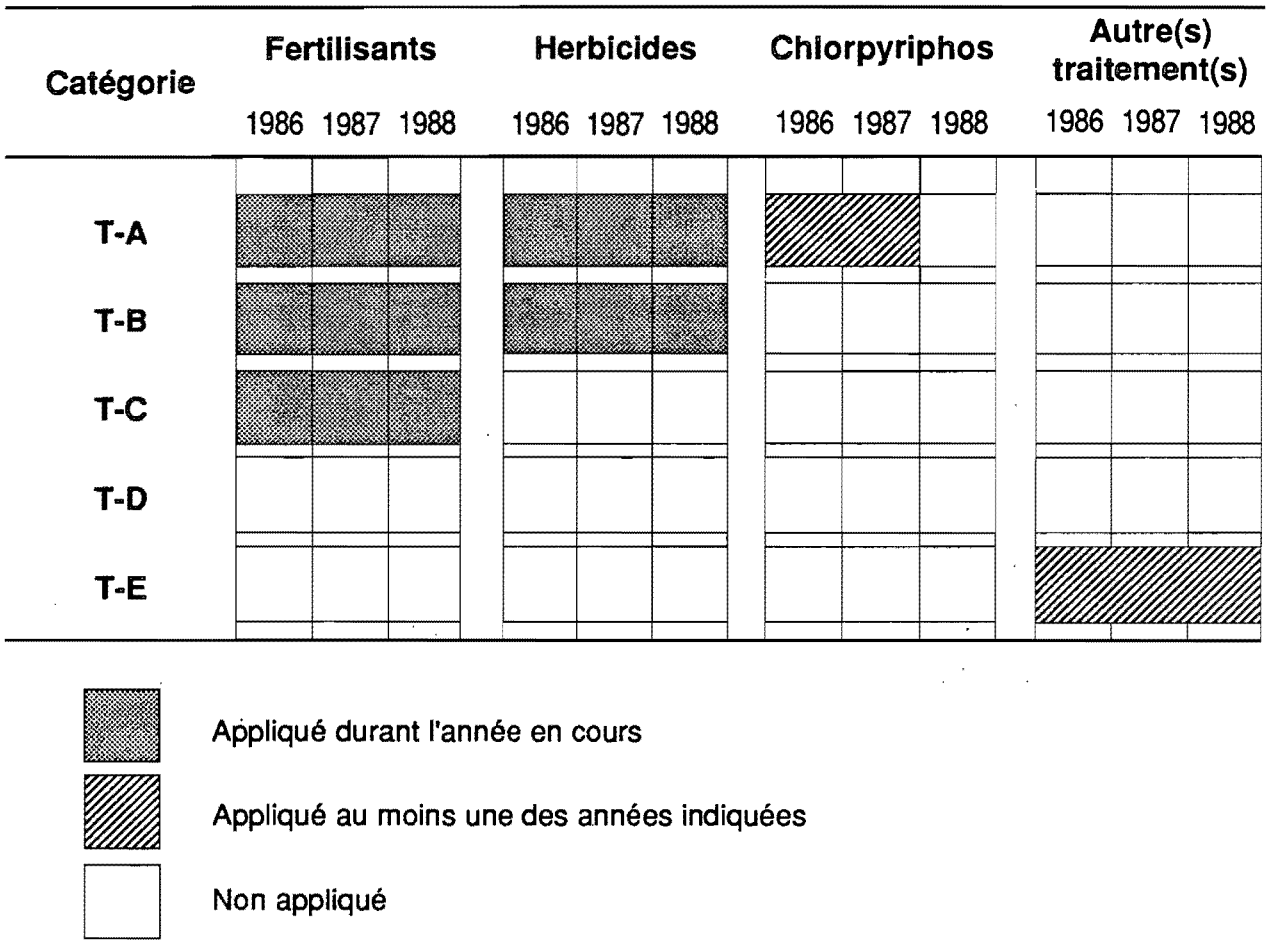
3.4 Dispositifs de mesure

3.4.1 Mesure de l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet.

1) Variables

Pour mesurer l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet, la présence et le nombre d'individus de ces deux espèces ainsi que leur sexe (pour le merle) et leur degré de maturité (i.e. immatures vs adultes) ont été notés au cours de 17 visites dans le secteur sus-mentionné. En effet, les oiseaux immatures peuvent choisir des sites d'alimentation différents de ceux des adultes (Ficken et Ficken 1967 et Howe 1974 et Dunn et Nol 1980 in Gochfeld et Burger 1984). De même, les mâles pourraient présenter un

Figure 4 - Catégories de traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1988, retenues pour étudier l'effet du chlorpyrifos sur la productivité du Merle d'Amérique en 1988 dans les secteurs de Duvernay et St-Vincent-de-Paul (Laval)



comportement différent de celui des femelles. Ces mesures permettent de calculer l'abondance relative (moyenne du nombre de merles ou d'étourneaux vus sur un terrain au cours des dix-sept jours d'observation) et la fréquence de présence (nombre de jours où ces oiseaux ont été vus sur un terrain donné) pour chacun des terrains en fonction des traitements effectués. Le numéro civique, le nom de la rue et la hauteur de l'herbe ont aussi été notés.

2) Itinéraire et fonctionnement général

L'itinéraire était tracé à l'avance par souci d'objectivité. A chaque sortie, la moitié du secteur était parcourue par deux observateurs. Les déplacements ont été effectués à bicyclette, à une vitesse régulière et de façon à réduire au minimum les mouvements et le bruit pour ne pas effaroucher les oiseaux.

L'observateur scrutait un seul côté de la rue à la fois afin d'obtenir un effort d'observation constant. Son regard effectuait un balayage qui s'étendait jusqu'à la cinquième maison en avant et revenait sur le côté. Il augmentait ainsi les probabilités de contacter les oiseaux. Cette façon de procéder permettait de détecter les individus plus farouches qui s'envolent bien avant l'arrivée de l'observateur. L'autre côté de la rue était dénombré après avoir circulé sur une autre rue afin de minimiser les effets du dérangement.

L'intensité de la lumière et le bruit causé par les résidents augmente au cours des heures. L'activité des oiseaux peut être influencée par ces facteurs (Welty 1975). Chaque observateur modifiait donc son parcours d'une sortie à l'autre de façon à commencer le dénombrement à des endroits différents.

Le nombre de terrain avec présence de merles s'est avéré peu élevé. Aussi, afin d'augmenter les effectifs, les oiseaux détectés sur l'itinéraire déjà parcouru lors d'une sortie ont été notés avec un code distinct de celui des autres observations. Ces nouvelles présences, bien que n'ayant pas la même probabilité d'être détectées et ne pouvant faire l'objet des mêmes analyses, pouvaient apporter des informations supplémentaires sur l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet.

3) Heures d'observation

Après quelques jours, il s'est avéré que la meilleure période d'observation était de 5 à 8 heures (heure avancée de l'est) puisque c'est à ces heures que les espèces-cibles étaient le plus actives. Cette période d'activité correspond d'ailleurs à celle des lombriciens. En effet, c'est surtout à l'aurore et au crépuscule ainsi qu'après une pluie ou un arrosage que les vers de terre sont à la surface du sol et

que les Merles d'Amérique ont le plus de facilité à les découvrir (Heppner 1965).

4) Dates d'observation

Pour vérifier s'il existe un effet immédiat du chlorpyrifos sur les espèces-cibles (objectif 1), la période d'observation a dû être sélectionnée à partir de la période de l'année où ces arrosages sont effectués (en juillet, août et septembre). Cette période favorisait aussi la réponse à l'objectif 2. C'est cependant surtout en période de nidification et un peu après que les merles et étourneaux se nourrissent de vers de terre et d'autres arthropodes (Johnson 1969, Wheelwright 1986). L'observation systématique de tous les terrains du secteur a donc été effectuée du 4 juillet au 11 août afin d'optimiser le nombre de présences et le nombre de pelouses sur lesquelles on les observe puisque plus tard en août la période de nidification aurait été terminée et qu'on aurait vu moins de merles et d'étourneaux (Jonhson 1969, Morneau et al 1990).

A cette période de l'année, les précipitations sont cependant assez faibles (Environnement Canada 1989). En répartissant les observations sur plusieurs jours, les probabilités de précipitations étaient multipliées favorisant ainsi la remontée des vers de terre à la surface (Heppner 1965) et donc la présence de merles.

3.4.2 Hypothèses rivales

L'hypothèse selon laquelle les terrains traités seraient tondus plus fréquemment que les autres terrains est plausible. En effet, les gens soucieux de conserver une belle pelouse ne négligeraient aucune action. Or, il se peut que ces terrains soient les mieux entretenus (pelouse courte et fraiche coupée), les plus grands etc. C'est dans le but d'éliminer les effets de ces hypothèses rivales que certains autres paramètres ont été mesurés.

Hauteur de l'herbe

Selon Eiserer (1980) les premières minutes suivant une coupe de pelouse favorisent le Merle d'Amérique car les proies sont ainsi exposées à la vue du prédateur. De même, l'herbe courte et/ou clairsemée aident à la bonne vision de l'oiseau (Heppner 1965, Eiserer 1980).

Le 3 juillet, avant le début de la série d'observations d'oiseaux, la hauteur de l'herbe a été mesurée de façon systématique sur l'avant d'un terrain sur quatre. Cette hauteur a été évaluée en 3 classes:

courte: moins de 5 cm
moyenne: de 5 à 8 cm
longue: 8 cm et plus

L'observateur notait si la pelouse semblait avoir été coupée depuis moins de 24 heures. De plus, la densité de la pelouse (clairsemée et dense) a été notée mais comme plus de 95% des pelouses ont été considérées denses, cette variable a été éliminée des analyses.

Ces observations n'ont été notées qu'une seule fois. Elles donnent une idée de la distribution des classes de longueur d'herbe. Il est possible de comparer cette disponibilité pour chaque classe avec leur utilisation par les oiseaux notée lors des séries d'observation uniquement si on assume que la distribution observée le 3 juillet est la même tous les jours de la semaine et tout au cours de l'été. Si ce postulat est vrai, il devient possible de vérifier si la hauteur de l'herbe influe sur l'utilisation des terrains par le merle et si elle camoufle ou amplifie un effet du chlorpyrifos. Cependant, il est probable que la distribution varie un peu. Il faut donc être prudent lors de l'interprétation des résultats.

Superficie, strates végétales et importance de l'aménagement humain

Plusieurs paramètres peuvent influencer le choix d'un site comme aire d'alimentation. Il est généralement admis que la structure du paysage est un facteur important dans la sélection d'un site par une espèce avienne et en particulier chez les passereaux puisqu'elle fournit des sites de nidification, des postes de chant et des cachettes (Smith et Shugart 1987). En milieu urbain, les facteurs qui peuvent possiblement influencer la sélection d'un site sont: la superficie de la pelouse, la stratification végétale et l'intensité de l'aménagement paysager et humain.

Cent vingt-cinq (125) terrains avec absence de merle pendant les périodes d'observations et 125 terrains où la présence de merles n'avaient été observés qu'une seule fois ont été sélectionnés à l'aide d'un échantillonnage aléatoire simple. Les 153 terrains où avaient été observés la présence de merles deux fois ou plus ont tous été retenus. Sur l'avant de chacun des terrains, les trois variables suivantes décrivant la structure du paysage ont été mesurées.

Classes de superficie des pelouses avant, visible de la rue

1- moins de 50 m^2

2- entre 50 et 150 m^2

3- plus de 150 m^2

Classes de stratification végétale

1- sans structure verticale

2- présence d'arbre(s) et/ou d'arbuste(s) décoratifs de moins de 3 mètres de hauteur

3- présence d'arbres de plus de 3 mètres sans arbustes

4- présence de quelques arbres de plus de 3 mètres de hauteurs et d'arbustes

5- présence de plusieurs arbres de plus de 3 mètres de hauteur, d'arbustes, de haies, de fleurs, etc.

Classes d'aménagement paysager et humain

Élaboré: terrain contenant une rocaille importante avec de nombreuses fleurs et pierres, une très grande aire de stationnement, une allée importante;

Modéré: terrain contenant un aménagement paysager ordinaire, une aire de stationnement simple, une allée peu importante, etc.

Si un de ces paramètres est important dans le choix des sites d'alimentation par le Merle d'Amérique, il sera déterminé s'il peut camoufler ou amplifier un effet du chlorpyrifos.

3.4.3 Mesure de la productivité

La productivité d'un nid est définie comme étant le nombre de jeunes encore vivants au moment de l'envol. Elle a été mesurée sur les nids découverts dans les quartiers de Duvernay et de St-Vincent-de-Paul entre le 11 mai et le 23 juin 1988 lorsque les oisillons avaient

environ 11 jours (Morneau et al. 1990). Le nombre d'oisillons survivant le jour de l'envol est relié aux conditions de l'environnement et de la femelle mais aussi au nombre d'oeufs pondus. Or, ce nombre d'oeufs diminue à mesure que progresse la saison de nidification (Howard 1967, Welty 1975). En 1988, on a établi que les merles avaient produit deux nichées, la première comportant en moyenne près de 4 oeufs et la seconde 3 (Morneau et al. 1990). Les deux nichées ont donc été considérées séparément dans les analyses statistiques concernant la productivité. De plus, Morneau et al. (1990) suggéraient un effet probable du diazinon sur la productivité. Les nids traités au diazinon ont donc été éliminés.

3.5 Analyses statistiques

3.5.1 Utilisation des pelouses en fonction des traitements

L'abondance relative et la fréquence de présence ont été calculées pour les merles et étourneaux immatures, pour les adultes (femelles, mâles pour les merles) et pour le total de ces deux espèces sur tous les terrains où au moins une information sur les traitements (ou l'absence de traitement) était disponible.

Deux types d'analyses ont été réalisées afin d'utiliser au mieux la majorité des données. Des analyses inférentielles (khi carré et autres) comparent les fréquences de présence entre les 5 classes de traitement retenues à la section 3.3.1 (figure 2). Ces catégories ne permettent d'utiliser que les observations effectuées sur 526 des 2275 terrains (23%) que comporte le secteur. Des analyses factorielles de correspondance (AFC) ont été réalisées, dans un but exploratoire, pour montrer les différences pouvant exister entre les abondances relatives des différents traitements non regroupés en classe ou en année. Ce type d'analyse permet de visualiser les interrelations entre des variables qualitatives ou semi-quantitatives (Benzecri et coll. 1973, Legendre et Legendre 1984). Le tableau 2 compare les caractéristiques de chacune des ces analyses.

Tableau 2 Comparaison des caractéristiques particulières aux analyses inférentielles et exploratoires.

	Analyses inférentielles	Analyses exploratoires
Type d'analyse	Comparaison de fréquence	Analyse factorielle de correspondance
Objectifs	Comparer l'utilisation des pelouses entre les catégories de traitement contenant du chlorpyrifos et celles n'en contenant pas.	Montrer différentes utilisations des pelouses en fonction de chaque traitement (Fertilisants, Herbicides, Chlorpyrifos et témoin) pour chaque année.
Classes utilisées	Classes de traitement T-1 à T-5 (Tableau 2)	Traitements individuels pour chaque année
Variables utilisées	Fréquences de présence	Moyenne d'abondances relatives
Effectif	526 terrains (23 % des terrains du secteur)	1482 terrains (65 % des terrains du secteur)
Caractéristiques particulières	Seuls sont considérés les terrains ayant reçu des traitements homogènes pendant les quatre ans	Tous les terrains pour lesquels il existe au moins une information sur les produits appliqués sont considérés
	Probabilité associée aux résultats	Aucune probabilité associée à ces résultats L'analyse présente des tendances

Analyses exploratoires

Pour pouvoir observer des relations temporelles par l'analyse factorielle de correspondance, il a fallu transformer la matrice de données. Effectivement, le tableau de données d'origine contenait les traitements effectués chaque année (même si l'information était parfois incomplète), les fréquences de présence et les abondances relatives

des merles et étourneaux immatures et adultes (femelles et mâles pour le merle). Tous les traitements d'une même année étaient regroupés en une seule variable pour chacun des terrains. Par exemple:

TRAITEMENTS	ABONDANCES								CONSTANCES							
	Merles				Étourneaux			2 espèces	Merles				Étourneaux			2 espèces
1986 1987 1988 1989	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total
PREMIERE ADRESSE																
F FI FHI F	2	1	0	3	0	0	0	3	1	1	0	1	0	0	0	1
SECONDE ADRESSE																
FHI FH FH FH	0	0	0	0	3	3	6	6	0	0	0	0	1	1	2	2
.																
.																
.																

Pour séparer les divers traitements effectués par année, une nouvelle matrice de données a dû être construite. L'exemple précédent devient donc:

PREMIERE ADRESSE

	ABONDANCES								CONSTANCES							
	Merles				Étourneaux			2 espèces	Merles				Étourneaux			2 espèces
	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total
F86	2	1	0	3	0	0	0	3	1	1	0	1	0	0	0	1
H86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F87	2	1	0	3	0	0	0	3	1	1	0	1	0	0	0	1
H87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I87	2	1	0	3	0	0	0	3	1	1	0	1	0	0	0	1
R87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.																
.																
.																

SECONDE ADRESSE

	ABONDANCES								CONSTANCES							
	Merles				Étourneaux			2 espèces	Merles				Étourneaux			2 espèces
	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total
F86	0	0	0	0	3	3	6	6	0	0	0	0	1	1	2	2
H86	0	0	0	0	3	3	6	6	0	0	0	0	1	1	2	2
I86	0	0	0	0	3	3	6	6	0	0	0	0	1	1	2	2
R86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F87	0	0	0	0	3	3	6	6	0	0	0	0	1	1	2	2
H87	0	0	0	0	3	3	6	6	0	0	0	0	1	1	2	2
I87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

.
.
.

La moyenne des abondances relatives et la moyenne des fréquences de présence ont ensuite été calculées pour chaque traitement et par année. Les variables de cette nouvelle matrice devenaient donc les moyennes de fréquences de présence et d'abondances relatives sur les terrains (16 variables). Les éléments devenaient les traitements (fertilisants, herbicides, chlorpyrifos, aucun traitement) effectués chaque année (14 lignes):

	ABONDANCES								CONSTANCES							
	Merles				Étourneaux			2 espèces	Merles				Étourneaux			2 espèces
	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total	Imm.	Mâle	Fem.	Tot.	Imm.	Ad.	Tot.	Total
F86	0,0059	0,0084	0,0085	0,0248	0,0023	...										
H86	0,0058	0,0083	0,0078	0,0241	0,0023	...										

.
.
.

Un terrain peut avoir été traité avec des herbicides et des fertilisants une année donnée rendant ainsi ces lignes d'entrées dépendantes les unes des autres. L'analyse factorielle de correspondance demeure quand même adéquate puisqu'elle n'est utilisée que pour refléter l'organisation des données les unes par rapport aux autres. Si les données ne sont pas indépendantes, l'analyse montrera

la relation qui les unit tout en faisant ressortir d'autres relations difficiles à détecter par la simple observation du tableau de données (Benzecri et coll. 1973).

Analyses inférentielles

Pour vérifier si le Merle d'Amérique ou l'Étourneau sansonnet ont utilisé les terrains traités dans des proportions différentes des non-traités, une analyse du khi carré a été effectuée sur les fréquences de présence de merles et d'étourneaux dans chaque catégorie de traitement. Lorsque des différences étaient mises à jour, un test de contraste permettait de connaître quelle catégorie était préférée ou rejetée.

Les proportions de terrains dans chaque catégorie de traitement sont différentes. Il se peut que l'une ou l'autre ou les deux espèces ait utilisé certaines catégories de terrains, traités ou non, dans des proportions différentes ou semblables à cause de cette différence de disponibilité. Ainsi, la proportion de disponibilité a été calculée pour chaque catégorie de traitement et a été comparée aux proportions d'utilisation par les merles (test de conformité). Si des différences apparaissaient, un test z de Bonferroni (Neu et al. 1974) était utilisé pour connaître quelle catégorie était préférée ou moins utilisée.

3.5.2 Caractéristiques des sites d'alimentation

Hauteur de l'herbe

Pour vérifier si le Merle d'Amérique préfère certaines hauteurs d'herbe, un test de conformité a été réalisé comparant les proportions de disponibilité dans chaque catégorie de hauteur d'herbe le 3 juillet à leur proportion d'utilisation par le Merle d'Amérique. Lorsque les résultats de ce test présentaient des différences significatives entre les proportions observées et théoriques, la proportion qui était préférée était déterminée à l'aide d'un test z de Bonferroni.

Dans un deuxième temps, si une préférence pour une classe de hauteur d'herbe était observée, elle était analysée de façon à vérifier si elle pouvait masquer une plus forte ou une plus faible utilisation des terrains traités. Un test G, suivi d'un test de contraste pour déterminer quelle classe est plus ou moins utilisée que les autres a été effectué pour vérifier cette hypothèse.

Le nombre de présence de merles de tout âge sur les terrains à herbe courte, moyenne, longue et fraiche coupée a été utilisée pour cette analyse.

Superficie, stratification végétale, importance de l'aménagement humain

Analyses exploratoires

La première étape vise à établir de façon descriptive la relation entre la superficie des pelouses, la stratification végétale, l'intensité d'aménagement et l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet. Les variables sont qualitatives (stratification végétale, intensité d'aménagement) ou semi-quantitatives (superficie des pelouses, abondance relative et fréquence de présence). L'analyse factorielle de correspondance (AFC) a donc été utilisée pour permettre de visualiser les interrelations entre ces variables.

Analyses inférentielles

Pour vérifier si le Merle d'Amérique a préféré certains types d'aménagements, une analyse du khi carré a été effectuée, suivie d'un test de contraste lorsque les résultats de ce test présentaient des différences significatives entre les proportions observées et théoriques. Pour effectuer ces analyses, seule la fréquence de présences de merles de tout âge a été utilisé puisque c'est à partir de ces données qu'avaient été choisis les terrains sur lesquels avaient été mesurées les variables d'aménagements (voir section 3.4.2). Dans le cas où des différences étaient observées, les mêmes analyses étaient utilisées pour vérifier si ces types d'aménagement pouvaient masquer ou amplifier un effet de l'un ou l'autre des traitements.

3.5.3 Effet des traitements sur la productivité du Merle d'Amérique

Pour chaque nid, la proportion de terrains par catégorie de traitement a été calculée.

Analyses exploratoires

Une analyse factorielle de correspondance a été réalisée dans le but d'établir les relations, de façon exploratoire, entre cette intensité de traitement et la productivité.

Analyses inférentielles

La mesure du coefficient de rang de Kendall (tau de Kendall) calculant la corrélation existant entre des variables semi-quantitatives a aussi été effectuée pour quantifier la relation entre la productivité, la couvée et l'intensité de traitements effectués autour des nids (Scherrer 1984). La moyenne du pourcentage du nombre de terrains traités au chlorpyrifos a aussi été comparée entre les faibles productivités (0, 1 et 2) et les fortes (3 et 4) par un test de Wilcoxon-Mann-Whitney (Scherrer 1984).

4.0 RÉSULTATS

4.1 Utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet

En ne tenant compte que des oiseaux observés le long du trajet selon le dispositif de mesure, la présence du Merle d'Amérique a été notée à 806 reprises sur 399 terrains différents parmi les 2275 pelouses du secteur au cours de la série d'observations effectuées du 4 juillet au 11 août 1989. La présence du Merle d'Amérique a été observée 184 fois sur 142 des 526 terrains classés dans les catégories T-1 à T-5 (tableau 3).

La présence de l'Étourneau sansonnet a été observée 54 fois sur 43 de ces 526 terrains et la présence de l'une ou l'autre des deux espèces 234 fois sur 168 des 526 terrains (tableau 3). Tout au long de la campagne de terrain, les observateurs ont aussi noté la présence du Merle d'Amérique sur tous les terrains y compris ceux devant lesquels ils avaient déjà circulés ou sur les terrains situés de l'autre côté de la rue. Ainsi, le nombre de présences de merles a été augmenté de 142 à 197 sur 526 terrains entrant dans l'une ou l'autre des catégories T-1 à T-5.

Le nombre de merles observés sur les pelouses du secteur d'étude a été moins élevé que prévu. Plusieurs facteurs peuvent avoir influencé ce faible effectif, la plupart étant reliés à la période d'observation choisie. Lors de l'étude réalisée aux mois de mai et juin 1988 par Morneau et al. (1990), un grand nombre de nids de merles avaient été découverts dans ce secteur étudié pendant la période de nidification (Morneau et al. 1990). Les merles étaient abondants sur les pelouses et de nombreux mâles chantaient pour défendre leur territoire. Il a été supposé, à tort, qu'un aussi grand nombre de merles seraient vus sur les pelouses en juillet, voire même plus élevé à cause de la présence des jeunes de l'année.

Tableau 3 Nombre de terrains avec au moins une présence de Merle d'Amérique ou d'Étourneau sansonnet sur 17 visites dans le quartier de Duvernay, à l'été 1989, en fonction des types de traitements effectués[1]

Espèce	T_1[2]	T_2	T_3	T_4	T_5	Total
Merle Juv.	11 (15)	13 (20)	6 (10)	4 (4)	5 (8)	39 (57)
Merle	17 (27)	23 (37)	11 (13)	4 (4)	6 (12)	61 (93)
Merle	11 (15)	29 (39)	6 (13)	8 (8)	8 (13)	62 (88)
Merle tot.	35 (45)	56 (83)	22 (32)	11 (11)	18 (26)	142 (197)
Étour. tot.	9	14	10	1	9	43
Ois. total	42 (45)	63 (83)	29 (32)	11 (11)	23 (26)	168 (197)

1. Les chiffres entre parenthèses représentent la sommation des merles comptés le long du trajet selon le dispositif de mesure et sans tenir compte de ce dispositif. Les étourneaux n'ayant pas fait l'objet d'un tel comptage, aucun chiffre n'apparait entre parenthèses pour les étourneaux totaux et pour les oiseaux totaux.
2. T_1- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987 et en 1988.
   T_2- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987.
   T_3- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989.
   T_4- Fertilisants de 1986 à 1989.
   T_5- Aucun traitement de 1986 à 1989 (témoin).

De plus, cette période de l'année correspond à une moins grande activité des vers de terre due à la diminution de nourriture décomposable et de l'humidité du sol (Gérard 1967, Lee 1985, Garceau et al. 1988). En effet, au cours de la série d'observations, on n'a enregistré que 8,4 cm de pluie à la station météorologique de Dorval dont 60 % est tombé après le 4 août (Environnement Canada 1989). Par ailleurs, c'est à cette période de l'été que des modifications du régime alimentaire du Merle d'Amérique commencent. Il consomme moins d'invertébrés et plus de fruits (Jonhson 1969, Wheelwright 1986). Les merles pourraient donc avoir été observés moins souvent sur les pelouses que dans les arbres fruitiers à cette période de l'année. En effet, au cours des observations, des merles ont été observés à une trentaine de reprises dans les arbres fuitiers (cerisiers et pommiers ornementaux). De plus, dans le Nord-est de l'Amérique du Nord, les fruits semblent composer une plus grande proportion du régime alimentaire des merles immatures que des merles adultes de juin à septembre (Wheelwright 1986). Ainsi les immatures espérés se sont probablement déplacés vers des sites d'alimentation plus propices (Johnson 1969).

4.2 Effet des traitements sur l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet

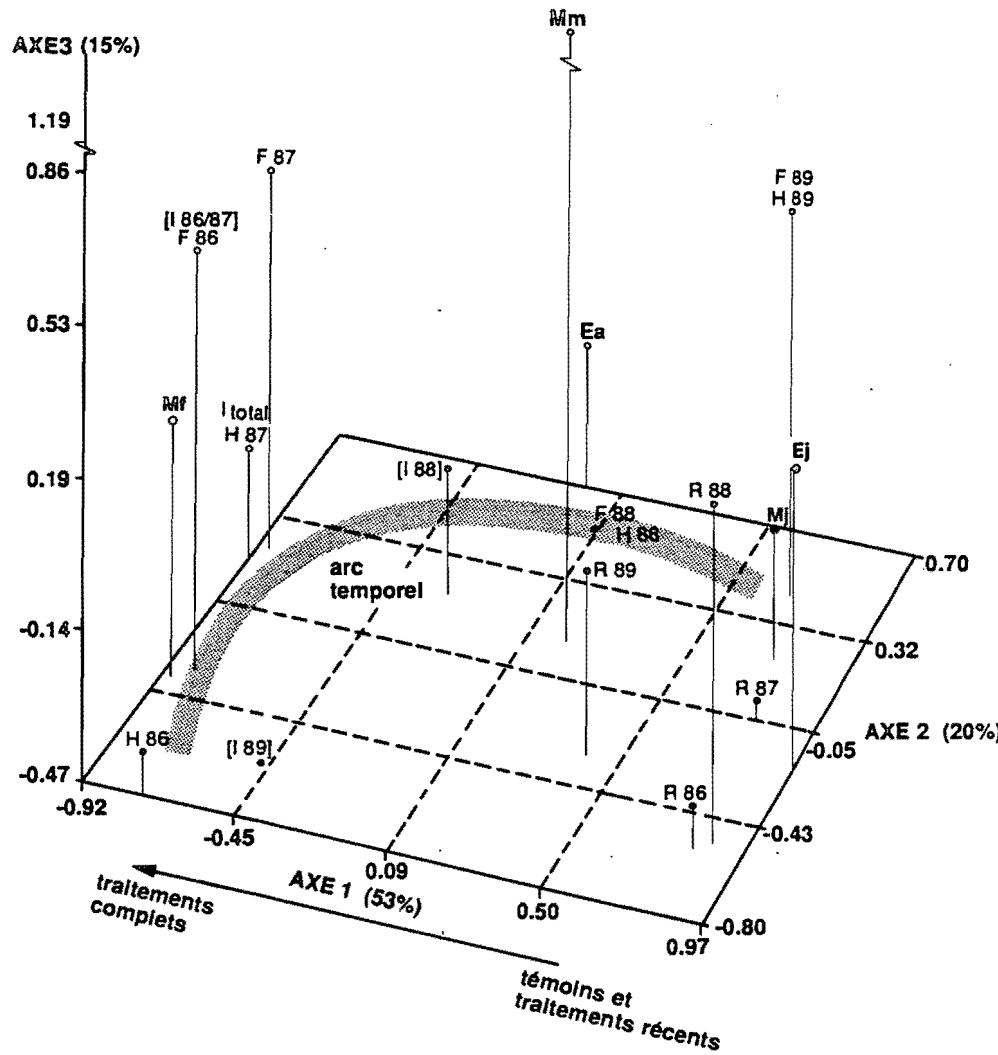
Aucun épandage au chlorpyrifos n'a été effectué avant la campagne de terrain et, il y en a eu fort peu pendant la campagne elle-même (une dizaine seulement). Les effets immédiats et directs (objectif 1) du chlorpyrifos n'ont donc pas pu être vérifiés. Seuls les effets de l'usage répété du chlorpyrifos au cours des étés précédents ont pu être étudiés (objectif 2).

Analyses exploratoires

L'analyse représentée dans ce rapport regroupe les données d'application de chlorpyrifos de 1986 à 1988 de façon à donner plus de poids à ce type de traitement (figure 5). Les applications de chlorpyrifos réalisées en 1986-1987 et 1988 ont quand même été représentées dans la figure en tant que variables supplémentaires mais n'ont pas contribué à l'analyse. L'application de chlorpyrifos effectuée en 1989 a aussi été représentée mais on ne peut interpréter sa position étant donné le faible effectif (10) ayant servi à calculer la moyenne des abondances relatives.

Les abondances relatives ont été recodées en variables binaires de façon à les classer en un tableau logique où n'apparaissent que des 0 et des 1. Le 0 représente les faibles abondances et le 1, les fortes abondances. Chaque intervalle de classe a été déterminé à l'aide de diagramme de fréquences de façon à donner un poids relativement égal à chaque classe (effectif semblable).

Cette analyse (figure 5) a permis de visualiser certaines tendances. L'annexe 1 présente les contributions de chaque paramètre à la construction de chacun des axes. Les deux premiers axes factoriels expliquent à eux seuls 73% de la variabilité du nuage de points. Ce plan est donc une très bonne représentation de l'arrangement des données. Il a permis de dégager la structure temporelle des traitements en les séparant par année, les faisant se succéder sur un arc de cercle sur les axes 1 et 2. La représentation factorielle indique que le fertilisant utilisé une année est souvent appliqué en même temps qu'un herbicide puisque ces deux éléments sont toujours situés très près l'un de l'autre. Ces traitements sont aussi liés, bien qu'avec moins d'intensité, aux applications de chlorpyrifos de la même année reflétant le fait que chaque pesticide appliqué est rarement utilisé seul. Par ailleurs, cette représentation montre que les traitements effectués une année sont aussi liés aux traitements effectués l'année précédente et l'année suivante: les clients retiennent généralement les services d'une compagnie pour au moins 2 années consécutives. Il existerait donc plus de clients de 1986 encore clients en 1987 que de clients de 1986 encore clients en 1989.



LÉGENDE

Mj	Merles juvéniles
Mf	Merles femelles
Mm	Merles mâles
Ej	Étourneaux juvéniles
Ea	Étourneaux adultes
[ ]	Variables projetées en supplémentaire

F 86

- Année de traitement
- Traitement
  - F Fertilisant
  - H Herbicide
  - I Chlorpyrifos
  - R Aucun traitement

I_{total} Total de 1986 à 1988

Figure 5 - Analyse factorielle de correspondance illustrant la relation entre les abondances relatives les plus élevées de Merle d'Amérique et d'Étourneau sansonnet mesurées durant l'été 1989, et les traitements effectués de 1986 à 1989 sur les pelouses à Duvernay (Laval)

L'analyse suggère aussi que les merles et les étourneaux immatures auraient été observés plus fréquemment que les adultes sur des pelouses qui n'ont jamais reçu de traitements aux fertilisants ou aux herbicides ou ne les ayant reçu que récemment (1989). Les merles femelles adultes auraient été observées plus souvent sur les terrains ayant été traités aux fertilisants et aux herbicides en 1986 et 1987 et probablement au chlorpyrifos puisque ces années-là, les insecticides étaient épandus plus librement. Le paramètre insecticide total situe sur le graphique la position du chlorpyrifos appliqué l'une ou l'autre des années. Ce paramètre ainsi que les paramètres insecticide (chlorpyrifos) appliqué en 1987 et insecticide (chlorpyrifos) en 1988 (variables en supplémentaires[1]) sont situés relativement près de la forte abondance de femelles suggérant une relation positive. Les adultes étourneaux ont été observés plus souvent sur les pelouses traitées en 1988. Les mâles adultes de Merle d'Amérique n'auraient montré de préférence pour aucun traitement puisqu'ils sont situés au centre du graphique et n'ont contribué à la formation d'aucun de ces deux axes.

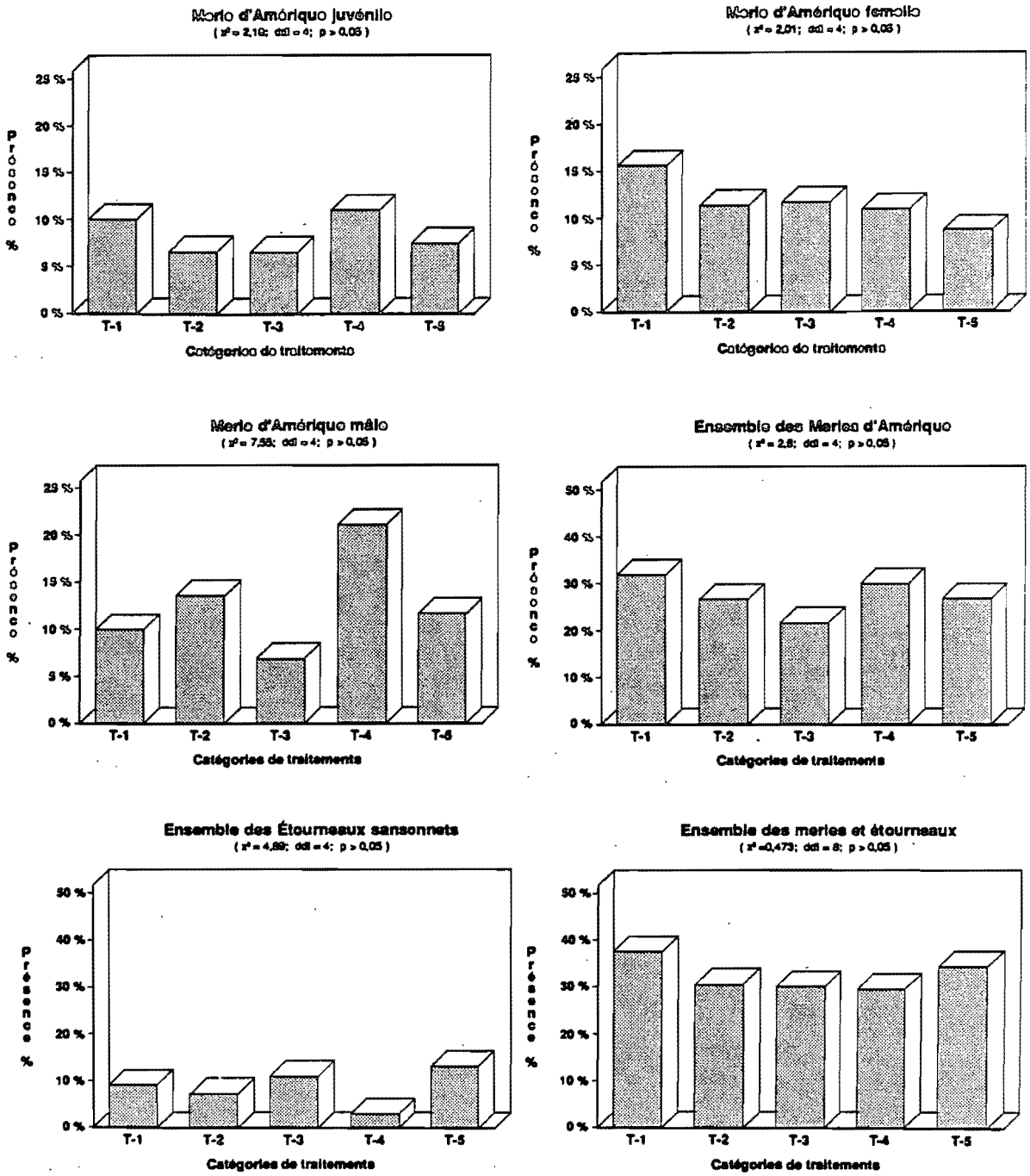
Ces tendances ne peuvent être testées par des analyses inférentielles car il s'avère impossible de créer une catégorie de traitement à partir des données existantes. En effet, le peu de terrains n'ayant reçu des fertilisants et herbicides qu'en 1986 ou 1987 ne permettent pas de constituer un effectif suffisant. Par ailleurs, le processus même de l'AFC (le recodage des données en deux classes d'effectif semblable) tend à maximiser la variation des phénomènes.

Analyses inférentielles

Le khi carré comparant la proportion de présence d'oiseaux entre chaque catégorie de traitement n'a permis de déceler aucune catégorie de traitement ayant été clairement préférée ou rejetée par les merles immatures ou adultes ou par les étourneaux que ce soit en tenant compte du dispositif de mesure ou non. Les proportions de présence d'oiseaux comptés selon le dispositif de mesure sont d'ailleurs presqu'égales entre les différentes catégories (figure 6) sauf pour le Merle d'Amérique mâle qui semble avoir une tendance (non-significative) à préférer la classe de traitement T-4 (terrains traités aux fertilisants seulement).

---

[1]. Seul le paramètre insecticide total a contribué à la formation des axes. La position des paramètres insecticide 1987 et insecticide 1988 a été calculée et projetée sur la représentation graphique par rapport aux autres paramètres mais la position des autres paramètres n'a pas été calculée à partir de ces deux paramètres.



LÉGENDE

T-1 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987 et en 1988. n = 112

T-2 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987. n = 209

T-3 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989. n = 99

T-4 Fertilisants de 1986 à 1989. n = 38

T-5 Aucun traitement de 1986 à 1989 (témoin). n = 68

Figure 6 - Proportion des terrains avec au moins une présence établie après 17 visites durant l'été 1989 pour les espèces à l'étude et selon le sexe ou l'âge en fonction des traitements effectués de 1986 à 1989 à Duvernay (Laval)

Les proportions de terrains dans chaque catégorie de traitement sont différentes. Il se peut que l'une ou l'autre ou les deux espèces ait utilisé certaines catégories de terrains, traités ou non, dans des proportions différentes ou semblables à cause de cette différence de disponibilité. C'est dans le but de vérifier si les merles ont utilisé les pelouses de chacune des catégories de traitement dans des proportions différentes de celles dans lesquelles elles étaient disponibles qu'un test de conformité a été appliqué (Scherrer 1984). Aucune des tendances présentées n'est cependant significative (figure 7).

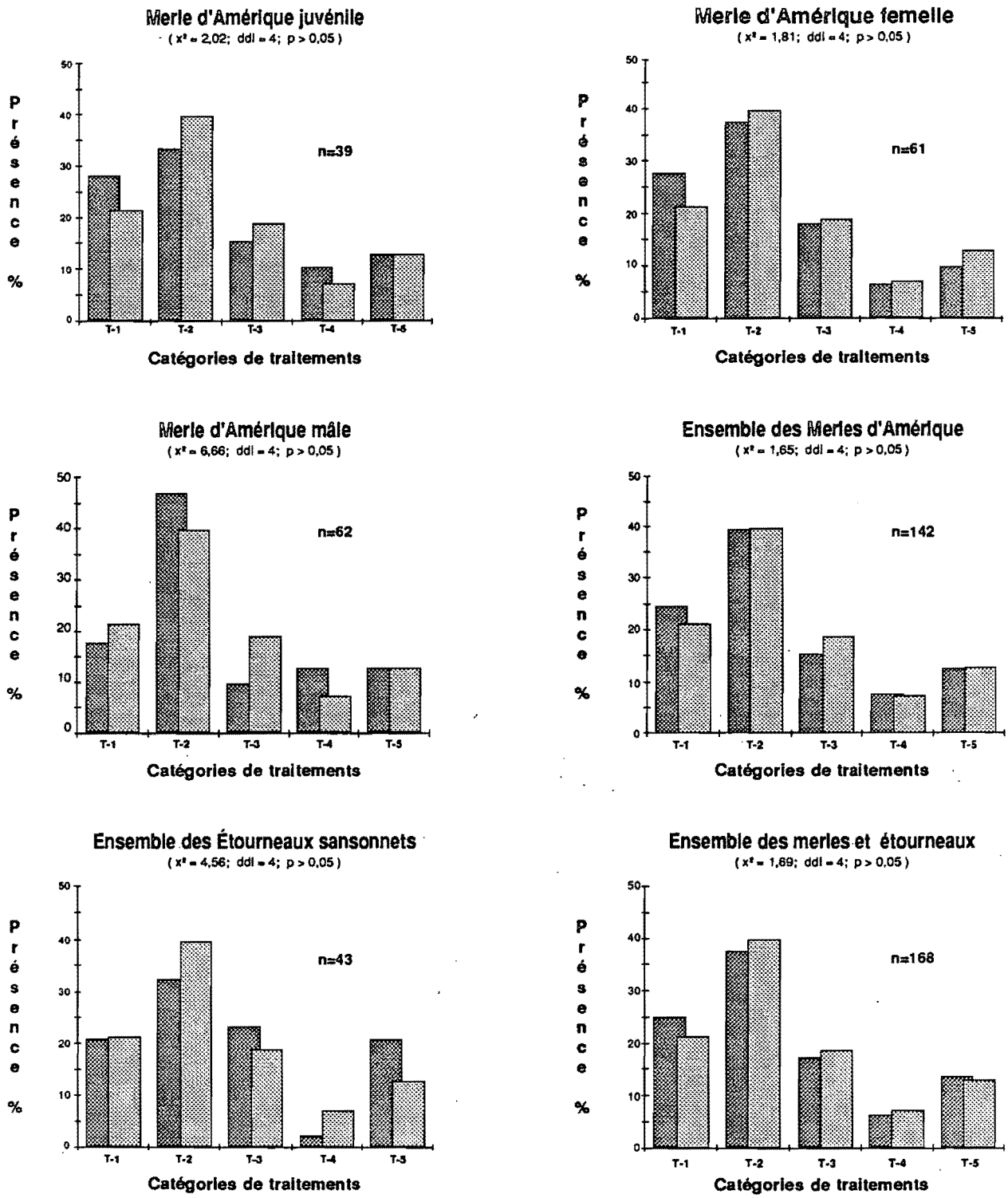
Il faut toutefois noter que le regroupement des terrains selon 5 grandes catégories de traitements ne nous permet pas d'analyser séparément les relations entre chacune des applications et l'utilisation différentielle des terrains par chacun des groupes d'oiseaux.

4.3 Caractéristiques des sites d'alimentation

4.3.1 Hauteur de l'herbe

Afin de connaître les proportions disponibles dans chaque classe de hauteur d'herbe dans le secteur, ce paramètre a été noté le 3 juillet, systématiquement, à tous les quatre terrains (567 au total). Ces proportions ne représentent donc que la condition qui prévaut un jour donné au cours de l'étude sur le terrain. Lors des tournées d'observation, ce paramètre a aussi été noté à chaque fois qu'un merle était observé sur un terrain permettant ainsi de comparer l'utilisation des différentes hauteurs d'herbe à leur disponibilité (i.e. celle du 3 juillet que nous supposons représentative de la situation qui a prévalu tout au long de l'étude sur le terrain) (figure 8). Les tournées d'observations ayant été effectuées tous les jours de la semaine plutôt que seulement un lundi comme cela avait été le cas le 3 juillet, la comparaison ne saura montrer que des tendances.

Les merles ont utilisé les pelouses dans des proportions différentes de celles dans lesquelles elles étaient disponibles (tableau 4). En fait, ils ont été observés sur des pelouses à herbe courte dans une proportion significativement supérieure à celle dans laquelle elle était disponible (test z de Bonferroni, $\alpha = 0,05$). Ils ont été vus sur des pelouses à herbe moyenne ou longue dans des proportions significativement inférieures à ce qui était attendu ($\alpha = 0,05$). Enfin, ils ont été observés sur les pelouses fraiches coupées selon leur disponibilité ($\alpha > 0,05$).



LÉGENDE

T-1 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987 et en 1988

T-2 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987

T-3 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989

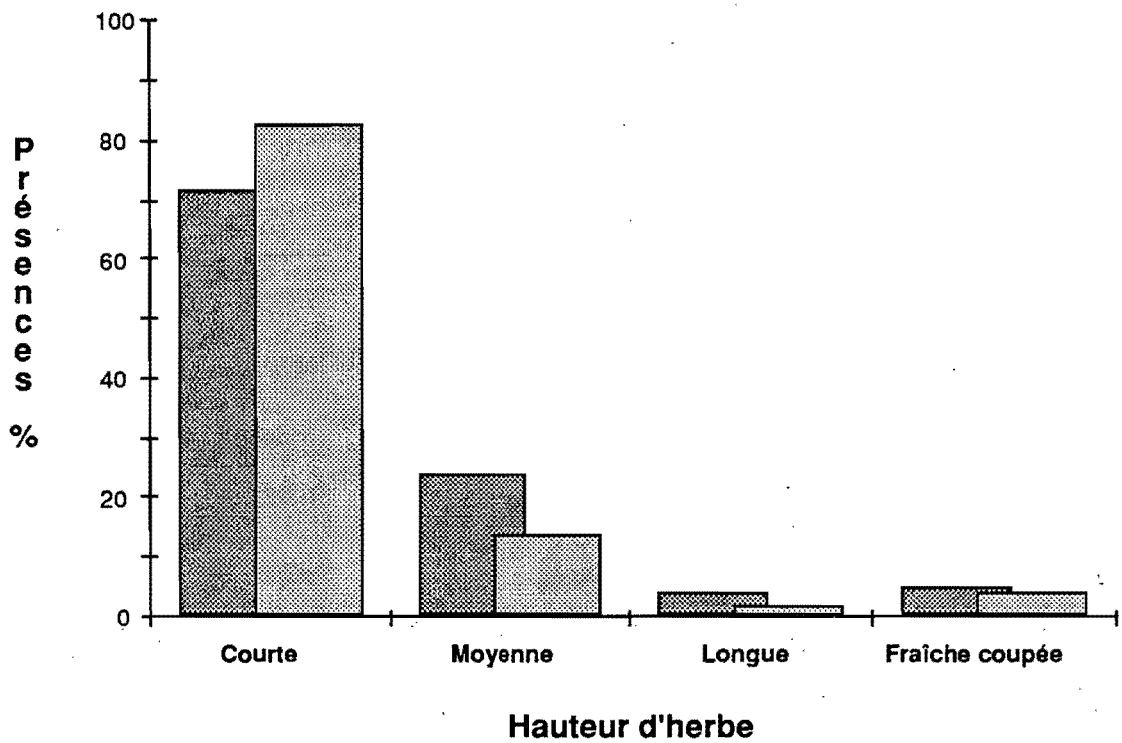
T-4 Fertilisants de 1986 à 1989

T-5 Aucun traitement de 1986 à 1989 (témoin)

Proportions observées

Proportions disponibles

Figure 7 - Pourcentage de présence de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets en fonction de la disponibilité des terrains par classe de traitements



LÉGENDE

Disponibilité des classes de longueur d'herbe n=567

Présence de merles n=804

Figure 8 - Distribution des présences de Merle d'Amérique en fonction des classes de longueur d'herbe et disponibilité de celles-ci, le 3 juillet 1989

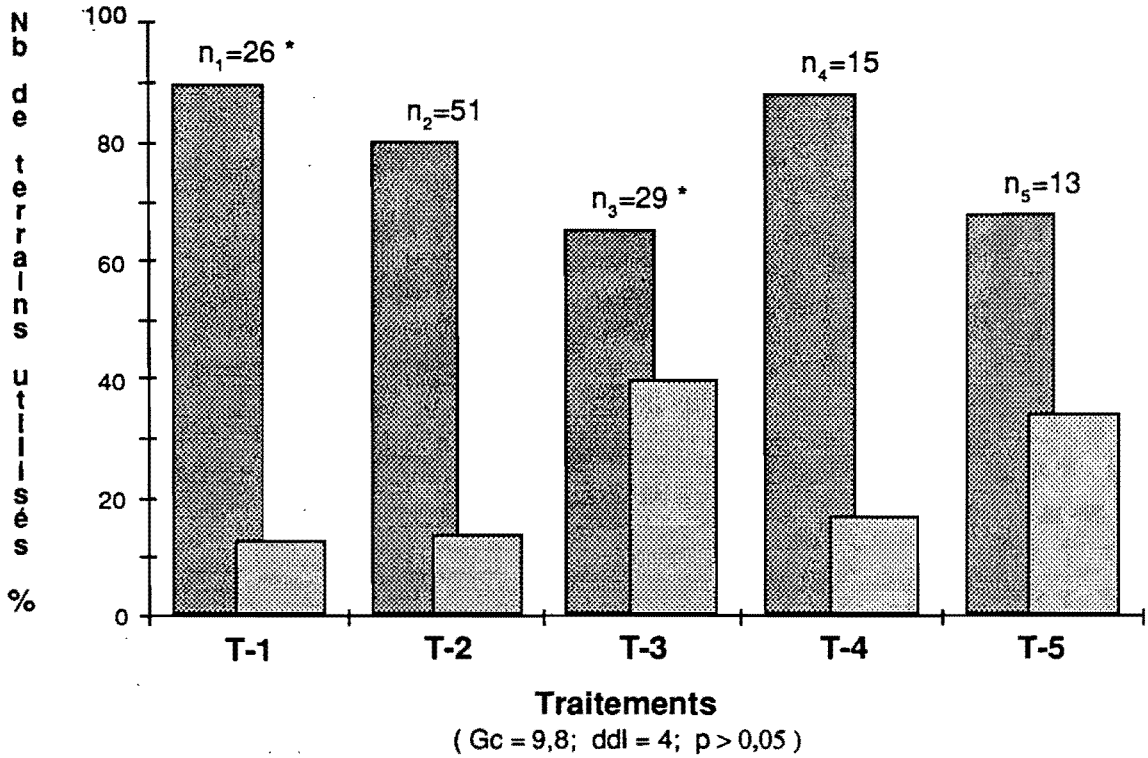
Tableau 4 Utilisation des pelouses par l'ensemble des merles en fonction de la disponibilité de chacune des classes de hauteur de pelouse (X^2 = 51,77; ddl = 3; p < 0,01)

Hauteurs	Fréquences observées	Proportions observées (%)	Fréquences théoriques	Proportions théoriques (%)	Intervalles de confiance de la proportion observée[1] (p = 0,05)
Courtes	660	82,1	568,4	70,7	0,7872 ≤ p ≤ 0,8548
Moyennes	118	14,7	194,6	24,2	0,1158 ≤ p ≤ 0,1782
Longues	8	1,0	18,5	2,3	0,0012 ≤ p ≤ 0,0188
Fraiche coupée	18	2,2	22,5	2,8	0,0091 ≤ p ≤ 0,0349
Total	804	100	804	100	

1. Ces intervalles sont comparés aux proportions théoriques. Si les proportions théoriques sont incluses dans l'intervalle, la classe n'est ni préférée ni rejetée.

Pour vérifier si les hauteurs d'herbe se distribuent de façon homogène parmi les catégories de traitements effectués sur les pelouses, seules les catégories courtes et moyennes ont été conservées, les autres ayant des effectifs trop faibles. Les pelouses courtes et moyennes ne se distribuent pas uniformément parmi les diverses catégories de traitements effectués (figure 9). En fait, la proportion de pelouses courtes de la catégorie 1 est significativement supérieure à celle de la catégorie 3 par rapport à la proportion de pelouse de hauteur moyenne.

Les merles utiliseraient donc plus souvent les pelouses dont l'herbe est courte que les pelouses dont l'herbe est moyenne ou longue. Comme l'herbe des pelouses de la catégorie T-1 était généralement plus courte et celle de la catégorie T-3 moyenne, celà pourrait expliquer (en partie du moins) pourquoi les merles n'ont pas semblé préférer ou éviter aucune des catégories. Aussi, afin de vérifier si la hauteur de l'herbe aurait pu masquer ou amplifier un effet du chlorpyrifos, seules les observations effectuées sur des pelouses à herbe courte ont été conservées. Un nouveau test de conformité a permis de comparer l'utilisation de ces pelouses par catégorie de traitement à la proportion de terrains à herbe courte disponibles dans chacune des catégories de traitements (figure 10). Encore une fois, les merles ne semblent pas choisir ou éviter les pelouses d'une catégorie de traitement en particulier.



* Les pelouses à herbe courte et moyenne des traitements **T-1** et **T-3** ont été utilisées dans des proportions significativement différentes.

LÉGENDE

T-1 Fertilisant, herbicide de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987 et en 1988.

T-2 Fertilisant, herbicide de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987.

T-3 Fertilisant, herbicide de 1986 à 1989.

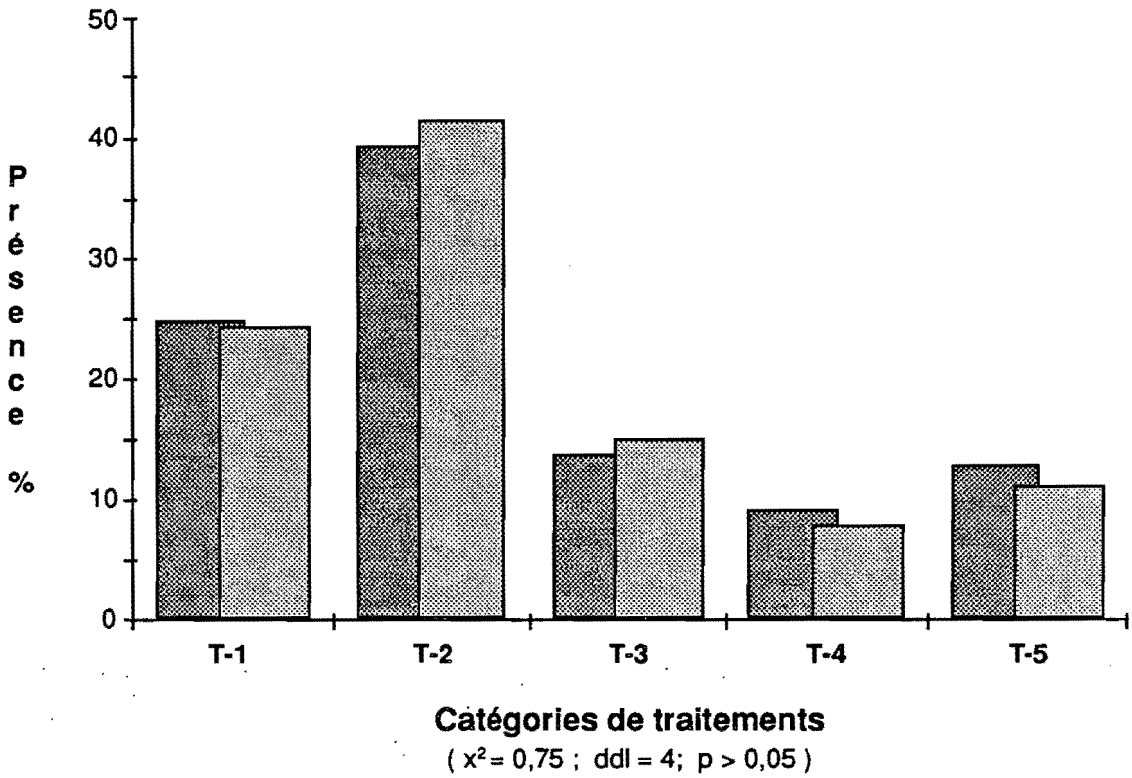
T-4 Fertilisant de 1986 à 1989.

T-5 Aucun traitement de 1986 à 1989 (témoin).

Herbe courte

Herbe de longueur moyenne

Figure 9 - Proportion d'utilisation des pelouses à herbe courte et moyenne par le Merle d'Amérique durant l'été 1989 en fonction des traitements effectués sur celles-ci de 1986 à 1989 à Duvernay (Laval).



LÉGENDE

T-1 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987 et en 1988.

T-2 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987.

T-3 Fertilisants, herbicides de 1986 à 1989.

T-4 Fertilisants de 1986 à 1989.

T-5 Aucun traitement de 1986 à 1989 (témoin).

Proportions observées.

Proportions disponibles.

Figure 10 - Pourcentage de présence de Merles d'Amérique en fonction de la disponibilité des pelouses à herbe courte par classe de traitements

4.3.2 Superficie, stratification végétale, importance de l'aménagement humain

La superficie des pelouses, la stratification végétale et l'importance de l'aménagement paysager et humain ont été mesurées sur les terrains situés à l'avant de 396 maisons (tableau 5). Quarante-quatre pour cent (44 %) des terrains ont une superficie inférieure à 50 m², 49 % ont une superficie comprise entre 50 et 150 m², les 7 % restant ayant une superficie supérieure à 150 m². On trouve plusieurs arbres et des arbustes sur 61 % des terrains, tandis que 32 % n'ont que quelques arbres ou quelques arbustes. La plupart des terrains ont un aménagement paysager et humain modéré (88 %), les autres ayant une aire de stationnement double, une rocaille élaborée et une grande allée.

Une AFC a été effectuée en regroupant d'abord les variables en 2 classes puisqu'ainsi elle révélait mieux la structure des données. Pour les fréquences de présence, la valeur 0 représentait l'absence d'oiseaux et la valeur 1, la présence. Les intervalles de classes ont été choisis de façon à maximiser le profil conditionnel.

Les variables d'aménagement étant déjà regroupées en classes, la valeur 0 représentait les plus faibles classes de chaque variable et la valeur 1 les plus fortes. La matrice de données n'a pas subi d'autres transformations puisqu'elle représentait 396 terrains pour lesquels avait été mesurées chacune des variables d'aménagement, la fréquence de présence et l'abondance relative des espèces d'oiseaux à l'étude.

L'examen des contributions attribuées aux variables pour les cinq premiers axes, montre que les variables d'abondances relatives de merles et d'étourneaux expliquent en général mieux l'inertie du nuage de points que les variables d'aménagement (annexe 2). Cependant, on peut quand même faire ressortir quelques relations en choisissant la représentation graphique des axes 2, 3 et 4 (figure 11). Cette représentation est celle qui explique le mieux la relation existant entre ces abondances et les variables d'aménagement paysager (39 % de l'inertie du nuage de points).

L'axe 2 sépare les fortes abondances de merles et d'étourneaux. L'axe 3 relie les variables d'aménagement paysager. Ces deux axes étant orthogonaux, il apparait que les abondances relatives de merles mâles et immatures et les abondances relatives d'étourneaux immatures et adultes (presque parallèles à l'axe 2) sont peu reliées à la superficie des pelouses (parallèle à l'axe 3), ces variables étant aussi disposées de façon à former un angle droit entre elles.

En général, les merles mâles et les immatures de merles et d'étourneaux auraient été aperçus sur les terrains les plus stratifiés. Cependant, les merles femelles auraient évité ces pelouses. Les étourneaux adultes et immatures auraient été aperçus moins souvent sur les grandes pelouses ainsi que sur les terrains à aménagement humain modéré.

Tableau 5 Utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique en fonction de l'aménagement paysager et humain

Nombre de présences	Superficie de la pelouse			Structure végétale[1]					Aménagement paysager[2]	
	- 50 m²	50 à 150 m²	+ 150 m²	1	2	3	4	5	ordinaire	élaboré
0	65	56	6	4	17	27	74	5	110	17
1	54	62	6	4	20	24	69	5	107	15
2	48	64	8	0	19	18	75	8	107	13
3	5	8	6	1	1	1	16	0	17	2
4	1	4	3	0	0	1	7	0	8	0
Total	173	194	29	9	57	71	241	18	349	47

(X^2 = 32,81; ddl = 6; α < 0,01) (X^2 = 4,69; ddl = 6; α > 0,05) (X^2 = 0,91; ddl = 3; α > 0,05)

1. **Structure végétale**

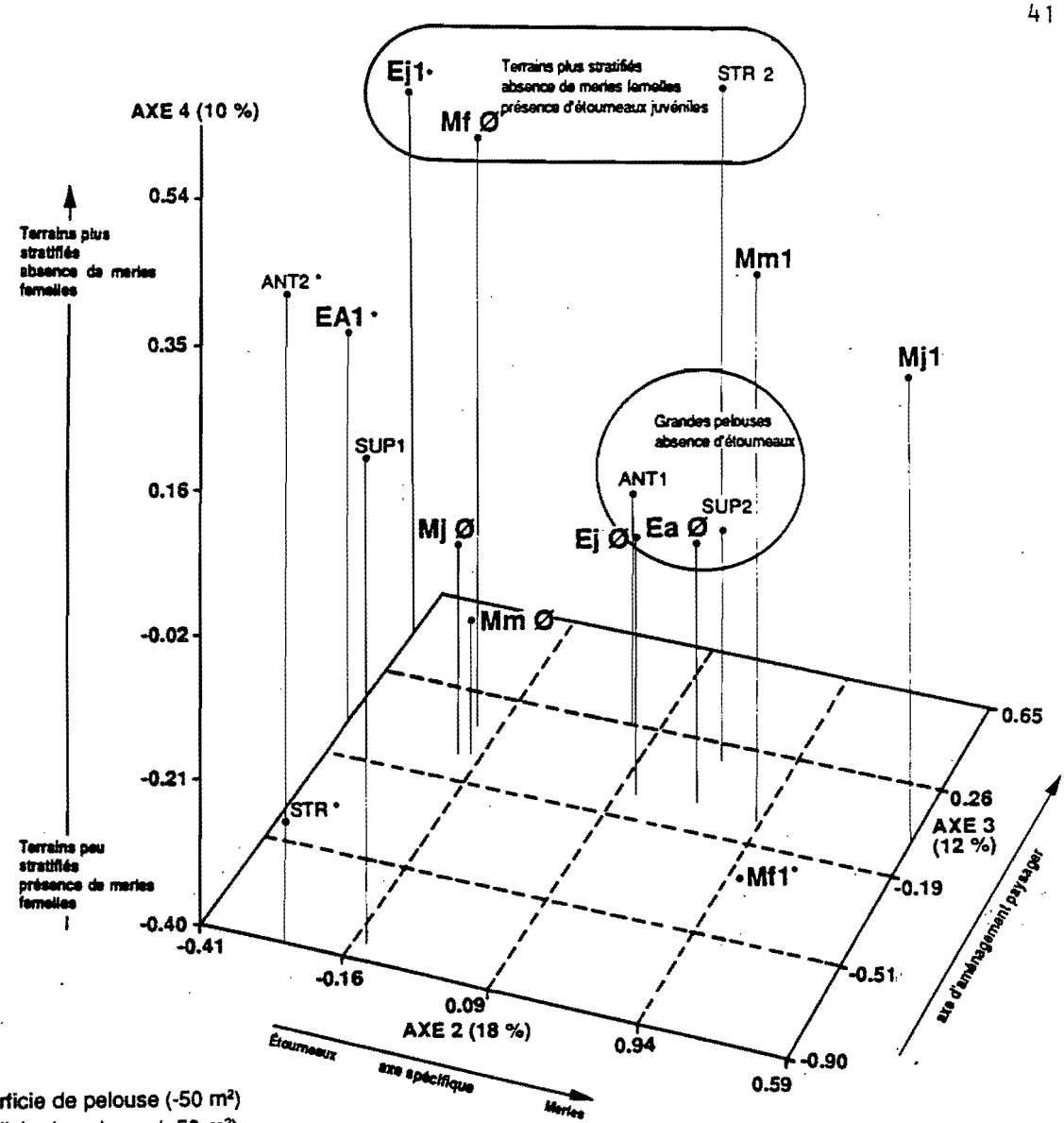
1- sans structure verticale
2- présence d'arbre(s) et/ou d'arbuste(s) décoratifs de moins de 3 mètres de hauteur
3- présence d'arbres de plus de 3 mètres sans arbustes
4- présence de quelques arbres et arbustes
5- présence de beaucoup d'arbres et arbustes, de haie, de fleurs, etc

2. **Aménagement paysager et humain**

Élaboré: terrain contenant une rocaille importante avec de nombreuses fleurs et pierres, une très grande aire de stationnement, une allée inportante;

Modéré: terrain contenant un aménagement paysager ordinaire, une aire de stationnement simple, une allée peu importante, etc.

La seule variable qui semble reliée à l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique de façon significativement différente de ce à quoi on pourrait s'attendre est la superficie de ces dernières (tableau 5). Un test de contraste (Scherrer 1984) a montré que les terrains plus grands que 150 m² sont significativement préférés par les merles ($p < 0,05$). L'AFC ne peut montrer cette différence, la classe de superficie + 150 m² ayant été regroupée à celle de 50 à 150 m² pour donner un poids semblable à chaque classe. Il est possible que les merles préfèrent les grandes pelouses mais il est aussi possible que le simple fait qu'il y ait une plus grande surface disponible fasse simplement augmenter les chances de contacter un merle sur les terrains en question.



LÉGENDE

SUP1 Faible superficie de pelouse (-50 m²)
SUP2 Forte superficie de pelouse (+50 m²)

STR1 Stratification végétale faible
STR2 Stratification végétale élevée

ANT1 Aménagement humain modéré
ANT2 Aménagement humain important

M j Ø

M	Merle d'Amérique	**E**	Étourneau sansonnet
Ø	Absence	**1**	Présence
j	Juvénile	**f**	Femelle
m	Mâle	**a**	Adulte

* Les coordonnées de ces variables ont été rapprochées vers les autres car elles étaient très éloignées sur l'un ou l'autre des axes.

Figure 11 - Analyse factorielle de correspondance illustrant la relation entre la présence de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets durant l'été 1989 en fonction de l'aménagement paysager à Duvernay (Laval)

En divisant l'indice de présence de merles (nombre de présence de merles/nombre de terrains dans la classe de superficie) par l'indice de la classe de superficie on peut connaître la densité relative de merles par terrain en annulant l'effet de la superficie. Ce calcul fait apparaître que les grandes pelouses seraient plus utilisées uniquement parce qu'elles auraient une plus grande probabilité d'y voir des merles. L'effectif de cette classe est peu élevé et le coefficient de risque qui permet d'affirmer que la classe de terrains plus grands que 150 m² est utilisée de façon différente de la classe 50 à 150 m² est à peine inférieur au seuil de signification (G_c = 13,6 vs $G_{\alpha = 0.05}$ = 12,05). Normalement, nous devrions vérifier si les grands terrains sont disponibles en des proportions différentes selon les catégories de traitement. Mais, l'effectif de la classe "grande pelouse" est trop faible pour nous permettre de faire cette analyse.

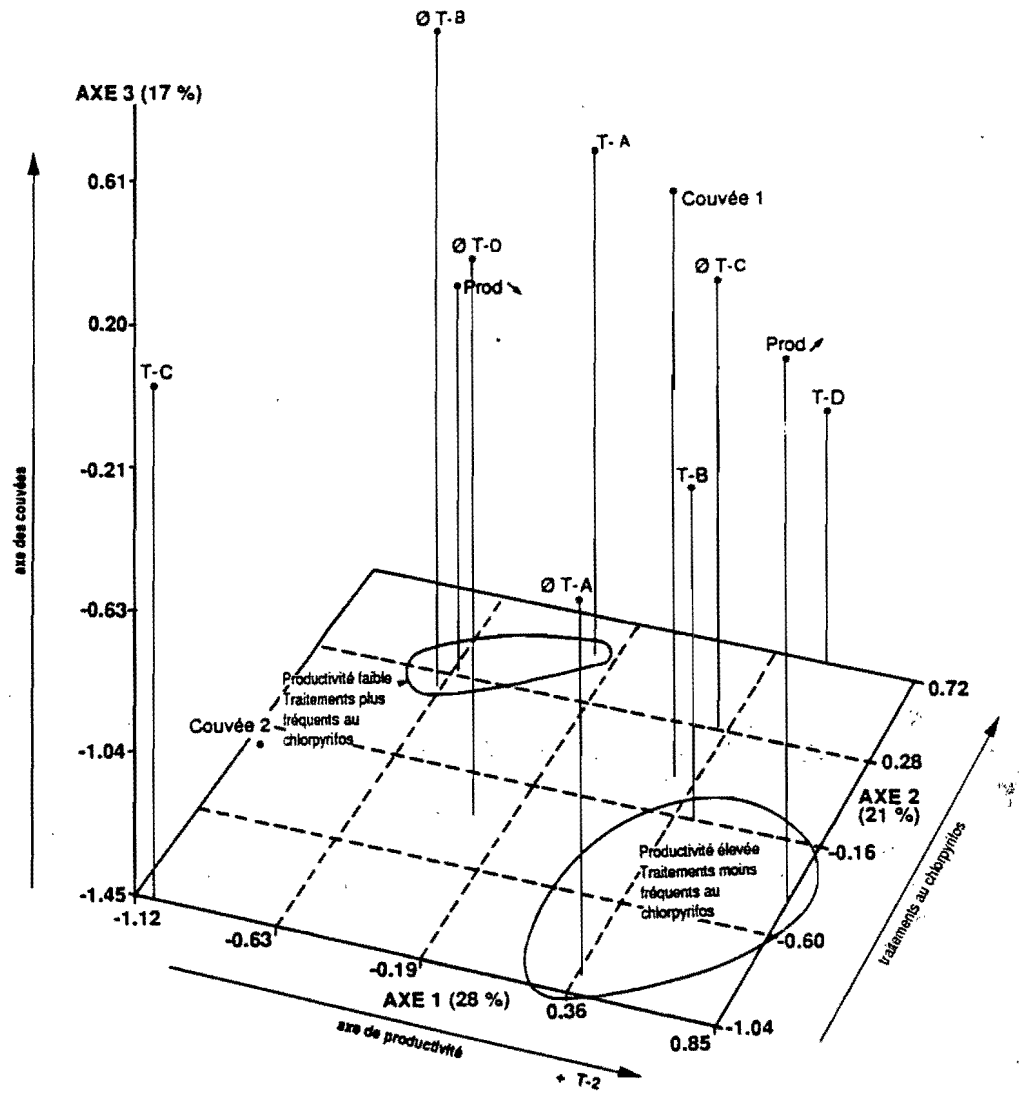
4.4 Effet des traitements sur la productivité

La productivité diminue au cours de la saison. Elle est souvent dépendante du nombre d'oeufs pondus. Or, la ponte moyenne de la première nichée est de 3,9 et celle de la seconde nichée est de 3,2 (Morneau et al. 1989).

Analyse exploratoire :

Une analyse factorielle de correspondance a été réalisée dans le but de montrer les relations existant entre la productivité, l'ordre de la nichée et l'intensité des traitements au chlorpyrifos effectués au cours des années précédentes autour de chacun des nids (figure 12). Le tableau d'entrée comporte le nombre de jeunes produits, l'ordre de la nichée et la proportion des terrains dans chacune des catégories de traitements. Ces données ont été recodées pour former un tableau logique (en 0 et 1). Pour chaque catégorie de traitement, la valeur 0 a été attribuée à l'absence de terrains de cette catégorie et la valeur 1 à la présence. Pour la productivité, la valeur 0 représente les productivités inférieures à 4 et la valeur 1, la productivité 4. La couvée 1 porte la valeur 0 et la couvée 2, la valeur 1.

Les axes 1, 2 et 3 sont ceux qui font le mieux ressortir la relation entre la productivité, les terrains ayant reçus un ou des traitements au chlorpyrifos et les terrains témoins (52,35 % de l'inertie totale du nuage de points) (annexe 3). La représentation graphique montre bien la relation négative existant entre la productivité et l'ordre de la nichée. Elle montre aussi que la productivité est plus élevée pour les nids qui sont entourés de terrains traités aux fertilisants et aux herbicides mais non traités au chlorpyrifos.



LÉGENDE

Prod. Productivité: 0, 1, 2 ou 3 jeunes

Prod. Productivité: 4 jeunes

T-A Fertilisant, herbicide de 1986 à 1988, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987.

T-B Fertilisant, herbicide de 1986 à 1988.

T-C Fertilisant de 1986 à 1988.

T-D Aucun traitement de 1986 à 1988.

Ø Aucun terrain parmi ceux dont l'information est disponible n'a reçu de ce traitement.

Figure 12 - Analyse factorielle de correspondance illustrant la relation entre la productivité des couvées de Merle d'Amérique en 1988 et les traitements effectués sur les pelouses de 1986 à 1987 à Duvernay (Laval).

Analyses inférentielles

La productivité est correlée négativement à l'importance des terrains traités au chlorpyrifos (catégorie T-A) (Tau = -0,2348; n = 86; p = 0,0097). De plus, le pourcentage moyen des terrains de la catégorie T-A est significativement plus élevé autour des nids de faible productivité (tableau 6). Ces résultats doivent être tempérés par le fait qu'il y a une forte proportion des terrains qui n'entrent pas dans les catégories T-A à T-D. Par ailleurs, les nids pour lesquels le plus d'information était disponible sont ceux pour lesquels la productivité était la plus faible et ceux traités avec du chlorpyrifos en 1986 et/ou en 1987 (tableau 7). Les résultats les plus sûrs concernent donc ces nids.

Tableau 6 Comparaison de la productivité en fonction du pourcentage moyen de terrains dans chaque catégorie de traitement.

Productivité	n	T_A[1] (% x)	T_B (% x)	T_C (% x)	T_D (% x)	T_E (% x)
Avec diazinon						
0, 1 et 2	13	20,4	12,5	4,5	1,7	60,9
3 et 4	73	11,9	10,6	3,1	4,9	69,5
Z	--	**1,99**	0,45	0,19	-1,48	-1,46
P_Z	--	**0,047**	0,652	0,851	0,140	0,144
Sans diazinon						
0, 1 et 2	9	20,2	13,4	3,7	2,5	60,2
3 et 4	66	11,1	11,4	3,2	4,7	69,6
Z	--	**1,66**	0,01	-0,01	-0,81	-1,30
P_Z	--	**0,097**	0,993	0,991	0,418	0,195

1. T_A- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1988, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987.
   T_B- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1988.
   T_C- Fertilisants de 1986 à 1988.
   T_D- Aucun traitement de 1986 à 1988 (témoin).
   T_E- Traitement inconnu.

Les nids dont les supports ont été traités au diazinon ont été enlevés de façon à éviter l'effet conjugué des 2 traitements, Morneau et al. (1990) ayant soupçonné un effet de cet insecticide sur la productivité. La corrélation négative entre la productivité et l'importance des terrains traités au chlorpyrifos (T-A) demeure significative (Tau = -0,2004; n = 75; p = 0,0422). Par contre, le pourcentage moyen des terrains traités au chlorpyrifos n'est plus significativement supérieur autour des nids de faible productivité (tableau 6).

Tableau 7 Comparaison de la productivité moyenne en fonction du pourcentage de terrains dans chaque catégorie de traitements, selon l'ordre de la couvée.

Productivité	n	T_A[1] (% x)	T_B (% x)	T_C (% x)	T_D (% x)	T_E (% x)
Couvée 1						
0	2	40,3	18,1	0	6,3	35,4
1	2	16,1	5,0	11,1	0	67,9
2	4	14,4	7,5	2,8	2,5	72,8
3	21	13,1	9,7	5,3	4,1	67,7
4	33	10,4	12,0	1,4	5,7	70,5
Couvée 2						
0	1	11,1	44,4	0	0	44,4
1	0	---	---	---	---	---
2	0	---	---	---	---	---
3	9	11,6	6,2	3,9	3,7	74,7
4	3	3,7	31,5	6,5	0	58,4

1. T_A- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1988, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987.
   T_B- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1988.
   T_C- Fertilisants de 1986 à 1988.
   T_D- Aucun traitement de 1986 à 1988 (témoin).
   T_E- Traitement inconnu.

Il existe une corrélation significativement négative entre la productivité et l'ordre de la couvée (Tau = -0,3053; n = 86; p = 0,0029). Dans le but d'éliminer cet effet sur la relation entre les traitements au chlorpyrifos et la productivité, les données de chaque couvée ont été séparées et le tau de Kendall a été repris pour chacune. L'effectif de la seconde couvée est trop faible (1 vs 12 pour les faibles et fortes productivités) pour analyser la relation entre les terrains traités et les terrains non-traités. Pour la première couvée, il n'existe plus aucune relation entre la productivité et l'importance des terrains traités au chlorpyrifos (Tau = - 0,1927; n = 62; p = 0,076). Le pourcentage de terrains traités au chlorpyrifos (T-A) n'est pas significativement supérieur autour des nids de faibles productivité (test de Wilcoxon-Mann-Whitney: z = 1,628; p = 0,104; productivité faible n = 8, productivité forte n = 54).

5.0 DISCUSSION

Le chlorpyrifos a été rarement utilisé en 1989 et il s'agit d'un insecticide peu persistant. Ses effets directs sur le Merle d'Amérique n'ont donc pu être mesurés et seul son effet indirect causé par une diminution de proies résultant de son usage répété a pu être étudié.

Les résultats obtenus semblent indiquer que l'usage répété du chlorpyrifos n'a eu que très peu d'effets sur l'utilisation des pelouses par le Merle d'Amérique et l'Étourneau sansonnet. Or Coderre (1990) a démontré, sur le même site d'étude à l'automne, que l'abondance et la biomasse des vers de terre sont affectées négativement par l'usage répété du chlorpyrifos. Le fait que l'utilisation des pelouses par les merles n'ait pas été influencée par la diminution de cette ressource trouve donc deux explications interreliées: 1) les lombriciens ayant une activité réduite pendant la période de l'été où a eu lieu l'étude (Gérard 1967, Lee 1985, Garceau et al. 1988), ils deviennent peu disponibles quelque soit la pelouse où ils se trouvent et 2) à cette période, les merles voient leur régime alimentaire modifié, les rendant moins tributaires des lombriciens (Jonhson 1969, Wheelwright 1986). Ces deux facteurs expliquent probablement la faible abondance de merles observés sur les pelouses à cette période de l'année contrairement à la période de nidification, ce qui a pu aussi avoir comme conséquence d'empêcher de détecter un effet du chlorpyrifos.

Les analyses factorielles de correspondance indiquent que les merles femelles préféreraient utiliser les pelouses ayant une plus longue histoire de traitement aux fertilisants, aux herbicides et au chlorpyrifos. Les jeunes merles et étourneaux préfèreraient cependant les pelouses jamais traitées ou traitées seulement récemment. De telles différences de comportement entre les immatures et les adultes ont été observées chez certaines espèces de passereaux, les immmatures

choisissant des sites d'alimentation différents de ceux des adultes (Ficken et Ficken 1967, Howe 1974, Dunn et Nol 1980 in Gochfeld et Burger 1984). Cependant, Gochfeld et Burger (1984) n'ont pu montrer de différence significative dans le choix du site d'alimentation par le Merle d'Amérique selon le stade de maturité.

La productivité des merles semble avoir été affectée par l'usage répété du chlorpyrifos. Or, en période de reproduction, les lombriciens constituent une ressource alimentaire importante (Wheelwright 1986). Leur abondance et leur biomasse moindre (Coderre 1990) pourraient expliquer cette diminution de productivité. Cependant, DeWeese et al. (1979) n'a pas observé d'effet sur la productivité même si la population de proies avait chuté de 70 %. Powell (1984) n'a pas non plus observé d'effet sur la productivité et sur le taux de croissance des jeunes Carouges à épaulettes malgré une diminution du nombre de proies. Les femelles faisaient le même nombre de voyage à la même distance du nid que celles du groupe témoin. Elles passaient toutefois plus de temps à la recherche de nourriture. Bednarek et Davidson (1967) ont observé une baisse de productivité. Celle-ci n'était cependant pas due à la baisse du nombre de proies, mais à l'effet direct du carbaryl.

Il n'est pas impossible qu'un effet combiné du chlorpyrifos et du diazinon se produise puisque si l'on ne tient pas compte des nids dont l'arbre a été traité au diazinon, la différence entre le pourcentage de terrains traités au chlorpyrifos autour des nids de faible et forte productivité n'est plus significative. Il serait donc important de vérifier l'interrelation entre ces deux produits lors d'études ultérieures.

Le fort pourcentage de terrains voisins des nids sans information commande une grande prudence dans l'interprétation. Quoiqu'il en soit, la tendance décelée mérite d'être explorée étant donné les conséquences que la diminution de productivité pourrait avoir sur les populations de merles en milieu résidentiel.

Par ailleurs, les terrains traités au chlorpyrifos forment rarement des groupes homogènes. Ils constituent plutôt une mosaique de plusieurs types de traitements (carte 1) qui pourrait amenuiser l'impact de ce produit. Le chlorpyrifos pourrait donc s'avérer innofensif tant qu'une proportion importante des terrains d'un même secteur ne subit pas de traitement de cet insecticide.

Nous recommandons qu'une étude complémentaire soit effectuée pendant la période de nidification sur des sites dont la chronologie des traitements serait mieux documentée et pendant laquelle les sites d'alimentation, leur distance du nid et l'abondance des proies seraient notés.

6.0 BIBLIOGRAPHIE

Balcomb, R., R. Stevens et C. Bowen. 1984. Toxicity of 16 granular insecticides to wild-caught songbirds. Bull. of Environ. Contam Toxicol. **33**(1):302-307.

Bednarek, R. et C.S. Davidson. 1967. Influence of spraying with Carbaryl on nesting success in a sample of bird-boxes on Cape Dod in 1965. Bird-Banding **38**:66-72.

Bennet, R.S. et H.H. Prince. 1981. Influence of agricultural pesticides on food preference and consumption by ring-necked pheasants. J. Wildl. Manage. 45(1):74-82.

Benzecri, J.P. et coll. 1973. L'analyse des données. Tome II: L'analyse des correspondances. Dunod, Paris 619 p.

Brunet, R. et A. Cyr. 1990. Étude de l'effet du chlorpyrifos sur les niveaux d'acéthycholinestérase et la mortalité chez le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) en captivité. Grebe Inc. pour Environnement Canada et Dow Chemical Inc. Rapport technique. Service Canadien de la Faune. Région du Québec 16 p. + annexes.

Butts, W.K. 1927. The feeding range of certain birds. The Auk 44:329-350.

Clements, R.O. et J.S. Bale. 1988. The short-term effects on birds and mammals of the use of chlorpyrifos to control leatherjackets in grassland. Ann. appl. Biol. **112**: 41-47.

Clements, R. O., J. S. Bale et C. A. Jackson. 1988. An appraisal of methods used to assess the effect on birds and mammals of chlorpyrifos applied to grassland. **in** BCPC Mono. No. 40. Environmental Effects of Pesticides. pp. 57-64.

Coderre, D. 1990. Effets de l'insecticide chlorpyrifos sur l'abondance, la biomasse et la diversité de la communauté lombricienne en milieu urbain. Grebe Inc. pour Environnement Canada et Dow Chemical Inc. Rapport technique. Service Canadien de la Faune. Région du Québec 30 p.

Coon, N. C.. 1983. Wildlife poisoning incidents attributable to organophosphate and carbamate pesticides. Note interne. Fish and Wildlife Service. U. S. Department of the Interior. 7 p.

Cossette, D. I. Giroux, R. Poulin et coll. 1988. Recueil des principaux pesticides en usage au Québec. Volume 1. Rapport synthèse. Environnement Canada.

DeWeese, L.R., C.J. Henny, R.L. Floyd, K.A. Bobal et A.W. Schultz. 1979. Response of breeding birds to aerial sprays of Trichlorfon (Dylox) and Carbaryl (Sevin-4-oil) in Montana forests. U.S. Fish and Wildlife Service Special Scientific Report. Wildlife **224**. 29p.

Dolbeer, R.A., P.P. Woronecki, A.R. Stickle, Jr. et S.B. White. 1978. Agricultural impact of a winter population of blackbirds and starlings. Wilson Bull. **90**:31-44.

Eiserer, L.A. 1980. Effects of grass length and mowing on foraging behavior of the American Robin (Turdus migratorius). The Auk **97**:576-580.

Environnement Canada. 1989. Sommaire météorologique mensuel pour la station Aéroport international de Montréal (Dorval). Juillet et août 1989. Service de l'environnement atmosphérique.

Garceau C., D. Coderre et S. Popovich. 1988. Impact du labour-hersage sur la communauté lombricienne en plantation récente de feuillus. Can. J. Zool. **66**:1777-1782.

Gérard, B.M. 1967. Factors affecting earthworms in pastures. J. Animal Ecology **36**:235-252.

Gochfeld, M. et J. Burger. 1984. Age differences in foraging behavior of the robin (Turdus migratorius). Behaviour **88**:227-239.

Grolleau, G. et J.L. Caritez. 1986. Toxicité, par ingestion forcée, de différents pesticides pour la Perdrix grise, Perdix perdix L. et la Perdrix rouge, Alectoris rufa L. Gibier faune sauvage. **3**:185-196.

Hamilton, W.H. Jr. 1935. Notes on nestling robins. The Wilson Bulletin. **47**:109-111.

Heppner, F. 1965. Sensory mechanisms and environmental clues used by the American Robin in locating earthworms. Condor **67**:247-256.

Howard, D. 1967. Variation in the breeding season and clutch-size of the Robin in the Northeastern United States and the Maritimes Provinces of Canada. Wilson Bull. **79**(4):432-440.

Hurlbert, S.H., M.S. Mulla, J.O. Keith, W.E. Westlake and M. Dusch. 1970. Biological effects and persistence of Dursban in fresh water ponds. J. Econ. Entomol. **63** 43 p.

Hurlbert, S. H. 1977. Toxicity of chlorpyrifos to mallard ducks. Bull. of Environ. Contamination & Toxicology. **17**(1):105-107.

Jonhson, E.V. 1969. Robin-pesticide ecology on a commercial fruit farm. Ph. D. Univ. Cornell University. 96 p.

Jonhson, E.V., G.L. Mack et D.Q. Thompson. 1976. The effects of orchard pesticide applications on breeding robins. The Wilson Bulletin. 88(1):16-35.

Kalmbach, E.R. 1928. The european starling in the United States. Farmers' Bulletin **1571**:1-26.

Kenaga, E. E.. 1974. Evaluation of the safety of chlorpyrifos to birds in areas treated for insect control. Residue Rev. **50**:1-42.

Kenaga, E.E., R.J. Fink et J.B. Beavers. 1981. Dietary toxicity tests with mallards, simulating residue decline of chlorpyrifos and avoidance of treated food. Avian and mammalian wildlife toxicology, E.E. Kenaga. Ed., American Society for testing and materials **693**:36-44.

Kuhr, R. J. et H. Tashiro. 1978. Distribution and persistence of chlorpyrifos and diazinon applied to turf. Bull. Environm. Contam. Toxicol. **20**:652-656.

Legendre, L. et P. Legendre. 1984. Écologie numérique. Tome II. 335 p.

Lee, K.E. 1985. Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Sydney, 441 p.

McEwen, L.C., L.R. DeWeese et P. Schlaweiler. 1986. Bird predation on cutworms (Lepidoptera: Noctuidae) in wheat fields and chlorpyrifos effects on brain cholinesterase activity. Environ. Entomol. **15**:147-151.

Meikle, R.W., N.M. Kurihara et D.H. De Vries. 1983, Chlorpyrifos: the photodecomposition rates in dilute aqueous solution and on a surface, and the volatilization rate from a surface. Arch. Environ. Contam. Toxicol. **12**:189-193.

Morneau, F., R. Décarie et J.-L. DesGranges. 1990. Effets du traitement des arbres ornementaux au diazinon (BASUDIN) et à l'acéphate (ORTHENE) sur le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) en milieu urbain. GREBE Inc. pour Environnement Canada. Rapport technique, Service canadien de la faune, Région du Québec. 42 p. + annexes.

Neu, C.W., C.R. Byers et J.M. Peek. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. J. Wildl. Manage. **38**(3):541-545.

Odenkirchen, E. W. et R. Eisler. 1988. Chlorpyrifos hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Biological Report 85. Fish and Wildlife Service. U. S. Department of the Interior. 34 p.

Paszkowsi, C.A. 1982. Vegetation, ground, and frugivorous foraging of the American Robin. The Auk **99**:701-709.

Powell, G.V.N. 1984. Reproduction by an altricial songbird, the red-winged blackbird. in fields treated with the organophosphate insecticide fenthion. Journal of Applied Ecology **21**:83-95.

Québec. 1989. Lois sur les pesticides. Lois du Québec 1987, chapitre 29 et modifications. Editeur officiel du Québec. 26 p.

Schaffer, E. W. jr., W. A. Bowles et J. Hurlbut. 1983. The acute oral toxicity, repellency, and hazard potential of 998 chemicals to one or more species of wild and domestic birds. Arch. Environm. Contam. Toxicol. **12**:355-382.

Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Gaétan Morin éd. 850 p.

Sears, M.K. et R.A. Chapman. 1979. Persistence and movement of four insecticides applied to turfgrass. J. Econ. Entomol. **72**:272-274.

Sears, M.K., C. Bowhey, H. Braun et G.R. Stephenson. 1987. Dislodgeable residues and persistence of diazinon, chlorpyrifos and isofenphos following their application to turfgrass. Pesti. Sci. **20**:223-231.

Schoener, T.W. 1968. Sizes of feeding territories among birds. Ecology **49**(3):123-141.

Smith, G. J.. 1987. Pesticide use and toxicology in relation to wildlife: organophosphorus and carbamate compounds. Resource Publication 170. Fish and Wildlife Service. U. S. Department of the Interior.

Smith, T.M. et H.H. Shugart. 1987. Territory size variation in the ovenbird: the role of habitat structure. Ecology 68(3):695-704.

Stone, W.B. 1979. Poisoning of wild birds by organophosphate and carbamate pesticides. New York Fish and Game Journal **26**(1):37-47.

Stone, W.B. et P.B. Gradoni. 1987. Poisoning of birds by cholinesterase inhibitor pesticides. Dep. of Environ. Cons. Pub. 16 p.

Swihart, R.K. et S.G. Johnson. 1986. Foraging decisions of American Robins: somatic and reproductive tradeoffs. Behav. Ecol. **19**:275-282.

Tobin, M.E. 1984. Relative grape damaging potential of three species of birds. California Agriculture **38**:9-10.

Tucker, R. K. et M. A. Haegele. 1971. Comparative acute oral toxicity of pesticides to six species of birds. Toxicology and Applied Pharmacology. **20**:57-65.

Welty, J.C. 1975. The life of birds. Saunders Company 623 p.

Wheelwright, N.T. 1986. The diet of American Robins: An analysis of U.S. biological survey records. The Auk **103**:710-725.

Annexe 1 Contributions associées à chacune des valeurs de la représentation graphique de l'AFC illustrant la relation entre les abondances relatives les plus élevées de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets mesurées durant l'été 1989 et les traitements effectués de 1986 à 1989 sur les pelouses à Duvernay (Laval) (figure 5).

Nom des variables	Contribution				
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Merle juvénile	0,5	0,4	18,3	2,1	0,1
Merle femelle	0,0	1,6	1,8	17,9	2,0
Merle mâle	0,2	0,4	41,4	2,5	0,1
Étourneau juvénile	6,6	4,6	0,0	1,5	23,9
Étourneau adulte	4,3	2,2	1,3	19,6	1,4

Nom des éléments	Contribution				
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Fertilisants 1986	10,3	4,0	15,2	0,0	15,9
Fertilisants 1987	11,3	1,4	11,8	3,3	1,9
Fertilisants 1988	0,0	13,9	11,6	0,4	15,6
Fertilisants 1989	6,7	7,4	11,7	0,0	1,5
Herbicides 1986	7,8	25,0	5,2	4,5	0,0
Herbicides 1987	12,3	0,8	1,4	1,1	9,1
Herbicides 1988	0,0	13,9	11,6	0,4	15,6
Herbicides 1989	6,7	7,4	11,7	0,0	1,5
Aucun traitement 1986	10,1	11,9	5,2	0,1	0,1
Aucun traitement 1987	9,1	0,1	7,6	4,7	25,4
Aucun traitement 1988	11,0	9,9	5,5	9,8	3,9
Aucun traitement 1989	2,3	3,7	0,0	74,6	0,3
Total des Insecticides	12,3	0,8	1,4	1,1	9,1

Annexe 2 Contributions associées à chacune des valeurs de la représentation graphique de l'AFC illustrant la relation entre la présence de Merles d'Amérique et d'Étourneaux sansonnets durant l'été 1989 et l'aménagement paysager à Duvernay (Laval) (figure 11).

Nom des variables	Contribution				
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Superficie de pelouse					
(- de 50 m²)	0,6	0,5	23,5	2,8	0,1
(+ de 50 m²)	0,5	0,4	18,3	2,1	0,1
Stratification végétale					
(faible)[1]	0,1	3,0	3,4	33,9	3,7
(forte)	0,0	1,6	1,8	17,9	2,0
Aménagement humain					
(modéré)	0,0	0,1	5,6	0,3	0,0
(élevé)	0,2	0,4	41,4	2,5	0,1
Abondance merles jeunes					
(nulle)	2,3	1,6	0,0	0,5	8,3
(présence)	6,6	4,6	0,0	1,5	23,9
Abondance merles femelles					
(nulle)	2,5	1,3	0,7	11,2	0,8
(présence)	4,3	2,2	1,3	19,6	1,4
Abondance merles mâles					
(nulle)	2,6	1,0	0,0	2,2	20,2
(présence)	4,9	1,9	0,0	4,2	37,8
Abondance étourneux jeunes					
(nulle)	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0
(présence)	6,2	15,1	0,7	0,6	0,1
Abondance étourneaux adultes					
(nulle)	0,9	2,4	0,0	0,0	0,1
(présence)	8,6	22,8	0,0	0,3	0,9

[1]. Les 5 classes de stratification végétale décrites à la section 3.4.2 ont été regroupées en 2 classes séparant les faibles stratifications (aucune structure végétale à présence d'arbres de plus de 3 mètres sans arbustes) des fortes stratifications (présence d'arbres et d'arbustes, de haies ou autres).

Annexe 3 Contributions associées à chacune des valeurs de la représentation graphique de l'AFC illustrant la relation entre la productivité des couvées de Merles d'Amérique en 1988 et les traitements effectués sur les pelouses en 1986 et 1987 à Duvernay (Laval) (figure 12).

Nom des variables	Contribution				
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Productivité					
(0, 1, 2 ou 3 jeunes)	13,1	4,6	1,0	0,0	6,0
(4 jeunes)	18,2	6,4	1,4	0,0	8,4
Couvée					
(première)	3,7	0,1	10,1	0,1	0,0
(seconde)	15,0	0,3	40,9	0,3	0,1
T-1[1]					
(aucun terrain)	2,9	25,3	3,4	14,6	15,5
(1 terrain et plus)	1,7	14,3	1,9	8,2	8,7
T-2					
(aucun terrain)	10,1	1,6	14,4	24,0	1,3
(1 terrain et plus)	6,6	1,0	9,4	15,7	0,9
T-3					
(aucun terrain)	4,7	6,1	0,1	0,4	10,2
(1 terrain et plus)	15,4	20,0	0,2	1,3	33,6
T-4					
(aucun terrain)	2,8	6,6	5,6	11,6	4,9
(1 terrain et plus)	5,7	13,7	11,7	24,0	10,2

1. T_1- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1988, chlorpyrifos en 1986 et/ou 1987.
   T_2- Fertilisants, herbicides de 1986 à 1988.
   T_3- Fertilisants de 1986 à 1988.
   T_4- Aucun traitement de 1986 à 1989 (témoin).

ÉTUDE DE L'EFFET DU CHLORPYRIFOS SUR LES NIVEAUX D'ACÉTYLCHOLINESTÉRASE ET LA MORTALITÉ CHEZ LE MERLE D'AMÉRIQUE (*TURDUS MIGRATORIUS*) EN CAPTIVITÉ

par Richard Brunet et André Cyr

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE, FACULTÉ DES SCIENCES, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, Sherbrooke (Qc) J1K 2R1

RÉSUMÉ

La présente étude avait pour but de mesurer l'impact du chlorpyrifos sur le Merle d'Amérique maintenu en enclos. L'impact a été mesuré par le degré d'inhibition de l'activité de l'AChE dans le sang et le cerveau, ceci en relation avec la durée d'exposition et la dose employée. Les expériences consistaient à arroser d'une dose préétablie de chlorpyrifos une surface de pelouse, à y placer 9 à 12 merles dans une volière, puis à en prélever le sang ou le cerveau pour mesurer les effets du traitement sur le degré d'inhibition de l'AChE.

Sous les conditions expérimentales, la mortalité a été élevée, celle-ci ayant été enregistrée entre 20 à 24 heures après le début de l'exposition au traitement pour le premier groupe. Les premiers signes d'intoxication apparaissent entre 3 et 5 heures pour le deuxième groupe. Les deux premiers groupes expérimentaux ont présenté respectivement une inhibition de 33,71 et 27,80% de l'activité cervicale de l'AChE, par rapport à ceux du groupe groupe témoin dont l'activité de l'enzyme a été de 27,50 U/g. Les résultats suggèrent que plus les individus sont gros, plus le taux d'inhibition de l'AChE est plus important, ce qui serait à relier au comportement de dominance.

L'impact du chlorpyrifos sur le Merle d'Amérique est plus considérable que prévu même à une dose dite normale. Des températures extrêmes semblent avoir des effets sur la vitesse d'intoxication des merles en captivité. La dominance et donc le taux d'activité des merles en grands groupes dans une volière semble aussi avoir un impact sur la réponse individuelle au traitement. Les recommandations ont trait à la nécessité de nouvelles expérimentations concernant l'effet du comportement individuel sur la vitesse d'intoxication, la capacité du merle à choisir entre des sites contaminés ou non, l'effet de la température sur le degré d'intoxication ainsi que l'effet de l'intoxication sur le taux d'activité de l'animal et la durée de récupération suite au traitement.

ABSTRACT

The purpose of this study is to measure the effect of chlorpyrifos on the American Robin in an enclosure. The effect was measured by the degree to which AChE activity was inhibited in the blood and brain relative to length of exposure to the dose used. The experiments involved placing 9 to 12 robins in an aviary, spraying a section of lawn with a pre-established dose of chlorpyrifos, and taking blood or brain samples to measure the impact of the treatment on the degree of AChE inhibition.

The mortality rate under the experimental conditions, recorded 20 to 24 hours after the start of exposure to treatment for the first group and 3 to 5 hours for the second group, was high. The first two experimental groups showed respective AChE brain activity inhibitions of 33.71 and 27.80 %, compared with enzyme activity of 27.50 U/g for the control group. These results suggest that the larger an individual, the greater the AChE inhibition rate, potentially linked to dominant behaviour.

The effect of chlorpyrifos on the American Robin is greater than anticipated, even at what may be considered a normal dose. Extreme temperatures seem to have an impact on the speed of poisoning of enclosed robins. Dominance, and thus the rate of activity, of robins in large groups in an aviary also seems to affect the individual response to treatment. Further experiments are recommended to examine the effect of individual behaviour on the speed of poisoning, the ability of the robin to chose between contaminated and non-contaminated sites, the effect of temperature on the degree of poisoning and the effect of poisoning on the rate of activity in the bird and the recovery rate following treatment.

1.0 INTRODUCTION

Le chlorpyrifos °Diéthyl trichloropyridyle phosphorothioate§ O, O-diéthyle O-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyle ester) est aussi couramment appelé Dursban ou Lorsban. Cet organophosphate a fait son entrée sur le marché en 1965 comme insecticide à usage général et est maintenant utilisé de façons commerciale et domestique pour combattre de nombreux insectes dont la fourmi (Formicidae), la punaise des céréales (Blissus leucopterus) le ver-gris (Noctuidae), la pyrale des prés (Crambinae), le charançon des pelouses (Hyperodes sp.), le hanneton (Phyllophaga sp. et Amphimallon majalis), le scarabée japonais (Popillia japonica), le perce-oreille (Forficula auricularia), etc. (Dow Chemical Canada, non daté).

Ce pesticide est massivement utilisé aux États-Unis. Par exemple, en 1984, environ 0.15 million de kg de chlorpyrifos étaient appliqués sur 600,000 hectares de terres humides pour le contrôle des moustiques (Odenkirchen 1987). Des études ont démontré que les doses utilisées lors de ces applications n'affectaient pas les espèces non-visées, telles les animaux et les oiseaux aquatiques, de même que les animaux terrestres habitant les écosystèmes voisins (Linn 1968; Nelson et Evans 1973; Tagatz et al. 1982; Goodman et al. 1985; Smith 1987). Cependant, des oies domestiques (Anser sp.) intoxiquées ont été retrouvées sur des terrains de golf et des applications cutanées sur des canetons du Canard colvert (Anas platyrhynchos) ont provoqué une mortalité importante (Smith 1987). De plus, le chlorpyrifos employé dans les fermes pour contrôler des insectes propagateurs de champignons et bactéries eux-mêmes vecteurs de maladies contagieuses a été associé à des problèmes de reproduction chez le bétail (Everett 1982).

Comme tous les pesticides organophosphorés, le chlorpyrifos agit sur le métabolisme en réduisant l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) (United States Environmental Protection Agency 1982; Nolan et al. 1984), ce qui provoque une accumulation d'acétylcholine dans les tissus nerveux (Friedman et al. 1987). Une inhibition de 50% de l'activité de l'AChE est généralement mortelle pour les oiseaux (Ludke et al. 1975).

A cause des caractéristiques structurales des milieux urbains et parce qu'ils sont récents, la faune qui s'y est adaptée est plutôt limitée. Le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) est une espèce d'oiseaux qui fréquente régulièrement les pelouses à la recherche de vers de terre (Lumbricus terrestris, etc) (Bent 1964). De par son comportement, il représente une espèce de choix pour des études sur les effets de la toxicité des pesticides en milieu urbain. Par ses nombreux déplacements au sol et ses habitudes alimentaires, il est fortement sujet à l'absorption cutanée et/ou orale du chlorpyrifos.

La présente étude ne représente qu'un volet d'une étude plus complexe qui vise à étudier l'effet de l'utilisation sur les pelouses du chlorpyrifos sur le Merle d'Amérique. Nous nous proposons ici de

vérifier l'impact du chlorpyrifos sur le merle maintenu en enclos. Le premier volet consiste à vérifier si une intoxication peut résulter d'un contact avec l'herbe ayant été arrosée avec le produit, et le second vise à mesurer le degré d'inhibition de l'activité de l'AChE dans le sang et dans le cerveau en fonction de la durée d'exposition.

2.0 MÉTHODE

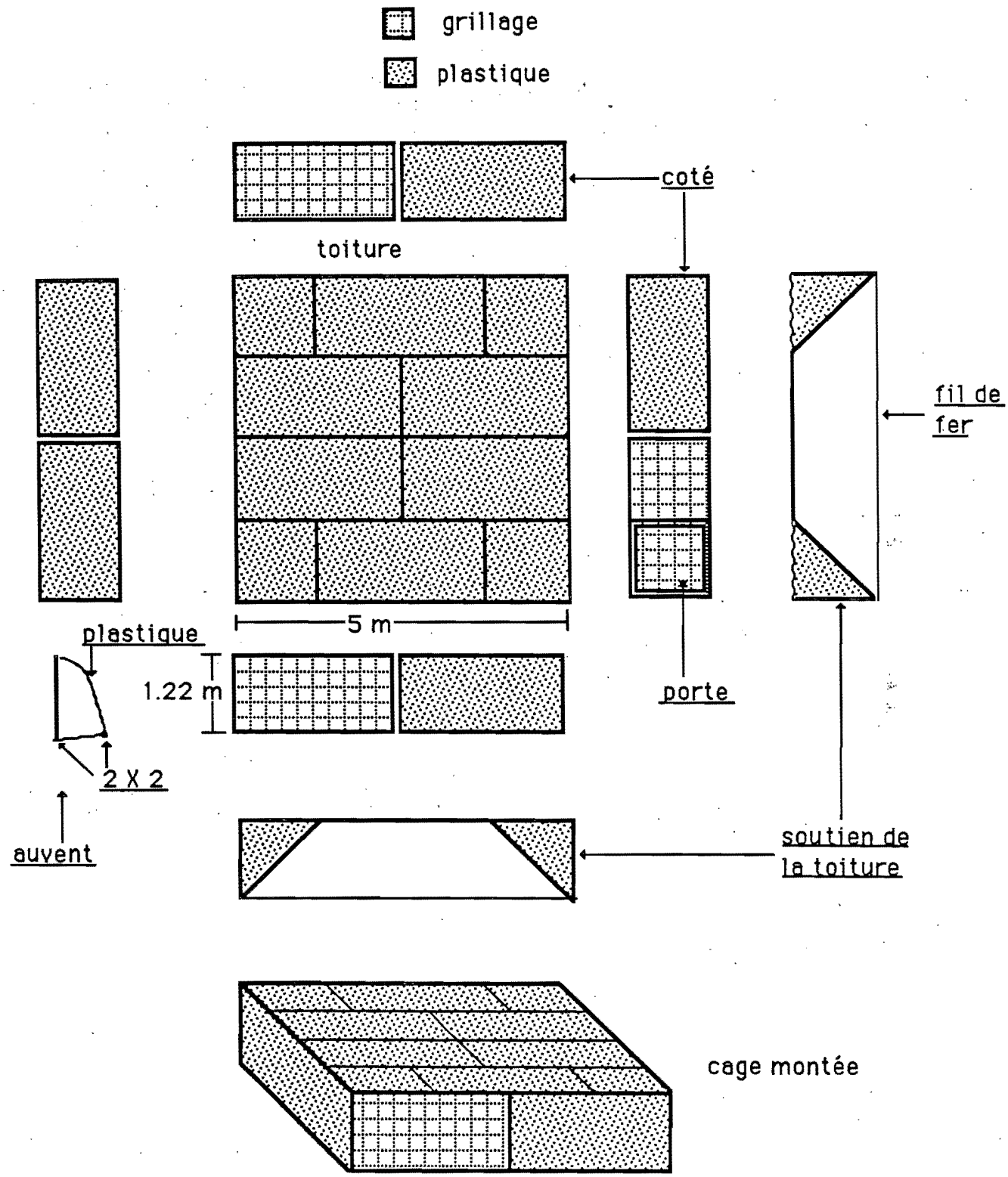
Des Merles d'Amérique adultes ont été capturés au printemps entre le 1er mai et le 29 juin dans des champs à l'aide de filets japonais et gardés dans une grange aménagée en volières à North Hatley, Stanstead, Québec. Ils ont reçus des fruits, des vers de terre et de l'eau ad libitum.

Les expériences ont été conduites sur de grandes pelouses sur les terrains de l'Université de Sherbrooke, entre le 8 et le 29 juin 1989. Deux volières de 5 m X 5 m X 1,22 m (figure 1) ont été construites de modules indépendants de dimension 2,5m X 1,22m à charpente en bois. Le plafond et 5 des 8 panneaux étaient recouverts de feuilles de plastique (0.01mm). Les trois derniers panneaux étaient recouverts d'un grillage de plastique et étaient équipés d'auvents en feuilles de plastique afin de permettre l'aération.

Les expériences consistaient à placer 9 à 12 merles dans une volière, à arroser d'une dose préétablie de chlorpyrifos, correspondant à la dose suggérée par le fabricant (45 ml/100m², soit 10,8 g de pesticide par 100m² en dose standard) une surface de pelouse de même grandeur que la base de la volière et à déplacer la volière contenant les oiseaux sur le site traité, une heure après l'application du chlorpyrifos afin de lui laisser le temps de sécher sur l'herbe. Les oiseaux recevaient, pendant la durée des traitements, des tranches de pommes et d'oranges (non contaminés) tous les matins et l'eau offerte était renouvelée au besoin. Le poids des oiseaux était mesuré à l'aide d'une balance pesola de 100g avant les prises de sang. Dès que les oiseaux étaient retirés des volières, selon les conditions expérimentales ci-dessous, le sang était prélevé par ponction de l'artère brachiale à l'aide de quatre capillaires héparinés de 50 µl par oiseau. Les capillaires étaient immédiatement centrifugés après le prélèvement pour séparer le plasma, puis congelés.

Afin de déterminer le degré de toxicité du produit, des arrosages à différentes doses (dose standard et dose cinq fois plus élevée) et différentes durées entre les arrosages (arrosage à tous les jours et tous les deux jours) étaient prévus. La forte mortalité observée, suite à l'application d'une dose normale, a obligé une modification du protocole expérimental. Des oiseaux ont été soumis à l'une des quatre conditions expérimentales suivantes.

Fig. 1 Plan des volières.



Le Groupe Témoin

Après avoir subit une prise de sang, 12 oiseaux étaient enfermés dans une volière 5 jours avant le jour zéro où nous avons aspergé l'herbe avec de l'eau pour simuler les traitements avec application de chlorpyrifos. Après 7 jours d'observation, tous les oiseaux étaient soumis à une deuxième prise de sang et 3 d'entre-eux étaient sacrifiés et leur cerveau congelé pour analyse ultérieure.

Expérience 1 : Estimation de la Dose Létale 1

Cette première expérience avait pour but de déterminer l'effet prolongé d'une dose standard de chlorpyrifos appliquée tous les jours, sur les niveaux d'AChE dans le sang et le cerveau du Merle d'Amérique. Neuf oiseaux ont subi une prise de sang 5 jours avant le jour zéro. Le sang et le cerveau de trois oiseaux devaient être prélevés 24, 72 et 120 h après le traitement. Au cours des deux premiers essais, des vents violents (23,7 noeuds) puis des pluies diluviennes nous ont forcé à recommencer l'expérience. Ces incidents sont tous survenus entre la 20ième et la 24ième heure après le début de l'exposition au chlorpyrifos. Lors du premier essai, les températures maximale et minimale étaient de 23,3° et 10,4°. Lors du second essai, elles ont été de 19,4° et 10,3°. A la dernière tentative, le temps était clair et calme et les températures extrêmes ont atteint 20,8° et 1,6°, ce qui est relativement froid comme minimum pour le mois de juin.

Suite à une mortalité pré-expérimentale élevée, seulement sept oiseaux ont été placés dans la volière lors du dernier essai, et ce une heure après l'application du chlorpyrifos qui a eu lieu à 20 heures le 14 juin. Tous les oiseaux sont morts après moins de 24 heures. Le cerveau de chacun a été prélevé pour analyse de l'AChE. Suite aux conditions expérimentales ci-dessus et à la forte mortalité, le protocole initial (voir plus haut) a été modifié sans augmentation de la dose ou modification de la durée entre les traitements. Les nouveaux protocoles suivants ont été élaborés.

Expérience 2 : Estimation de la Dose Létale 2

Étant donné la mortalité observée lors la première expérience, l'expérience suivante a été réalisée. Elle avait pour but de préciser la période à laquelle se manifeste l'effet du produit. Lors de l'expérience Dose létale 2, la température maximale enregistrée était de 28,4°. Treize oiseaux ayant subit une prise de sang 5 jours plus tôt ont été enfermés dans une volière une heure après l'application du chlorpyrifos qui a eu lieu à 13 heures le 27 juin. Chaque merle était prélevé dès que se manifestaient les premiers signes comportementaux d'intoxication, tels que résumés par Hudson et al. (1984), et en particulier l'hypoactivité, la perte de coordination musculaire, les spasmes ou les convulsions pulmonaires. Une prise de sang a été faite dans les minutes qui suivaient et l'animal était aussitôt sacrifié

afin d'en conserver le cerveau.

Expérience 3 : La Courbe Standard

Cette expérience avait pour but d'établir une courbe standard présentant les effets progressifs du chlorpyrifos sur les niveaux de l'AChE sanguin et cervical et sur la mortalité en prélevant un merle à toutes les vingt minutes pendant les quatre premières heures suivant l'exposition. La volière contenait 12 oiseaux. Le chlorpyrifos a été appliqué à 8 h le matin du 27 juin. Les oiseaux ainsi que la nourriture ont été placés au-dessus de la zone d'application 1 h après celle du produit. La nourriture et l'eau étaient placés dans des contenants afin d'éviter la contamination. Un oiseau choisi de façon aléatoire a été retiré toutes les 20 minutes. On a effectué une prise de sang et l'oiseau a été sacrifié pour en conserver le cerveau, pour mesure ultérieure de l'AChE.

Présence de chlorpyrifos dans l'herbe

Des analyses pour vérifier la présence de chlorpyrifos dans l'herbe ont été effectuées afin de vérifier que les sites témoins et les sites traités étaient bien exempts du produit à tester avant l'application expérimentale du chlorpyrifos et aussi pour vérifier la teneur en chlorpyrifos après le traitement et l'uniformité des doses appliquées. Ces analyses ont été effectuées le 24 octobre 1989 par Nicole Bertrand du laboratoire Xenos à l'Université d'Ottawa, Ontario. Le chlorpyrifos a été extrait de l'herbe par homogénéisation dans du méthanol. Le prélèvement a été agité pendant 15 minutes, centrifugé et un aliquot fût additionné à un volume égal d'acide phosphorique dilué. Le chlorpyrifos fût alors extrait dans l'hexane. La solution d'hexane a été ensuite analysée par chromatographie en phase gazeuse en utilisant un détecteur à flamme photométrique (Hewlett-Packard 5880). La température de l'injecteur était de 240°C et celle du détecteur de 225°C. Le débit de l'hélium gazeux porteur était de 25 ml/min. Le temps de rétention du chlorpyrifos était de 2,17 minutes.

Analyses de l'AChE

Les analyses de l'activité de l'AChE cervical et sanguine ont été effectuées par la Direction des Inventaires et de la Toxicologie de la Faune, du Service Canadien de la Faune, Environnement Canada (Hull, Québec) selon une méthode basée sur les modifications de Hill et Fleming (1982) de la méthode de Ellman et al. (1961). Un test de Wilcoxon-Mann-Withney fût effectué pour comparer les données des divers groupes.

3.0 RÉSULTATS

Présence de chlorpyrifos dans l'herbe

Le tableau 1 présente les résultats des analyses d'herbe. Il démontre très bien que l'herbe poussant dans la volière du groupe témoin et les échantillons pris à l'extérieur des volières n'étaient pas contaminés par le chlorpyrifos.

Analyses de l'AChE

Le groupe témoin

Les résultats des analyses sanguines du groupe témoin pour les mesures de l'activité de l'AChE comportent de trop grandes variations pour révéler quelques tendances sur les effets des traitements (tableau 2). Les cerveaux ont donc été utilisés pour les analyses de l'activité de l'AChE pour toutes les situations expérimentales avec traitement au chlorpyrifos. Comme les mesures de l'activité de l'AChE provenant d'échantillons de sang ne peuvent être comparées à celles provenant de cerveaux, d'autres oiseaux ont donc été capturés afin de fournir un échantillon de cerveaux d'oiseaux non traités (groupe témoin) pour les analyses (tableau 3). Le pourcentage d'intoxication des oiseaux des groupes traités a été calculé par rapport à la moyenne du niveau de l'activité de l'AChE des cerveaux d'oiseaux du groupe témoin.

Expériences 1 et 2 : Estimations des Doses Létales 1 et 2

L'analyse de l'activité cervicale de l'AChE pour les deux groupes d'oiseaux exposés à des doses létales révèle des résultats très semblables. Tous les oiseaux du groupe Dose Létale 1 sont morts entre la 20ième et la 24ième heure après le début de l'exposition au traitement (tableau 4). Pour le groupe Dose Létale 2 (tableau 5), les premiers symptômes d'intoxication apparaissent après 3 à 5 heures d'exposition (figure 2). Ces deux groupes présentent respectivement une inhibition de 33,71 et 27,80% de l'activité cervicale de l'AChE. Cependant, Ludke et al. (1975) ont évalué en laboratoire qu'une chute de 20 % de AChE était déjà indicative d'une intoxication suite à l'exposition au produit. Or, les données du groupe témoin présentent en moyenne une activité de l'enzyme de 27,50 U/g (Unités par gramme de cerveau); donc une inhibition de AChE de 20% signifie que toutes les données supérieures à 22,00 U/g peuvent représenter des cas d'oiseaux où l'inhibition ne s'est pas produite. Si nous recalculons les moyennes d'activité de l'enzyme pour chaque groupe en omettant les valeurs supérieures à ce seuil dans les analyses (oiseaux £435F, 446 et 448F des tableaux 4 et 5), les oiseaux du groupe Dose Létale 1 ont subit en moyenne une inhibition de l'AChE de 39,01% et les oiseaux du groupe Dose Létale 2 de 32,54%. Notons qu'une inhibition de 50% est létale pour les oiseaux (Hill et Fleming 1982).

Tableau 1. Concentration (ppm*) de chlorpyrifos dans les échantillons d'herbe.

GROUPE	CONDITION	
	Extérieure	Intérieure
Témoin	0.019-0.016	0.024
Courbe standard	1.78	158
Dose létale 1	0.383-0.465	137
Dose létale 2	0.204 0.061-0.065	127 158

* Les résultats globaux démontrent un % de recouvrement de 101% de l'herbe traitée.

Tableau 2. Niveau de l'AChE du sang et poids de Merles d'Amérique du groupe témoin et dates de relevés selon le protocole original prévu (M=mâles, F=Femelles).

	DATES DE RELEVÉS						TRAITEMENT		ANALYSE SANGUINE	
	SANG					CERVEAU		POIDS DES		
Dates:	8	9	11	13	14	14	DURÉE	INDIVIDUS	moyenne	écart
No.	juin	juin	juin	juin	juin	juin	hrs	g	U/g	type
408 M	X	X					24	82	2467	31
407 M	X	X					24	82	292	36
406 M	X		X				72	84	1563	50
405 F	X		X				72	86	622	3
404 F	X			X			120	81	194	19
403 F	X			X			120	80	2939	38
402 F	X				X		144	80	1647	24
401 F	X				X		144	79	1371	
417 F	X				X		144	88	878	28
414 F	X	X				X	24	82	1965	31
422 F	X		X			X	72	82	288	3
423	X			X		X	120	83	2314	287

Tableau 3. Niveau de l'AChE du cerveau de Merles d'Amérique du groupe Témoin.

TEMOIN	POIDS (g)	moyenne U/gr	écart type	grammes de cerveau
476	81	25.27	0.97	0.45
477	80	31.04	0.72	0.32
478	82	25.92	0.02	0.43
479	86	24.45	0.1	0.55
x1	-	30.16	-	-
x2	-	28.18	-	-
	moyenne *	27.5033		
	écart type	2.714		

* La valeur moyenne sert au calcul du % d'inhibition de l'AChE dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 4. Niveau de l'AChE du cerveau, poids et durée d'intoxication de Merles d'Amérique du groupe dose létale 1 (M=mâles, F=Femelles).

	DATES DE RELEVÉS		TRAITEMENT		ANALYSE				%
	SANG	CERVEAU		POIDS DES	AChE CERVEAU				D'INHIBITION
Dates:	14	15	DURÉE	INDIVIDUS	moyenne	moyenne*	écart	grammes	
No.	juin	juin	hrs	g	U/g	U/g	type	de cerveau	
433	X	X	20-24	80	19.63	19.63	1.52	0.52	28.6
434 F	X	X	20-24	83					
435 F	X	X	20-24	86	24.06	-	0.11	0.53	12.5
436 M	X	X	20-24	85	20.78	20.78	0.71	0.4	24.4
439 F	X	X	20-24	76	9.84	9.84	0.26	0.44	64.2
440 F	X	X	20-24	89					
441	X	X	20-24	79	16.85	16.85	0.6	0.56	38.7
				moyenne	18.232	16.775*			33.7
				écart type	5.356	4.9089			

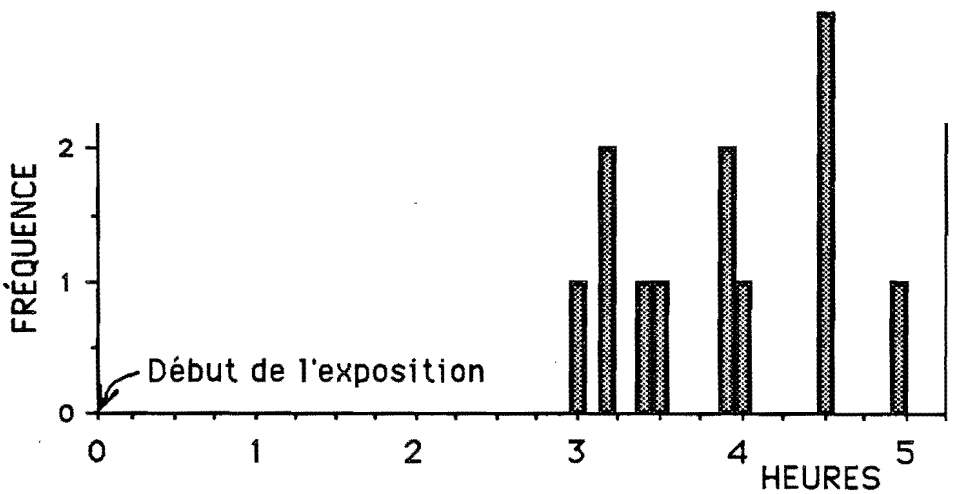
* Voir texte pour les moyennes d'AChE calculées sur les valeurs supérieures au seuil de 20% d'intoxication.

Tableau 5. Niveau de l'AChE du cerveau, poids et durée d'intoxication de Merles d'Amérique du groupe dose létale 2 (M=mâles, F=Femelles).

	DATES DE RELEVÉS TRAITEMENT					ANALYSE				%
	SANG	CERVEAU			POIDS DES	AChE CERVEAU				D'INHIBITION
Dates:	19	27	27	DURÉE	INDIVIDUS	moyenne	moyenne*	écart	grammes	
No.	juin	juin	juin	hrs	g	U/g	U/g	type	de cerveau	
442 F	X	X	X	3	84	19.92	19.92	0.62	0.36	**27.6**
443 F	X		X	4.5	84	19.55	19.55	0.38		**28.9**
444 M	X	X	X	3.5	87	15.27	15.27	0.44	0.46	**44.5**
445	X	X	X	3.2	84	17.65	17.65	0.18	0.31	**35.8**
446	X	X	X	3.9	79	27.8	-	0.2	0.46	-0.01
447 F	X	X	X	4.5	83	20.15	20.15	0.05	0.48	**26.7**
448 F	X	X	X	4.9	78	23.34	-	0.35	0.44	15.1
449 M	X	X	X	4	86	15.67	15.67	0.09	0.36	**43**
451 M	X	X	X	3.9	84	18.51	18.51	0.11	0.47	**32.7**
437	X		X	3.2	78	20.7	20.7	0.43		**24.7**
		moyenne		3.86		19.856	18.552*			26.9
		écart type		0.638		3.67	2.24			

* Voir texte pour les moyennes d'AChE calculées sur les valeurs supérieures au seuil de 20% d'intoxication.

FIG. 2 Vitesse d'apparition des symptômes d'intoxication chez les Merles d'Amérique. (expérience Dose Létale 2)



La figure 3 illustre l'activité de l'AChE en fonction de la durée d'exposition nécessaire pour l'apparition des premiers symptômes d'intoxication au chlorpyrifos, chez le groupe Dose Létale 2. La relation positive entre ces deux facteurs est faible (R^2 = 0,073). D'autres facteurs que la durée d'exposition sont probablement impliqués dans l'apparition des symptômes d'intoxication.

La figure 4 suggère une tendance négative très faible dans la relation entre la durée d'exposition nécessaire pour observer l'apparition des premiers symptômes et le poids de ces mêmes oiseaux. Si la relation était significative, plus les individus seraient gros, plus les symptômes se manifesteraient rapidement (R^2 = 0,04). Cette relation cependant ne tient pas non plus pour le groupe Courbe standard et il nous faudrait expérimenter avec un groupe témoin et avec un échantillon plus grand pour vérifier plus spécifiquement cet aspect de la relation. L'effet du poids n'est cependant pas à écarter complètement comme explication étant donné la relation présentée en figure 5. Celle-ci indique que les individus plus lourds subissent une plus forte inhibition de l'AChE que leurs congénères moins lourds et présentant les mêmes symptômes d'intoxication (R^2 = 0,67). Ceci suggère que plus les individus sont gros, plus l'inhibition de l'AChE est élevée.Il faudrait cependant différencier l'effet du poids de celui de dominance.

Expérience 3 : La Courbe Standard

Les données sur l'activité de l'AChE des cerveaux provenant du groupe de la Courbe standard aux 20 minutes sont présentées au tableau 6. Aucun des oiseaux n'a présenté de symptômes d'intoxication avant d'être retiré de la volière, soit dans les quatre heures qui ont suivi l'application du chlorpyrifos. Selon les évaluations des niveaux d'AChE, seulement deux oiseaux sur 12 ont présenté une inhibition de l'activité de l'enzyme qui soit légèrement inférieure aux critères d'intoxication de Ludke et al. (1975). Cependant, si l'on met en relation le niveau d'AChE et la durée d'exposition de l'oiseau au chlorpyrifos (figure 6), on observe une diminution significative de la concentration de l'enzyme en fonction du temps (R^2= 0,55), même si les oiseaux de ce groupe ne semblaient pas avoir été affectés. Les deux individus les plus affectés l'ont été au-delà de trois heures d'exposition.

Si l'on jumelle ces données avec celles de l'expérience Dose létale 2, on obtient une corrélation équivalente de R^2= 0,48 (figure 7), mais dans le cas des oiseaux de ce dernier groupe, l'intoxication était générale, et on obtenait une relation inverse et positive entre la durée et le niveau d'intoxication (figure 3).

Fig. 3 Relation entre l'activité de l'AChE et la durée d'exposition (dose létale 2).

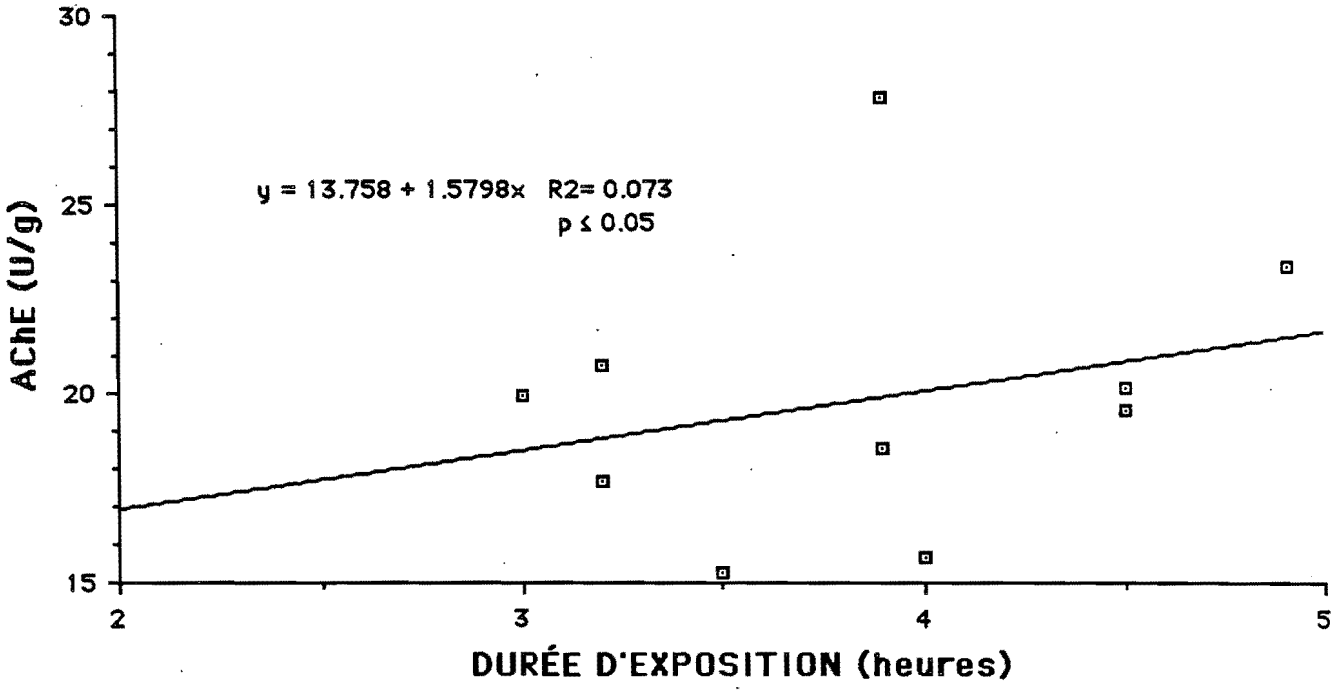


Fig. 4 Relation entre la durée d'exposition et le poids (dose létale 2).

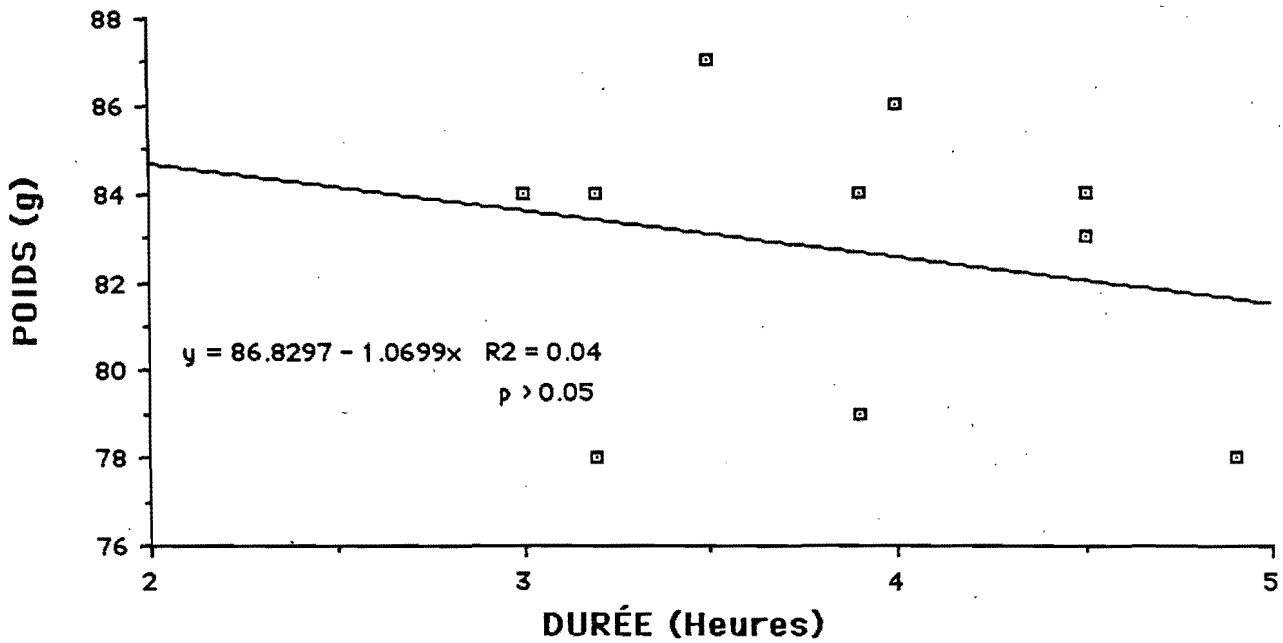


Fig. 5 Relation entre l'activité de l'AChE et le poids (dose létale 2).

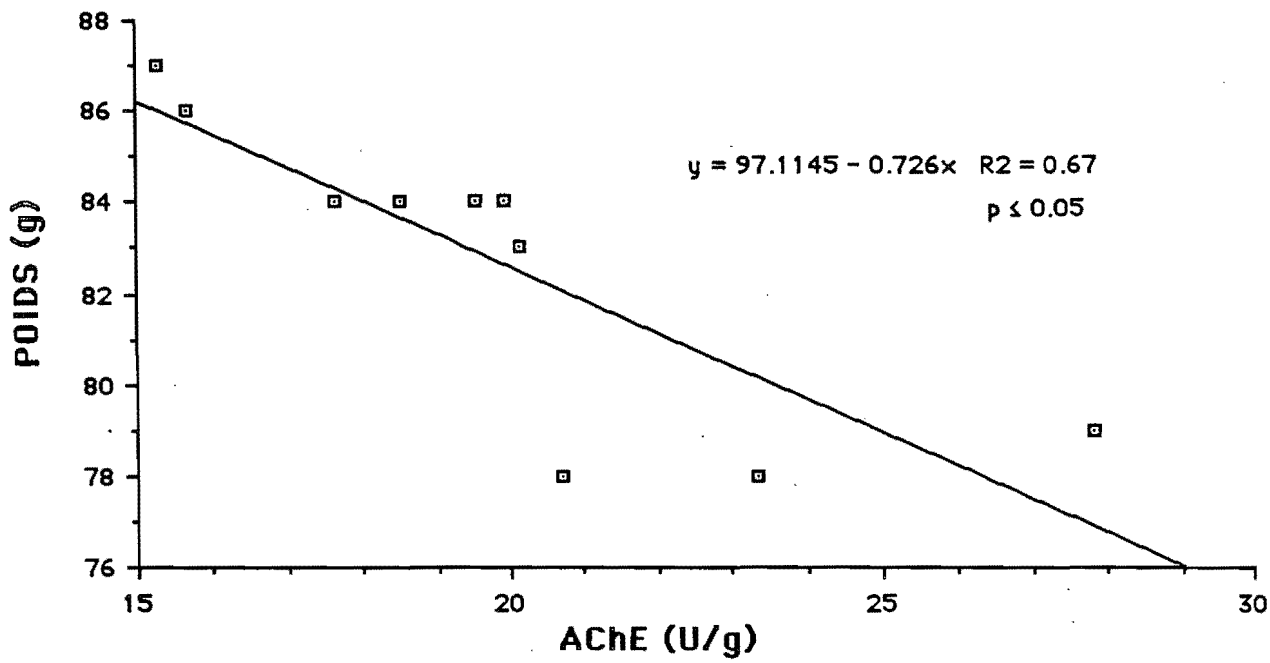


Tableau 6. Niveau de l'AChE du cerveau, poids et durée d'intoxication de Merles d'Amérique du groupe courbe standard (M=mâles, F=Femelles).

	DATES DE RELEVÉS				ANALYSE
	SANG	CERVEAU			AChE CERVEAU
Dates:	27	27	DURÉE	POIDS	moyenne
No.	juin	juin	min	g	U/g
406 M	X	X	20	79	28.19
408 M	X	X	40	81	27.23
403 F	X		60	82	28.01
405 F	X	X	80	86	29.70
420 M		X	100	81	29.17
404 F	X	X	120	88	26.66
402 F	X		140	82	28.66
418 F		X	160	81	27.95
419 M	X	X	180	83	23.73
401 F	X	X	200	83	21.16
407 M	X	X	220	78	21.66
417 F	X	X	240	80	24.48
				moyenne	26.38
				écart type	2.91

Fig. 6 Relation entre la durée d'exposition et l'activité d'AChE (Courbe standard).

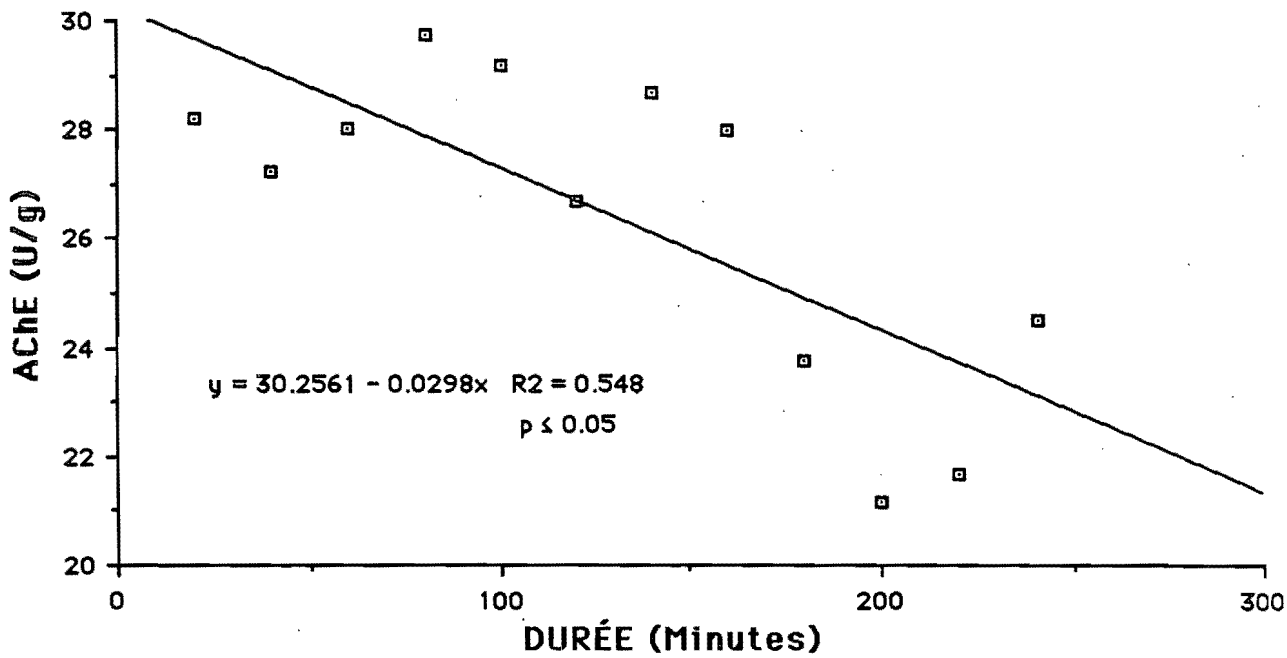
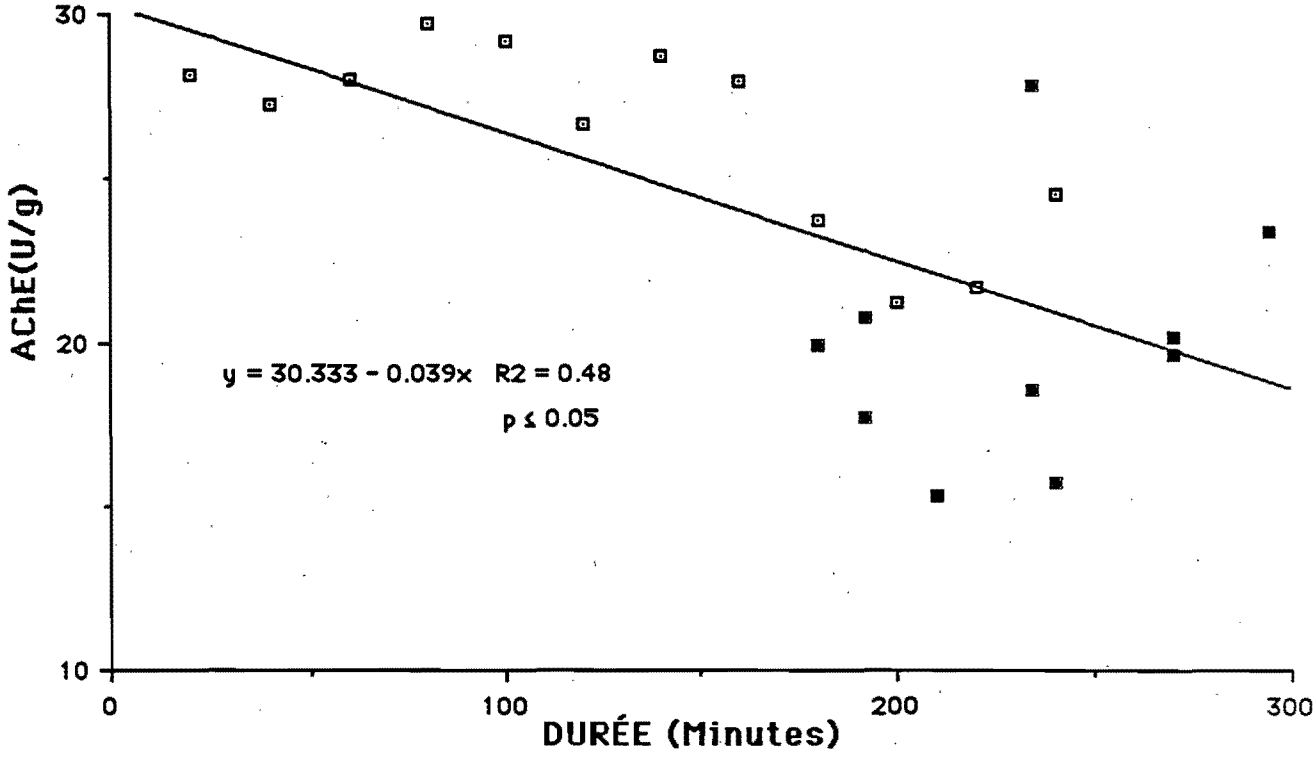


Fig. 7 Relation entre la durée d'exposition et l'activité de AChE (données de la courbe standart(▫) jumelées à celles de l'expérience dose létale 2(■)).



4.0 DISCUSSION

Plusieurs chercheurs ont démontré qu'il existe une relation entre le poids de l'individu et son rang social. L'individu dominant a un poids supérieur à ses subordonnés (Rowell 1974; Harper 1982; Lundberg 1985; Jackson 1988), de même qu'une activité journalière plus intense (Rivault 1981; Brunet 1990). Ainsi, bien qu'aucune donnée comportementale n'aie été recueillie au sujet du rang social, nous pouvons tout de même tenter d'expliquer les résultats de cette façon. Les individus dominants étant plus actifs que les subordonnés, ils étaient vraisemblablement exposés plus fréquemment et donc à une plus grande quantité de chlorpyrifos par unité de temps que les subordonnés. Ainsi, comme le suggère la figure 5, plus le poids de l'oiseau est élevé, plus les symptômes d'intoxication apparaissent rapidement. La durée d'exposition nécessaire pour l'apparition des premiers symptômes se trouve alors fortement influencée par le comportement individuel relié au rang hiérarchique et/ou aux différences morphologiques engendre. Ceci cependant ne semble être vrai que lorsqu'il y a intoxication au-delà d'un certain seuil, car les données sur les oiseaux qui ne présentaient pas d'intoxication (expérience Courbe standard) suivaient plutôt une relation ou plus le temps d'exposition est long plus il y diminution de l'activité d' AChE. On suppose ici que la hiérarchie sociale joue un rôle seulement après que le chlorpyrifos ait commencé à faire effet au niveau comportemental, c'est à dire trois heures après le début de l'exposition. La superposition des données de l'expérience Dose létale 2 et de la Courbe standard entre la troisième et la quatrième heure d'exposition révèle d'autre part des différences dans la réponse des groupes d'oiseaux exposés sous des conditions expérimentales différentes quant à la température et à l'heure du début de l'exposition.

Comme mentionné, des conditions climatiques extrêmes nous ont forcé à recommencer plus d'une fois l'expérience Dose Létale 1. De nombreuses pertes en oiseaux ont empêché de recueillir les données de base. Cependant, des observations comportementales suggèrent que les oiseaux sont plus fortement affectés par le produit à des températures extrêmes. Lors des deux premiers essais, et sous des conditions climatiques différentes, tous les oiseaux s'étaient échappés entre la 20ième et la 24ième heure après le début de l'exposition, sauf 1 qui était mort, dans chaque groupe. A la dernière tentative, et malgré le temps clair et calme, tous les oiseaux étaient morts en moins de 24 heures, alors qu'aucune mortalité ne fut observée dans le groupe témoin. La température minimale avait été alors plutôt froide (1,6°C) pour le mois de juin.

Lors de l'expérience Dose Létale 2, il a fait relativement chaud, soit un maximum de 28,4°C. Bien que le produit se dégrade plus rapidement avec une augmentation de la température, de l'exposition solaire, du pH, ou de l'humidité relative (Brust, 1966; Mortland et Raman, 1967, Smith, 1968, Miles et al. 1983), sa toxicité augmente aussi avec la température (Johnson et Finley 1980). De plus, il serait

absorbé plus rapidement à cause des vapeurs qu'il dégagerait. La chute de l'activité de l'AChE est aussi plus marquée à des températures trop basses (Maguire et Williams 1987), ce qui pourrait expliquer la forte mortalité observée lors de la troisième tentative pour le groupe Dose Létale 1. La différence de résultats entre la troisième et la quatrième heure d'exposition des oiseaux dans les expériences Dose létale 2 et Courbe standard serait aussi expliquée par une différence dans la température enregistrée. L'expérience de la Courbe standard a été effectuée en avant-midi à partir de 8 heures, alors que l'expérience Dose létale 2 a débuté à 13 heures à 28°C. Par conséquent, ces faits nous incitent à recommander de porter une attention toute spéciale à la température puisqu'il semble exister une relation entre les températures extrêmes, la toxicité du produit et la réponse comportementale des oiseaux au niveau d'intoxication.

Bien qu'il semble difficile à première vue de tirer des conclusions claires de ces travaux, la mobilité des individus semble être un facteur important lors de l'évaluation de l'impact du pesticide sur une espèce. Notons ici que les oiseaux n'avaient pas d'autres choix que de marcher sur la pelouse, qu'elle soit contaminée ou non, alors qu'en milieu urbain, l'animal peut toujours aller ailleurs que sur les sites contaminés, en supposant qu'il soit capable de détecter le pesticide et donc de réagir à sa présence. Les différences entre les résultats des expériences Dose létale 2 et Courbe standard révèlent aussi que les oiseaux semblent graduellement affectés, mais qu'il existerait une relation entre la durée d'intoxication et un changement de comportement qui pourrait être dû à la taille et à la dominance des oiseaux. Il serait donc important de poursuivre des expériences en captivité pour vérifier si l'oiseau manifeste une préférence pour les sites non contaminés, en éliminant les facteurs sociaux, et en calibrant le degré de mobilité des individus mis en contact avec le produit.

D'autre part, nous avons soulevé l'effet de la température sur l'absorption du produit. Il nous semble aussi important de poursuivre des recherches en ce sens, pour déterminer des intervalles de température à l'intérieur desquelles l'aplication du produit serait moins toxique pour les espèces non visées. Ceci pourrait devoir modifier les conditions propices aux applications standards, si l'on devait éviter les jours où les températures sont trop chaudes ou trop froides.

Malgré les différents points laissés en suspens, le chlorpyrifos semble toxique d'un point de vue expérimental et physiologique, et pourrait présenter un risque au point de vue écologique pour le Merle d'Amérique. Il serait donc nécessaire de poursuivre des expériences semblables à celle-ci en milieu contrôlé, afin de clarifier certaines questions qui ne pourraient être répondues en milieu naturel, dû au trop grand nombre de paramètres à mesurer et à contrôler.

5.0 RECOMMANDATIONS

L'impact du chlorpyrifos sur le Merle d'Amérique est plus considérable que prévu même à une dose dite normale. Des températures extrêmes semblent avoir des effets sur la vitesse d'intoxication des merles en captivité. La dominance et donc le taux d'activité des merles en grands groupes dans une volière semble aussi avoir un impact sur la réponse individuelle au traitement. Compte tenu de tout ceci, il faudrait procéder à une série approfondie de nouvelles expérimentations concernant quatre aspects bien précis:

- l'effet du comportement individuel sur la vitesse d'intoxication,
- la capacité du merle à choisir entre des sites contaminés ou non,
- l'effet de la température sur le degré d'intoxication,
- l'effet de l'intoxication sur le taux d'activité de l'animal et la durée de récupération suite au traitement.

Le comportement individuel et la vitesse d'intoxication

Aucune donnée comportementale n'a été recueillie concernant le rang social des individus exposés en groupe au produit. Il serait donc important de réaliser une étude détaillée des individus et de leur comportement réactionnel et d'intoxication lorsqu'ils sont exposés au chlorpyrifos un à la fois, étant donné que les merles sont plus souvent territoriaux que grégaires pendant la période d'application du chlorpyrifos. Ceci pourrait se faire par l'exposition individuelle des oiseaux aux mêmes conditions expérimentales que ci-dessus pour mesurer la vitesse et le degré d'intoxication en fonction du taux individuel d'activité et d'exposition réelle au produit sur l'herbe. Un oiseau plus actif devrait être intoxiqué plus rapidement qu'un moins actif, et un oiseau dominant devrait l'être plus qu'un oiseau forcé à exprimer moins d'activités sous le stress d'un dominant. On pourrait ainsi mesurer l'effet du comportement sur l'intoxication.

Capacité de choix entre les sites

Les oiseaux, sous les conditions expérimentales de la présente expérience n'avaient pas le choix entre une pelouse traitée et non traitée, choix qu'ils sont susceptibles d'exercer en milieu urbain. Il faudrait procéder à une étude pour savoir si le merle manifeste une préférence pour les sites non contaminés versus ceux contaminés, et donc s'il peut discerner les endroits traités pendant la période où le produit est le plus toxique, suite à un arrosage.

La température et le degré d'intoxication

La chute de l'activité de l'AChE est plus marquée à des températures basses qu'à des températures élevées (Maguire et Williams 1987). Suite à ces résultats et à ceux préliminaires de la présente étude, une autre étude importante qui devrait être réalisée a trait à l'effet du chlorpyrifos sous différentes températures. Ceci permettrait de déterminer les intervalles de températures qui présentent des risques plus importants de forte intoxication et de mortalité suite à un arrosage en nature. Une telle étude pourrait être conduite dans des chambres à température contrôlée dans lesquelles on mesurerait les taux d'activité des oiseaux sous traitement.

Le taux d'activité et la durée de récupération

Un dernier sujet de recherche permettrait de détecter l'impact d'un traitement sur le taux d'activité des oiseaux et de mesurer la durée de récupération jusqu'au taux initial d'activité endogène en conditions contrôlées, suite au traitement. Cette étude porterait donc sur l'étude des rythmes circadiens des merles sous traitement. Nous avons en effet procédé à une étude[1] analogue sur les rythmes circadiens en utilisant un pesticide, le diméthoate. Les résultats de cette dernière étude démontrent que le diméthoate affecte le taux d'activité et le poids des individus traités, et que les oiseaux ont besoin de plus de dix jours de récupération avant de retrouver leur taux normal d'activité circadienne endogène. Ces résultats suggèrent que de tels animaux seraient assez perturbés en nature suite à un tel traitement. Une étude comparable avec le Merle d'Amérique permettrait de cerner davantage l'impact réel du chlorpyrifos sur l'animal à moyen terme, surtout pour démontrer l'impact comportemental qui affecte directement la survie de l'animal.

6.0 RÉFÉRENCES

Bent, A.C. 1964. Life histories of North American thrushes, kinglets, and their allies. Dover, N.Y. 452 pp.

Brunet, R. 1990. Relations entre les différents facteurs des rythmes circadiens endogènes et la hiérarchie sociale chez le Carouge à épaulettes (Agelaius phoeniceus). Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke (en rédaction).

Brust, H.F. 1966. A summary of chemical and physical properties of Dursban. Down to Earth 22: 21-22.

Dow Chemical Canada. (non daté). Dursban * 2E. Loi sur les produits antiparasitaires. Enregistrement No.10636. Dow Chemical Canada inc., C.P. 1012, Sarnia (Ontario) N7T 7K7.

Ellman, G.L., K.D. Courtney, V. Andres jr. et R.M. Featherstone. 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. Biochem. Pharmacol. 7: 99-95.

Everett, R.W. 1982. Effects of Dursban 44 on semen output of Holstein bulls. Dairy Sci. 65: 1781-1791.

Friedman, J., M. Dison, V. Hanji et M.N. Egyed. 1987. Mass intoxication in pellets caused by an organophosphorous insecticide. ISR J. Vet. Med. 43: 215-216.

Goodman, L.R., D.J. Hansen, D.P. Middaugh, G.M. Cripe et J.C. Moore. 1985. Method for early life-stage toxicity tests using three atherinid fishes and results with chlorpyrifos. Pages 145-154 In : R.D. Cardwell, R.Purdy & R.C. Bahner (eds,). Aquatic toxicology and hazards assessment:seventh symposium. ASTM Spec. Tech. Publ. 854, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.

Harper, D. G. C. 1982 Competitive foraging in mallards: 'ideal free' ducks. Anim. Behav. 30: 575-584.

Hill, E.F. et W.J. Fleming.1982. Anticholinesterase poisoning of birds: Field monitoring and diagnosis of acute poisoning. Environ. Toxicol. Chem. 1: 27-38.

Hudson, R.H., R.K. Tucker et M.A. Haegle. 1984. Handbook of toxicity of pesticides to wildlife. U.S. Fish Wildl. Serv. Resour. Publ. 153, 90 pp.

Jackson W. M. 1988. Can individual differences in history dominance explain the development of linear dominance hierarchies? Ethology 79: 71-77.

Johnson, W.W. et M.T. Finley. 1980. Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates. U.S. Fish Wildl. Serv. Resour. Publ. 137. 98 pp.

Linn, J.D. 1968. Effects of low volume spraying of Dursban and Fenthion on fish. Down to Earth 24: 28-30.

Ludke, J.L., E.F. Hill et M.P. Dieter. 1975. Cholinesterase (ChE) response and related mortality among birds fed ChE inhibitors. Arch. Environ. Contamin. Toxicol. 3 :1-21.

Lundberg, P. 1985. Dominance behaviour, body weight and fat variations, and partial migration in European blackbirds (Turdus merula). Behav. Ecol. Sociobiol. 17: 185-189.

Maguire, C.C. et B.A. Williams. 1987. Cold stress and acute organophosphorus exposure: interaction effects on juvenile Northern Bobwhite. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 16: 477-481.

Miles, J.R.W., C.R. Harris et C.M. Tu. 1983. Influence of temperature on the persistence of chlorpyrifos and chlorfenvinphos in sterile and natural mineral and organic soils. J. Envion. Sci. Health B18: 705-712.

Mortland, M.M. et K.U. Raman. 1967. Catalytic hydrolysis of some organic phosphate pesticides by copper (II). Agric. Food Chem. 15: 163-167.

Nelson, J.H. et E.S. Evans Jr. 1973. Field evaluation of the larvicidal effectiveness. Effects on non-target species and environmental residues of a slow-release polymer formulation of chlorpyrifos. U.S. Army Environ. Hygiene Agency Rep. No. 44-022-73/75. Aberdeen Proving Ground Maryland. 15 pp.

Nolan, R.J., D.L. Rick, N.L. Freshour et J.H. Saunders. 1984. Chlorpyrifos: Pharmacokinetics in human volunteers. Toxicol. Appl. Pharmacol. 73: 8-15.

Odenkirchen, E.W. 1987. Hazards of chlorpyrifos, an organophosphorus pesticide, to natural resources: a review. M.A. Thesis. The American University, Washington, D.C. 63 pp.

Rivault, C. 1981. Rôle des facteurs sociaux sur l'expression de la rythmicité circadienne dans un groupe chez Periplaneta americana (Dictyopt.). Behavior 77: 23-43.

Rowell, T. E. 1974. The concept of social dominance. Behav. Biol. 11: 131-154.

Smith, G.J. 1987. Pesticide use and toxicology in relation to wildlife: organophosphorus and carbamate compounds. U.S. Fish Wildl. Serv. Resour. Publ. £170, 171 pp.

Smith, G.N. 1968. Ultraviolet light decomposition studies with Dursban and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol. J. Econ. Entomol. 61: 793-799.

Tagatz, M.E., N.R. Gregory et G.R. Plaia. 1982. Effects of chlorpyrifos on field and laboratory developed estuarine benthic communities. J. Toxicol. Environ. Health 10: 411-421.

United States Environmental Protection Agency. 1982. Recognition and management of pesticide poisoning. 3rd Edition EPA 540/9-80-005.