

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES ENDECTOCIDES SUR LA PEDOFAUNE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement en 2002
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Benoît, Michel BARBUT

Né, le 12 octobre 1971 à CASTRES (Tarn)

Directeur de thèse : **M. le Docteur Hubert BRUGERE**

JURY

PRESIDENT :

M. Jean-Louis FONVIEILLE

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEUR :

M. Hubert BRUGERE

M. Philippe JACQUIET

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :

Mme Viviane BURGAT-SACAZE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Partie 3/3

TROISIEME PARTIE :

**Les effets constatés dans la nature ;
risque écologique des endectocides**

Après avoir étudié point par point les différents effets constatés des endectocides sur les principaux invertébrés de la pédofaune et donc le danger auquel ils étaient soumis, après avoir précisé les caractéristiques de l'exposition à ce danger quelque peu théorique aux travers de données sur les quantités de résidus présents dans la nature et sur les préférences que peuvent avoir certains insectes vis à vis de bouses riches en résidus d'antiparasitaire, il est désormais temps d'analyser les effets constatés dans la nature.

L'analyse des effets en situation réelle (écosystème pâturage), qui n'est que la résultante de la dangerosité du polluant face au degré d'exposition à celui-ci, correspond à l'analyse du risque écologique réel que représente les résidus d'endectocides contenus dans les bouses d'animaux traités pour le maintien de l'écosystème du pâturage.

L'évaluation du risque pour l'équilibre de l'écosystème pâturé, qui va plutôt se fonder sur des études de terrain, va s'articuler autour des deux grands effets constatés, à cette date, dans la nature : les effets de la présence de résidus sur la colonisation des bouses d'une part, et sur la dégradation de celles-ci d'autre part.

Après avoir exposé les données, nous analyserons les conséquences que peuvent avoir chacun des deux phénomènes en cas d'utilisation généralisée de telles molécules.

Constatons juste que ces effets sont les seuls mesurables à court terme et que l'âge récent des endectocides (20 ans) d'une part et la difficulté et le coût de réaliser des expériences visant à étudier les effets à long terme d'une molécule excrétée dans la nature d'autre part sont des facteurs essentiels limitant notre connaissance en la matière (WRATTEN et FORBES, 1995). Ainsi, même les effets sub-létaux déjà mis en évidence en laboratoire, pourtant aussi présents dans la nature, ne sont pas pris en compte dans la majorité des études suivantes.

I- Effet des résidus sur la colonisation des bouses

Dans la totalité de ce type d'études, les bouses fraîches, issues des différents lots d'animaux, sont immédiatement collectées et, le plus souvent, juste mélangées pour homogénéiser leur densité. Ensuite, des bouses toutes identiques sont reconstituées rapidement en conditions extérieures, au pâturage (même diamètre, même épaisseur...) sur un sol, le plus souvent, juste tondu. Après un temps variable passé en conditions naturelles, mais toujours suffisant pour permettre la colonisation spontanée par les invertébrés présents, les bouses sont ramassées (seules ou avec une certaine quantité du sol sous-jacent). Les différents invertébrés sont ensuite extraits, identifiés (genres, espèces et stades de développement) et comptabilisés. Enfin, une exploitation des données, plus ou moins rigoureuse, aboutit aux conclusions des auteurs.

Même si la colonisation des bouses est une succession d'événements écologiques complexes qui fait intervenir une myriade d'espèces d'invertébrés et de micro-organismes qui se succèdent selon un ordre précis, les

principaux groupes d'invertébrés macroscopiques, assurant principalement une action mécanique essentielle à la poursuite du mécanisme de colonisation, sont toujours représentés par les insectes diptères et coléoptères ainsi que par les vers de terre et nématodes du sol (HERD, 1995 - SKIDMORE, 1991 - Mc CRACKEN et FOSTER, 1993).

C'est pourquoi nous étudierons d'abord les conclusions des études concernant le danger que représente les résidus d'endectocide pour chacun de ces principaux groupes avant de dégager les variations apportées par les différentes formulations et molécules utilisées.

A- Colonisation par les diptères

La totalité des études ayant, à notre connaissance, traité de ce sujet ont constaté une forte toxicité létale des résidus d'endectocides contenus dans les bouses de bovins traités et laissées naturellement au pâturage pour les larves de diptère coprophage, premier chaînon considéré comme essentiel dans la colonisation naturelle des bouses, prémisses à leur minéralisation.

WALL et STONG, dès 1987, publient dans *Nature*, la première étude sur le sujet et constatent déjà que les bouses chargées en résidus laissées au pâturage en Angleterre ne permettent pas le développement des larves de diptères pendant près de 100 jours après l'administration d'un bolus intraruminal aux bovins. Cette étude sera suivie de beaucoup d'autres démontrant la forte sensibilité des larves de diptère même dans les conditions naturelles (MADSEN et col., 1990 - SHAPER et LIEBISH, 1991 - SOMMER et col., 1992 - BARTH et col., 1993 - LUMARET et col., 1993 - STRONG et WALL, 1994 - STRONG et col., 1996).

Selon la nature du climat qui sévit dans les régions expérimentales (Espagne, Angleterre, Allemagne, Danemark), la période durant laquelle les bouses sont rendues stériles à tout développement de diptère après une injection standard d'ivermectine (0,2 mg/kg, SC) varie de 15 jours à un mois (tableau 12).

Tableau 12 : tableau récapitulatif des délais de colonisation des bouses par les larves de diptères constatés après usage des endectocides.

Traitement	Terrain d'expérience	Familles de diptères	Colonisation par les larves de diptères	Référence	Remarque
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Allemagne	Non déterminées	Réduite pendant 3 sem. après traitement	Schaper R. et Liebisch A., 1991	
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Danemark	Cycloraphe Nématocère	Nulle pendant 30 jours après traitement Nulle pendant 1 à 10 jours	Madsen M. et col., 1990	Cycloraphes plus sensibles que Nématocères
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Espagne	Non déterminées	Nulle pendant 10 jours Effet non significatif à 17 jours	Lumaret J.P. et col., 1993	
Ivermectine 0,2 mg/kg injection	Afrique du sud		Effet faible Mais cycloraphes encore affectées à 1 mois	Krüger K. et Scholtz C.L., 1998	
Ivermectine 0,2 mg/kg SC Moxidectine 0,2 mg/kg SC	Angleterre	Cycloraphe Nématocère	Nulle pendant 7 jours Réduite à 21 jours Effet non significatif	Strong L. et Wall R., 1994a	Moindre toxicité de la moxidectine
Ivermectine 0,2 mg/kg SC 0,5 mg/kg pour-on	Danemark	Cycloraphe Nématocère	Nulle pendant 29 jours (traitement SC) Nulle pendant 14 jours (pour-on) Effet non significatif	Sommer C. et col., 1992	Toxicité plus brève du traitement pour-on
Ivermectine bolus intraruminal	Angleterre	Non déterminées	Nulle pendant 60-80 jours Réduite à 120 jours	Wall R. et Strong L., 1987	Longue toxicité du bolus
Ivermectine bolus intraruminal	Allemagne	Non déterminées	Jamais nulle Très réduite (20%) pendant 120 jours	Barth D. et col., 1993	
Ivermectine bolus intraruminal	Angleterre	Cycloraphe Nématocère	Nulle pendant 120 jours Non sensible	Strong L. et col., 1996	

Ces valeurs, relativement proches de celle observées en laboratoire (voir première partie de notre exposé), semblent démontrer, outre la grande sensibilité des diptères, la faible dégradation de l'ivermectine au sein des déjections laissées au pâturage, au moins sous nos latitudes.

Un certain nombre d'études ont mis en évidence une nette disparité entre les deux principales familles de diptères coprophages fréquentant cet écosystème (Cycloraphe et Nématocère) vis à vis de leur sensibilité aux résidus d'endectocide contenus dans les bouses. Ces publications (MADSEN et col., 1990 - SOMMER et col., 1992 - STRONG et col., 1996 - KRUGER et

SCHOLTZ, 1998) concluent toutes à une plus grande sensibilité des larves de diptères cycloraphes par rapport aux diptères nématocères. Ainsi, MADSEN et col. (1990) constatent que les effets inhibiteurs sur le développement des larves de diptères cycloraphes durent pendant 30 jours après l'injection faite aux bovins, alors qu'ils ne durent que 10 jours pour les larves de diptères nématocères. Les données de terrain confirment aussi la plus grande sensibilité encore des diptères muscidés, moins fréquents en nombre mais fortement affectés par les résidus d'endectocides. Ces différences de sensibilité, déjà précédemment mises en évidence avec les espèces de diptère testées en laboratoire (voir en première partie de notre exposé), s'observent aussi dans la nature en révélant une véritable sensibilité de famille plus qu'une sensibilité individuelle d'espèce.

Les effets sur les diptères coprophages adultes, déjà peu importants et difficiles à observer en laboratoire, n'ont fait l'objet d'aucune marque d'intérêt parmi les études concernant la toxicité des bouses d'animaux traités en conditions naturelles.

B- Colonisation par les coléoptères

Comme cela a déjà été constaté dans une majorité d'études réalisées en conditions artificielles (voir première partie de notre étude), les effets visibles sur les coléoptères adultes des résidus d'endectocides contenus dans les bouses au pâturage sont inexistantes dans les études consacrées à ce sujet. Ainsi le niveau de colonisation des bouses issues d'animaux traités par les bousiers adultes est identique à celle des bouses des animaux témoins (SHAPER et LIEBISCH, 1991 - SOMMER et col, 1993a - BARTH et col., 1993 - LUMARET et col., 1993 - STRONG et WALL, 1994 - STRONG et col., 1996).

Néanmoins, certains auteurs constatent des variations dans la colonisation des bouses par les coléoptères adultes qu'ils ne s'expliquent en aucun cas par une toxicité des résidus d'endectocides mais plutôt par la discrimination que les coléoptères adultes seraient susceptibles d'exprimer vis à vis de certains types de bouses. Ainsi, WARDHAUGH et MAHON (1991) et LUMARET et col. (1993) expliquent les variations observées par l'attraction envers les bouses issues de bovins traitées alors que DADOUR et col. (1999) se fondent, eux, sur la répulsivité de ces mêmes dépôts.

L'effet inhibiteur sur le développement des larves de bousiers, déjà précédemment démontré en laboratoire, s'avère aussi réel en conditions naturelles (WALL et STRONG, 1987 - MADSEN et col., 1990 - SOMMER et col., 1992, 1993 a, b - BARTH et col., 1993 - LUMARET et col., 1993 - STRONG et WALL, 1994 - STRONG et col., 1996 - KRUGER et SCHOLTZ, 1998). Les bouses émises autour du moment où la concentration plasmatique en macrolide se situe dans l'intervalle thérapeutique contiennent suffisamment de résidus pour entraîner la mort des larves de coléoptères. Ainsi, dans le cas d'un traitement par injection à la dose recommandée par le fabriquant (0,2 mg/kg), les bouses émises par le bovin traité sont létales, au pâturage (Angleterre), pour les larves de coléoptère

Aphodius spp. durant les 7 jours suivant l'injection (STRONG et WALL, 1994).

Néanmoins, selon les conditions climatiques rencontrées et la plus ou moins grande sensibilité des espèces de bousier présentes, les résultats des études varient quelque peu. A notre connaissance, une seule étude, réalisée en Allemagne (SHAPER et LIEBISH, 1991), conclue à l'absence d'effet des résidus d'endectocides sur la colonisation des bouses par les larves de bousiers (voir tableau 13).

Le tableau récapitulatif suivant (tableau 13) reprend les effets constatés sur la colonisation par les larves de coléoptères dans les études précédemment citées.

traitement	Terrain d'expérience	Colonisation par les larves de coléoptères	Référence	Remarque
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Danemark	Très réduite sur bouse J1 même après 62 jours aux champs Réduite sur bouse J10	Madsen M. et col., 1990	Grande persistance de toxicité en climat froid et sec
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Espagne	Très réduite sur bouses produites entre J7 et J17 même après 23 jours aux champs	Lumaret J.P. et col., 1993	
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Zimbabwe	Très réduite sur bouse J2 et non significatif sur bouse J8 avec <i>Diastellopalpus</i> Nulle sur bouse J8 avec <i>Onthophagus</i>	Sommer C. et col., 1993	Différence de sensibilité entre espèces
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Afrique du sud	Réduite sur bouse J7 même après plusieurs mois Aucun effet sur bouse J30	Krüger K. et Scholtz C., 1998	
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Allemagne	Aucun effet sur la colonisation par les coléoptères	Shaper R. et Liebish A., 1991	
Ivermectine 0,2 mg/kg, SC et 0,5 mg/kg, pour-on	Danemark	Très réduite sur bouses J1-J2 même après 45 jours aux champs Aucun effet significatif sur bouses J13-J14	Sommer C. et Col., 1992	Conséquences identiques avec utilisation injectable et pour-on
Ivermectine 0,2 mg/kg SC Moxidectine 0,2 mg/kg SC	Angleterre	Nulle sur bouse J2 même après 42 jours aux champs Réduite sur bouse J7 Aucun effet sur la colonisation	Strong L. et Wall R., 1994	Moindre toxicité de la moxidectine
Ivermectine bolus	Angleterre	Très réduite ou nulle pendant 100 jours	Wall R. et Strong L., 1994	Toxicité durable du bolus
Ivermectine bolus	Allemagne	Réduite même après 28 jours aux champs	Barth D. et col., 1993	
Ivermectine bolus	Angleterre	Nulle même après 7 jours aux champs Très réduite même après 21 jours aux champs	Strong L. et col., 1996	

Tableau 13 : tableau récapitulatif des effets constatés sur la colonisation des bouses.

C- Colonisation par les nématodes du sol et vers de terre

Concernant les nématodes du sol, SCHAPER et LIEBISH (1991) constatent un effet significatif sur la fréquentation des bouses (à partir du calcul de leur biomasse globale) entre le lot traité (ivermectine 0,2 mg/kg, SC) et le lot témoin et ceci au moment de fréquentation maximale des bouses par les nématodes du sol (3-4 semaines après dépôt).

BARTH et col. (1993) étudient l'effet de l'administration d'un bolus intraruminal d'ivermectine (délivrant approximativement 12 mg/jour pendant 120 jours) à des bovins de 160-200 kg sur la fréquentation de leurs bouses par les nématodes. Ils constatent, après isolement, identification et comptage des nématodes présents dans chaque échantillon de bouse et de sol sous-jacent, une modification relativement nette du profil de fréquentation. La baisse de fréquentation par les nématodes spécifiques de la bouse (*Diplogastridae*, *Panagrolaimidae*) au sein du lot traité semble légèrement bénéficier aux nématodes spécifiques du sol (*Plectidae*, *Diploscapteridae* ...) présents en plus grand nombre.

L'effet nuisible des résidus d'ivermectine sur la colonisation des bouses par les vers de terre a été suspecté par WALL et STRONG (1987) à partir de données recueillies en Angleterre mais faiblement exploitées statistiquement. Depuis, plusieurs études (MADSEN et col., 1990 - SOMMER et col., 1992 - WRATTEN et col., 1993), parfois réalisées sur plusieurs années d'exposition en conditions réelles, ont annoncé l'absence d'effet des traitements du bétail par les endectocides sur la densité de population en vers de terre dans les terrains susceptibles d'être contaminés.

Cependant, du fait des difficultés pour avoir déjà une idée précise de la toxicité aiguë calculée en laboratoire, du fait ensuite de la possible toxicité cumulative aussi abordée en première partie de notre étude et du fait enfin des difficultés matérielles pour étudier de façon rigoureuse l'influence de la seule présence de résidus d'endectocides au pâturage sur la population de vers de terre (migration permanente en fonction de la température, humidité etc...), les conclusions de ces études doivent rester relatives.

En effet, peut-être encore plus ici que pour les autres espèces, la nécessité d'études complémentaires (autant de laboratoire que de terrain) s'avère nécessaire pour juger du danger encouru par les populations de nématodes et de vers de terre, si utiles, surtout sous nos latitudes, à la bonne régénération du sol.

On peut conclure que la colonisation des bouses par les insectes, normalement extrêmement rapide, est nettement retardée (environ 15 jours) en cas de traitement antiparasitaire. Sous la plupart des climats, cette impossible colonisation précoce aboutit au durcissement des bouses en l'état. Dès lors, non seulement les bouses restent plus longtemps à la surface du sol, mais en plus, elles ne seront pas, ensuite, colonisées. C'est donc le cycle reproducteur de nombreux insectes qui est interrompu au niveau de la parcelle.

Présente sous des climats tempérés, la colonisation par les nématodes et les vers de terre, naturellement plus tardive, ne semble que peu affectée par le traitement antiparasitaire.

D- Conséquences possibles

Ces conséquences, liées aux effets létaux et sub-létaux qu'exercent les résidus d'endectocides sur la pédofaune du pâturage, sont suspectées par un grand nombre d'auteurs déjà cités mais aucune étude à ce jour, et à notre connaissance, n'a encore pu confirmer ou infirmer ces hypothèses.

1- Raréfaction voir disparition de certaines espèces

Toutes les espèces sensibles d'invertébrés de la pédofaune sont susceptibles d'être affectées par les résidus d'endectocides contenus dans les bouses mais pour des raisons qui peuvent être différentes. Les bousiers apparaissent comme particulièrement sensibles du fait de leur mode de vie très inféodé aux matières stercorales ainsi que de leur faible capacité de reproduction. Certaines espèces de diptères ou de nématodes du sol pourraient être, elles aussi, menacées de disparition du fait essentiellement de leurs très grande sensibilité à la présence d'endectocide.

Néanmoins, comme le souligne un certain nombre d'auteurs (WARDHAUGH et RIDSDILL-SMITH, 1998 - Mc CRACKEN, 1993 - KRUGER et SCHOLTZ, 1998), ces effets attendus se matérialiseront surtout en cas d'utilisation généralisée et prolongée des endectocides et surtout si la période d'excrétion des résidus couvre la période de reproduction des invertébrés (ce qui est fréquemment le cas sous nos climats tempérés). D'autre part, les dangers de raréfaction ou d'extinction d'une espèce seront plus importants si cette espèce est déjà rare, ultra-spécialisée (certains bousiers ne fréquentent que les déjections de bovins par exemple) et qu'elle vit dans un milieu déjà sensible ou dégradé.

Quoi qu'il en soit, la réduction de la biodiversité dans certains écosystèmes, suspectée mais difficile à démontrer en pratique, est un enchaînement multifactoriel dans lequel l'action des résidus d'endectocides peut avoir un rôle, difficile à dissocier de celui des autres polluants (autres antiparasitaires, insecticides, fertilisants, métaux lourds...), mais qui restera probablement plus modéré que la disparition des écosystèmes pâturés eux-mêmes.

2- Fragilisation des espèces consommatrices

Même si les vertébrés sont réputés directement peu sensibles aux endectocides (mis à part les poissons et les reptiles réputés plus sensibles), certains biologistes craignent une fragilisation de certaines espèces de vertébrés, gros consommateurs d'insectes coprophiles, en conséquence de l'utilisation de plus en plus fréquente d'endectocides (STRONG, 1992 - Mc CRACKEN, 1993 - LECOMTE, 1998).

Ainsi Thierry LECOMTE (1998) rappelle que les coléoptères des bouses notamment, participent à la nourriture de nombreux oiseaux sous nos latitudes (rapaces, pie grièche, huppe fasciée...). De même, certaines espèces de mammifères, visées par l'annexe II de la directive « Habitats », comme les Rhinolophes (chauves-souris), nécessitent à certaines périodes de leur cycle des quantités importantes de coléoptères du Genre *Aphodius*.

En se fondant, là aussi, sur une solide connaissance des régimes alimentaires des espèces citées, Mc CRACKEN (1993) annonce une importante dépendance vis à vis des invertébrés coprophiles, considérés comme une part essentielle de leur alimentation à certaines périodes (nourrissage notamment), chez un certain nombre d'oiseaux (étourneau sansonnet, corbeau freux, choucas des tours, crave à bec rouge, vanneau huppé...) et de mammifères (chauve-souris, hérisson, musaraigne, blaireau...). Même si ces auteurs reconnaissent la nécessité d'études ciblées pour confirmer leurs hypothèses, ils estiment qu'un danger non négligeable existe pour ces espèces insectivores, du fait de la raréfaction de leurs ressources alimentaires sensibles aux résidus d'endectocides.

3- Prolifération de certaines espèces parfois nuisibles

Nous savons désormais que tout écosystème est un équilibre complexe et fragile au sein duquel la disparition d'une seule espèce assurant souvent une fonction bien précise peut avoir des conséquences insoupçonnées. L'écosystème prairial, développé grâce aux fèces, n'échappe pas à cette règle.

Sous la demande d'une agriculture fortement handicapée par la présence de mouches coprophiles proliférant en grand nombre dans certaines régions d'Australie, de nombreux chercheurs ont étudié, dès les années 1960, les interactions animales au sein des matières fécales. Très rapidement, la dégradation rapide des bouses par les coléoptères est apparue comme le meilleur contrôle de la population de mouche (*Musca vetustissima*, *Haematobia irritans*). Ainsi, BORNEMISSZA (1970) démontre clairement que la vitesse de colonisation des bouses par le coléoptère fouisseur *Onthophagus gazella* est le facteur essentiel du contrôle de l'émergence des mouches (*Musca vetustissima*). Si la moitié de la bouse est enfouie dans les 24 premières heures suivant le dépôt, seules quelques mouches adultes émergeront. Si la dégradation est plus rapide, l'émergence des diptères est réduite à zéro. RIDSILL-SMITH et MATTHIESSEN (1988) confirment sur le terrain, en Australie, l'efficacité du travail d'*Onthophagus binodis* et *Oniticellus pallipes*, abondant durant la période d'émergence des diptères, pour maîtriser naturellement la population de ces insectes nuisibles.

L'activité des résidus d'endectocides contenus dans les bouses des animaux traités à l'encontre des bousiers a donc été, très tôt, perçue comme un risque de rupture de cet équilibre par les chercheurs australiens en particulier. Même si, face à cette menace, les autorités australiennes ont réglementé l'usage des avermectines, SPRATT (1997) rappelle encore récemment, dans un article sur le maintien de la biodiversité et la définition du point de non-retour dans l'usage des vermifuges, que les résidus d'avermectines sont

actifs contre de nombreux coléoptères (RONCALLI, 1989 - HOULDING et col., 1991 - RIDSDILL-SMITH, 1991), introduits spécifiquement en Australie et aux USA pour contrôler l'invasion de mouches.

De même, STRONG et JAMES (1993), après avoir démontré l'importance des effets nuisibles des résidus d'endectocides sur les larves de diptère *Scatophaga stercoraria*, principaux décomposeurs des bouses au pâturage, se pose la question des conséquences de la raréfaction des adultes, non nuisibles pour l'agriculture. En effet, les adultes *Scatophaga stercoraria* sont probablement les insectes prédateurs les plus importants de l'écosystème pâturé (SKIDMORE, 1991) et exercent une forte influence sur les populations d'insectes (parfois nuisibles comme *Lucilia cuprina*) du pâturage.

II- Effet des résidus sur la dégradation des bouses

Même si la disparition des bouses ne correspond pas en fait la véritable décomposition de celles-ci au sens de la minéralisation des matières carbonées (KING, 1993a), cette approche est utilisée par de nombreux auteurs pour matérialiser les effets des résidus d'endectocide sur les invertébrés de la pédofaune.

Le sujet est néanmoins très controversé à cause de la diversité des résultats obtenus sous différentes conditions expérimentales. En effet, il y a tout autant d'études pour démontrer, en conditions naturelles, l'effet des résidus d'endectocides contenu dans les bouses sur le ralentissement de la dégradation de celles-ci (ANDERSON et col., 1984 - WALL et STRONG, 1987, 1988 - MADSEN et col., 1990 - SOMMER et col., 1992 - STRONG et col., 1996 - DADOUR et col., 1999)

que d'études pour démontrer l'absence d'effet sur la dégradation (JACOBS et col., 1988 - Mc KEAND et col., 1988 - SCHAPER et LIEBISCH, 1991 - WRATTEN et col., 1993 - BARTH et col., 1993).

Comment expliquer une telle hétérogénéité dans les résultats obtenus ?

A- Un effet variable selon le climat

En fait, la dégradation naturelle de bouses résulte d'une série complexe d'événements à la fois biologiques, certes, mais aussi et surtout physiques et mécaniques (HALLEY et col., 1993, DICKINSON et col., 1981 - BARTH, 1993). Ainsi, la vitesse de dégradation des bouses est extrêmement variable et dépend d'une multitude de facteurs, qui ont chacun une importance relative différente en fonction de chaque situation. HERD (1995) estime à huit le nombre de facteurs influençant la dégradation naturelle des bouses chargées en résidus d'endectocides. Huit facteurs que l'on peut regrouper en quatre catégories ; les caractéristiques du traitement antiparasitaire, la richesse de la faune du sol au pâturage, le climat et la saison, et enfin le protocole expérimental.

Pour de nombreux auteurs, les facteurs climatiques sont ceux qui ont la plus grande influence et la plus grande diversité (humidité, température, pluie, gel, vent, déshydratation, microclimat...). C'est pour cette raison que, comme le constate BARTH (1993), les résultats des différentes études ne sont pas ou peu comparables entre eux.

Néanmoins les résultats de ces expérimentations ont tous leur importance et il est possible de conclure quant aux effets des résidus d'endectocides sur la dégradation naturelle des bouses. Parmi les multiples facteurs influants, l'action biologique, avec en tout premier lieu l'action des invertébrés objets de notre étude, a son importance.

Mais cette importance est relative en fonction de chaque cas.

En effet, les faiblesses de la dégradation biologique, éventuellement provoquées par la présence de résidus d'endectocides, peuvent être largement masquées (visuellement ou statistiquement) par l'importance des facteurs climatiques et mécaniques, s'ils sont très en faveur de la dégradation.

Ainsi, sous des climats tempérés (comme on les rencontre aux USA et en Europe par exemple), les facteurs climatiques, certes variables selon la saison, sont plutôt en faveur d'une dégradation rapide des bouses. Au point que les effets de la faune du sol sur la dégradation des bouses, étudiés par DICKINSON et col. (1981) dans les conditions naturelles du pâturage en Angleterre, se sont avérés statistiquement nuls, face aux différents facteurs climatiques.

Par contre, sous les climats plutôt de type méditerranéen (comme en Australie, certaines régions d'Afrique ou en Europe du sud), où les conditions climatiques sont peu favorables à la dégradation naturelle des bouses, l'importance de l'action biologique est primordiale. Ainsi, dans des conditions similaires à l'étude de DICKINSON et col. (1981), LUMARET et KADIRI (1998) ont étudié l'action des invertébrés de la pédofaune sur la dégradation des bouses, dans le sud de la France cette fois. Les bouses recouvertes d'un treillage métalliques excluant les bousiers pendant un mois nécessitent de 1,7 à 2,2 fois plus de temps pour se décomposer que des bouses librement exposées aux insectes dès le moment de leur dépôt. L'effet des résidus d'endectocides sur la dégradation des bouses, par l'intermédiaire d'une moindre colonisation de celles-ci, n'apparaît donc significatif que sous ce type de climat.

Cependant, les importantes variations dans les effets des résidus d'endectocides sur la dégradation naturelle des bouses selon les grandes régions climatiques peuvent avoir une autre part d'explication. Dans les régions tempérées, où le climat à lui seul permet d'expliquer la dégradation rapide des bouses, les principaux acteurs de la dégradation biologique des déjections des herbivores sont les lombriciens et les bactéries (DICKINSON et col., 1981 - HALLEY et col., 1993), groupes biologiques peu sensibles aux résidus d'endectocides. Par contre, dans les régions plus arides, où la dégradation naturelle des bouses doit beaucoup aux facteurs biologiques, les acteurs principaux sont ici les coléoptères bousiers (HALLEY et col., 1993 -

LUMARET et KADIRI, 1998). Ainsi, durant la saison sèche sous les tropiques, les bousiers rouleurs et fousseurs sont capables de dégrader en totalité une bouse de grand herbivore en 24 heures après son dépôt (PUTMAN, 1983). Ces espèces étant plus sensibles aux résidus d'endectocides, la dégradation des bouses issues d'animaux traités, particulièrement dans les régions sèches, s'en trouve réellement ralentie (WARDHAUGH et RODRIGUEZ-MENENDEZ, 1988 - DADOUR et col., 1999).

Tableau 14 : tableau récapitulatif reprenant les effets constatés du traitement endectocide sur la dégradation des bouses dans les études précédemment citées.

Traitement	Terrain d'expérience	Saison	Climat	Facteurs biotiques particuliers	Effets sur dégradation des bouses	Référence
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Australie	Février	Chaud, sec	Importance des coléoptères	Non significatif à J3 et J15 Significatif entre J7 et J10	Dadour I.R. et col., 1999
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Danemark	Mai, Août	Frais, humide	Diversifié	Significatif à J1 et J20 Non significatif à J30	Madsen M. et col., 1990
Ivermectine 0,2 mg/kg SC 0,5 mg/kg pour-on	Danemark	Août	Frais, humide	Peu de vers	Significatif sur bouses J1-J2 Significatif jusqu'à J13-J14	Sommer C. et col., 1992
Ivermectine bolus	Angleterre	Juin, Juillet	Tempéré	Diversifié	Témoin largement dégradé à 100 jours Lot traité encore intact	Wall R. et Strong L., 1987
Ivermectine bolus	Angleterre	Mai, Juin	Tempéré		Témoin bien dégradé à 42 jours Lot traité encore intact	Strong L. et col., 1995
Ivermectine	Amérique du nord	Mai	Continental	Importance des Coléoptères	Délais passent de 1-2 ans à 3-4 ans	Anderson J.R et col., 1984
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Allemagne	Juin à Octobre	Tempéré		Aucune influence significative à 8 sem.	Shaper R. et Liebisch A., 1991
Ivermectine 0,2 mg/kg SC	Zimbabwe	Janvier à Mars	Saison des pluies	Importance des coléoptères	Aucune influence significative	Sommer C. et col., 1993
Ivermectine 0,5 mg/kg pour-on	Ecosse	Juin à Septembre	Précipitations fréquentes	Importance des vers	Aucune influence significative à 8 sem.	McKeand J. et col., 1988
Ivermectine 0,5 mg/kg pour-on	Angleterre	Mai			Aucune différence avec oxfendazol	Jacobs D.E. et col., 1988
Ivermectine Bolus SC	Angleterre	Juin à Septembre			Aucune influence significative	Wratten S.D. et col., 1993
Ivermectine bolus	Espagne du sud	Juin à Août	Chaud et sec		Faible différence non significative	Barth D ; et col., 1993

Une étude concernant la dégradation naturelle des bouses contenant des résidus d'endectocides est restée à l'écart de notre analyse. Réalisée en saison intermédiaire en Australie, l'étude de WARDHAUGH et MAHON (1991) conclue à une dégradation plus rapide des bouses issues d'animaux traités (seule étude, à notre connaissance, à aller dans ce sens). Ce phénomène étant lié, selon les auteurs, à l'augmentation de l'activité des bousiers, elle-même due à la nature attractive des bouses fraîches contenant des résidus d'abamectine (phénomène démontré dans l'étude).

On peut donc conclure, essentiellement sous des climats chauds et secs, à un fort ralentissement de la disparition des bouses. En effet, la conjonction des facteurs climatiques et de la forte sensibilité aux résidus des insectes (principaux décomposeurs sous ces climats), aboutit à une accumulation des déjections au pâturage. Sous des climats tempérés, le rôle important joué par les facteurs abiotiques ainsi que par les vers de terre (peu sensible aux résidus d'endectocides) dans la dégradation des bouses, peut aller jusqu'à effacer totalement les conséquences du traitement antiparasitaire sur la pédofaune.

B- Conséquences possibles

Les conséquences de l'accumulation et du ralentissement de la minéralisation des bouses ont été étudiées par différents auteurs, en dehors et dans le contexte de l'utilisation des endectocides (FINCHER, 1981 - WALL et STRONG, 1987 - HERD et col., 1993a...).

1- Diminution de la surface pâturée

La première conséquence d'une accumulation des déjections du bétail peut être la réduction de la surface pâturée.

Alors que ce phénomène peut être critique sous des climats relativement arides (dans certaines régions d'Australie par exemple), il est de moindre ampleur sous des climats tempérés.

Néanmoins quelques auteurs ont étudié les conséquences indirectes que pourrait avoir l'utilisation des endectocides, chez différentes espèces, sur la perte des surfaces pâturées (EWERT et col., 1991 - KING, 1993 - HERD et col., 1993a - WRATTEN et col., 1993).

EWERT et col. (1991) et HERD et col. (1993a), chez le cheval, constatent, dans les deux cas aux USA, une moindre dégradation des crottins issus du lot traité, mais n'aboutissent pas, tous les deux, à la même conclusion. Pour HERD, la perte de la surface pâturée au sein de la parcelle abritant des animaux traités, mathématiquement calculée, revient au triple de celle perdue par le lot témoin. Pour EWERT, par contre, les prises de vues aériennes confirment que les chevaux ont plutôt pour habitude de déféquer dans des zones préférentielles, limitant ainsi de beaucoup la perte de surface pâturée. Alors que KING (1993) aboutit aux mêmes conclusions, chez le mouton et en Australie, les auteurs évitent de généraliser ces conclusions

aux bovins notamment, qui n'ont pas pour habitude d'élire des zones préférentielles pour le dépôt de leurs excréments.

A notre connaissance, la seule étude concernant les bovins est celle de WRATTEN et col. (1993), réalisée sur plusieurs années en Angleterre. Les auteurs concluent, sous ce type de climat, au non-ralentissement de la dégradation des matières stercorales contenant des avermectines et donc ne constatent pas de réduction de la surface pâturée.

2- Baisse de la croissance végétale

Une seconde conséquence du ralentissement de la minéralisation des bouses a été évoquée par différents auteurs (KING, 1993b - HERD, 1995 - ANDERSON et col., 1984 - SOUTHCOTT, 1980). Elle concerne une éventuelle moindre croissance végétale des zones pâturées, due à un moins bon fonctionnement des cycles de minéralisation, lui-même dû à l'utilisation régulière d'antiparasitaire.

La théorie évoquée par ANDERSON et col. (1984) est étudiée en détail par KING (1993b). Les différents cycles de minéralisations (phosphore, soufre, azote) ne sont pas directement affectés par la présence de résidus d'endectocides (aucune action antibactérienne reconnue) mais la moindre dégradation des excréments par les invertébrés coprophiles pourrait ralentir le fonctionnement de ces cycles, indispensable à la croissance végétale.

Aucune étude, à notre connaissance, n'a étudié les effets de cette théorie concernant les avermectines sur le terrain.

Néanmoins, avant même la commercialisation des avermectines, SOUTHCOTT (1980), avait comparé deux parcelles jointes, pâturées par des moutons pendant 20 ans.

Une sur laquelle les ovins sont justes complémentés en sel (pierre à lécher), l'autre sur laquelle les pierres à lécher contiennent, en plus, de la phénothiazine. Il concluait que le dépôt de grandes quantités de phénothiazine, ou de ses métabolites excrétés, semblait responsable d'une réduction significative de la croissance végétale (surtout des crucifères) du pâturage ainsi que de la prise de poids des animaux.

Seules des constatations, rigoureusement encadrées, faites sur de nombreuses années, pourraient vérifier cette hypothèse avec l'utilisation des endectocides.

3- Augmentation du parasitisme

FINCHER (1981) et LUMARET (1993), outre les conséquences de la moindre dégradation des bouses par les coléoptères sur la diminution des surfaces pâturées et le moindre recyclage de l'azote notamment, évoquent les conséquences possibles sur l'augmentation du parasitisme. En effet, en se nourrissant des bouses et en les asséchant plus vite, les bousiers désorganisent les cycles des parasites helminthes et diptères notamment dont les œufs éclosent dans les bouses. De plus, le brassage mécanique qu'ils

font subir aux excréments induit une forte mortalité des larves éclosent et de ce fait ils réduisent l'incidence des parasites sur les bovins. Ici aussi, vérifier de telles hypothèses allant à l'encontre des pensées et des pratiques collectives, nécessiterait des énergies difficilement mobilisables.

III- Un risque écologique variable en fonction de la formulation et de la molécule utilisée

A- Influence de la formulation

Que ce soit à cause de la toxicité cumulative des résidus d'endectocides (mise en évidence chez les coléoptères et les vers de terre) ou bien du blocage de la reproduction imposée aux insectes notamment, la durée d'excrétion des résidus par le bovin après traitement joue un rôle capital chez toutes les espèces objets de notre étude.

Ainsi, les études ont démontré de grandes variations dans les conséquences des différents traitements endectocides des bovins, du fait principalement de la durée d'excrétion des résidus.

En effet, les effets sur la pédofaune d'un traitement des bovins par bolus intraruminal se matérialisent durant toute la durée de distribution de la molécule, soit environ 120 jours (WALL et STRONG, 1987 - BARTH et col., 1993 - STRONG et col., 1996). Les bouses de bovins ainsi traités empêchent tout cycle de reproduction des coléoptères et des diptères cycloraphes notamment durant toute cette période. En cas de concordance entre la période de traitement des bovins et la période de reproduction des insectes, les conséquences ne peuvent qu'aboutir à une fragilisation des espèces concernées.

Les dangers pour la pédofaune que représente l'utilisation de la formulation en pour-on ont été étudiés, en situation réelle, par SOMMER et col. (1992). Comparée à la formulation injectable, il découlerait de la formulation en pour-on une excrétion dans le milieu naturel de plus courte durée, même si le pic d'excrétion est plus élevé en cas d'utilisation de pour-on. Les conséquences environnementales d'un tel traitement seraient donc moindres, notamment pour les diptères, sensibles à des doses faibles de résidus. Ainsi, le développement des larves de diptères cycloraphes est inhibé pendant 30 jours après traitement par voie injectable alors que cet effet ne dure que 14 jours en cas d'un traitement pour-on. Néanmoins, les conclusions récentes de LAFFONT et col. (2001), concernant la grande variabilité de la dose réellement absorbée suite à une administration pour-on peuvent remettre en cause la moindre toxicité d'un tel traitement. En effet, les auteurs constatent que, chez des bovins au comportement lécheur, la majorité de l'ivermectine déposée sur le dos de l'animal est, en fait, absorbé par l'animal par voie orale. Du fait de la forte excrétion sous forme parentale d'un traitement aux avermectines par voie orales, les auteurs constatent que 70% de la dose administrée par pour-on se retrouve sous forme inchangée dans les bouses des bovins lécheurs pour seulement 6.6% au sein de l'échantillon contraint à ne pas se lécher.

B- influence de la molécule

Même si l'ivermectine est encore la molécule macrolide la plus utilisée, elle apparaît comme étant celle qui possède le plus d'effet néfaste sur les invertébrés de la pédofaune.

L'excrétion urinaire sous forme de métabolites hydroxylés, plus rapidement dégradés dans la nature, est en effet inexistante dans le cas de l'ivermectine. Les moindres capacités insecticides des milbémycines mais aussi l'excrétion sous la forme hydroxylée, plus présente dans le cas de la moxidectine par exemple, semble être responsable d'un moindre danger pour la pédofaune dans l'utilisation de cette molécule. Cette constatation, déjà faite en milieux artificiels par de nombreux auteurs (FINCHER et WANG, 1993, DOHERTY et col., 1994, LUMARET et KADIRI, 1998), a été confirmée en conditions naturelles par STRONG et WALL dès 1994(ab). Les auteurs comparent, dans des conditions similaires de pâturage en Angleterre, les effets sur la colonisation des bouses d'un traitement des bovins par injection standard, soit d'ivermectine, soit de moxidectine. Les résultats sont éloquentes. Les bouses issues de bovins traités à l'ivermectine inhibent le développement des larves de coléoptères *Aphodius* pendant au moins 7 jours après traitement et les larves de diptères cyclorraphes pendant au moins 14 jours. Les bouses issues de bovins traités à la moxidectine permettant le développement des coléoptères comme des diptères, de manière identique au lot témoin (bouses issues de bovins non traités).

On constate donc, que les conséquences d'un traitement endectocide, comme pressenti à partir des données établies en laboratoire, sont largement majorées par l'utilisation d'endectocides de la famille des avermectines. Plus encore, si on utilise une forme à libération prolongée de type bolus intraruminal.

Pour conclure, il semblerait que, dans les conditions naturelles, même si les conséquences de l'usage des endectocides sur la dégradation des bouses peuvent passer inaperçues (climats tempérés), les conséquences sur les invertébrés coprophages n'en sont pas moins présents.

QUATRIEME PARTIE :

**Toxicité des résidus d'endectocides :
conséquences et recommandations**

Une prise de conscience tardive en Europe

Lorsque, en janvier 1788, les premiers colons anglais débarquent en Australie avec 5 vaches, 2 taureaux, 7 chevaux et 44 moutons, ils n'imaginent pas que l'immense territoire qui s'ouvre à eux n'est tout simplement pas « équipé » pour éliminer les excréments des gros mammifères que sont notamment les bovins. On trouve pourtant près de 300 espèces de bousiers en Australie, mais ils sont spécialisés. En effet, il y a eu une coévolution entre les bousiers autochtones et la faune marsupiale. Habités à des excréments secs et fibreux, ces insectes n'ont donc pas touché aux autres bouses, riches en eau, volumineuses, dotées d'un pH et d'une odeur différente. Ainsi, aidées par un climat sec, les bouses sont restées sur place pendant de longues années.

Mais dans les années 1960, le cheptel bovin d'Australie comptait près de 30 millions de têtes produisant quelque 40 millions de tonnes de bouse par an. Or ces excréments mettent de 2 à 7 ans à disparaître selon les endroits. L'Australie perdait ainsi près de 1 million d'hectare de pâturage par an du fait du non recyclage des excréments par les insectes coprophages. En réaction, les éleveurs élargissaient leurs pâturages vers des zones plus arides, mais aussi plus fragiles sur le plan écologique, réduisant d'autant l'espace réservé à la faune sauvage. Dernière conséquence du manque d'insecte coprophage, des milliards de mouches (*Musca vetustissima* et *Haematobia irritans*) se sont installées en maîtres du territoire infesté, rendant à force de piqûres, le bétail nerveux et moins performant (WARDHAUGH et RIDSDILL-SMITH, 1998). A la catastrophe naturelle risquait de s'ajouter une catastrophe économique.

L'Australie a donc réagi en décidant d'introduire des bousiers allochtones spécialisés dans les excréments de bovin. Une cinquantaine d'espèces de bousiers ont été sélectionnées en Afrique et dans tout le pourtour méditerranéen et élevées dans deux fermes, l'une en Afrique du Sud, l'autre à Montpellier, avant d'être relâchées sur le terrain, pendant plus de 10 ans, au terme d'un véritable « pont aérien ».

Financé par les éleveurs à hauteur de 1 dollar australien par tête de bétail, ce programme, réalisé par le C.S.I.R.O (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), a duré 15 ans (de 1970 à 1985), pour un coût total de près de 2 milliards de francs.

Après l'implantation définitive d'environ la moitié des espèces introduites, le bilan de l'opération est un franc succès même si le problème de la prolifération des mouches n'est pas complètement résolu.

Cette expérience coûteuse a rendu les australiens conscients de la valeur de ces insectes.

Quant aux américains, ils ont calculé dans la foulée, que si les bousiers venaient à disparaître, il leur faudrait dépenser 2 milliards de dollars par an en engrais supplémentaires, interventions techniques et multiplication des traitements sanitaires du bétail, pour les remplacer.

Toujours est-il qu'aujourd'hui, les australiens sont très attentifs à tous les produits qui peuvent s'avérer toxiques pour leurs insectes et lorsque la firme Merck a mis l'ivermectine sur le marché, les Australiens ont obtenu pour le

marché australien, après étude comparée, une molécule un peu moins toxique, l'abamectine, tout simplement parce qu'ils avaient déjà payé une première fois le prix du bousier.

En Europe, la prise de conscience a été plus tardive. Une directive européenne de 1993 () subordonne désormais les autorisations de mise sur le marché des produits vétérinaires à une étude préalable d'impact sur la faune des insectes coprophages. On ne peut que regretter que le bolus intraruminal d'ivermectine, formulation de loin la plus toxique pour la pédofaune coprophage, ait été mis sur le marché juste avant que n'entre en vigueur cette fameuse directive. En 1998, l'INRA a enfin présenté un projet d'évaluation de l'impact sur l'environnement de l'utilisation du bolus d'ivermectine qui devrait rassembler des pharmacologues, des entomologistes, des spécialistes de la faune microbienne du sol ainsi que des parasitologues. Les résultats ne sont pas attendus avant quelques années.

Néanmoins, l'industrie pharmaceutique commence à prendre conscience du problème. Le laboratoire Fort Dodge a même axé sa campagne publicitaire 1999-2000 sur le côté « propre », non toxique, de son nouvel endectocide, la moxidectine, pour tenter de sensibiliser vétérinaires et éleveurs. Mais la route sera longue, surtout qu'au sein des endectocides, le coût de la molécule sera toujours en faveur des molécules les plus anciennes, démontrées les plus toxiques.

Le cas particulier des zones sensibles

Il semble probable que sous nos latitudes, dans la majorité des situations d'élevage, l'usage raisonné des endectocides, limité aux jeunes animaux du troupeau, n'induit que de faibles conséquences immédiates sur la pédofaune coprophage. Néanmoins, il existe des territoires plus sensibles où l'usage même des endectocides devrait être soumis à réflexion. Les zones sensibles vis à vis de l'usage des endectocides sont, à nos yeux, essentiellement de deux types, diamétralement opposés. D'un côté, les écosystèmes déjà partiellement dégradés, dans lesquels la biodiversité est déjà faible, de l'autre, des écosystèmes aujourd'hui souvent préservés et protégés pour la richesse de leur faune et de leur flore.

Comme les décrivent SPRATT (1997) et WARDHAUGH et RIDSDILL-SMITH (1998), les écosystèmes à faible biodiversité sont particulièrement sensibles aux effets des résidus d'endectocide du fait de leur faible résilience caractéristique. La résilience pouvant se définir par rapport au niveau de stress (par exemple, la réduction de la population, en nombre ou en pourcentage) qu'une population, végétale ou animale, peut supporter avec une possibilité de récupération (FORBES et FORBES, 1997). Ainsi, les populations qui se re-équilibrent après une forte perturbation sont dites résilientes, ce qui est rarement le cas dans les écosystèmes à faible biodiversité.

A l'opposé, les écosystèmes à fort intérêt faunistique et floristique, faisant souvent l'objet d'une protection environnementale (parcs nationaux, parcs naturels régionaux, réserves naturelles...) sont aussi des zones sensibles. Dans ce cas, même si le niveau élevé de biodiversité permettrait théoriquement de mieux supporter les effets toxiques des résidus d'endectocides, l'usage de ces molécules est largement contesté par les gestionnaires, surtout lorsqu'elle revêt un caractère obligatoire. En effet, un des buts primordiaux qui ont présidé à la création de ces structures, directement ou indirectement financées par l'état ou les collectivités territoriales, est justement la préservation voir la restauration de cette biodiversité. C'est précisément dans cet objectif, que depuis 20 ans, de nombreux gestionnaires de parcs naturels ont introduit des troupeaux de grands herbivores (bovins, ovins, équins...), souvent de races rustiques. On sait aujourd'hui que les milieux ouverts (prairies, alpages, pelouses...) sont beaucoup plus riches en biodiversité que les milieux fermés (forêts...) or l'herbivore est un facteur clé du maintien des milieux ouverts en luttant efficacement et naturellement contre l'enfrichement. En effet, plus que toute autre technique de gestion mécanique (fauche ou broyage), chimique ou physique (feu), ces herbivores permettent aux écosystèmes d'exprimer leur potentiel de biodiversité par les nombreuses biocénoses induites, comme celle développées grâce aux fèces, peut-être la plus significative (LECOMTE, 1998).

Mais pour tous ces élevages, à vocation bien particulière, se pose tôt ou tard la question du déparasitage. Selon l'expérience accumulée par le groupe « pastoralisme » des réserves naturelles de France, qui fédère les gestionnaires adeptes de cette pratique, ces animaux, élevés en milieu très extensifs, sans aucun objectif de rendements ne présentent en réalité souvent qu'un parasitisme résiduel bien dominé, même en l'absence de tout traitement antiparasitaire. Dès lors, les traitements antiparasitaires et surtout à base d'endectocides sont considérés comme nuisant gravement aux objectifs de maintien de la biodiversité au sein des parcs naturels et sont donc, le plus souvent, proscrits.

Pourtant, et c'est là qu'un problème se pose, l'arrêté ministériel du 4 novembre 1994 et qui a pris effet le 1^{er} juillet 1998, concerne l'obligation faite à tous les détenteurs de bovins, d'éradiquer le varron (*Hypoderma lineatum* et *Hypoderma bovis*) à l'aide d'organophosphorés ou de vermifuges endectocides (ivermectine en tête), mesure s'appliquant aussi aux troupeaux des réserves naturelles.

Motivés par des objectifs biologiques mais aussi philosophiques, un certain nombre de gestionnaires ont refusé d'appliquer la réglementation et de traiter les animaux contre le varron, ce qui leur a valu d'être cités à comparaître devant des tribunaux administratifs.

Recommandations dans l'usage des endectocides

Sans écarter totalement les réflexions légitimes et le débat indispensable sur le possible retour à une agriculture plus à l'écoute des possibilités que lui offre la nature, et donc ici sur l'utilisation non indispensable des antiparasitaires en élevage, qui ne sont pas l'essentiel du propos de ce travail

de recherche, il nous semble plus de notre mission aujourd'hui d'établir des recommandations dans l'usage des endectocides, en direction autant des prescripteurs que des utilisateurs.

La première recommandation, à vocation plus générale, porte tout de même, sur la limitation possible de l'usage des antiparasitaires internes et des insecticides. En effet, un certain nombre de pratiques ou de voies de recherche sont à développer pour limiter l'usage de ces molécules. Concernant les antiparasitaires internes, HERD (1993) nous rappelle l'importance de l'hygiène du pâturage en condition intensive (débourrage), mais aussi d'une bonne gestion des pâturages (rotation des parcelles, succession des tranches d'âges, alternance entre différentes espèces). D'autres voies, aux conséquences moins immédiates, méritent aussi toute notre attention : contrôle biologique des parasites (fongiques, insectes...), sélection de races naturellement résistantes aux parasites, développement des vaccins antiparasitaires (WALLER, 1993 - HERD et col., 1993b - HERD, 1995).

Pour limiter l'usage des insecticides et des macrolides en particulier, beaucoup utilisés aussi en productions végétales (coton, maraîchage...), l'utilisation des pièges à phéromones, des lâchés d'insectes stériles ou des moyens de contrôle biologique (prédateurs, parasites, compétiteurs ou pathogènes) sont des pistes à explorer (LIEBISCH, 1996 - STRONG et WALL, 1990).

Néanmoins, en cas d'utilisation d'endectocides, un certain nombre de recommandations concernant la formulation et les conditions d'utilisation sont susceptibles, si elles sont suivies, de nettement réduire les conséquences sur l'écosystème prairial de tels traitements.

En tout premier lieu, l'usage des endectocides doit suivre «les bonnes pratiques» de l'usage des anthelminthiques. Un diagnostic précis de la situation parasitaire du cheptel (par coproscopie notamment) permet de traiter de façon réfléchie, sélective et que lorsque l'on en a besoin.

Concernant le choix de la molécule à utiliser, il est désormais établi qu'il est préférable d'utiliser des milbémycines (moxidectine...) plutôt que des avermectines (ivermectine...). En effet, la toxicité vis à vis de la faune entomologique, de la moxidectine en particulier, est, dans bien des cas, difficile à démontrer (STRONG et WALL, 1994 - DOHERTHY et col., 1994 - LUMARET et KADIRI, 1998).

Concernant ensuite le choix des formulations et des présentations galéniques, il est préférable de choisir des présentations dont l'excrétion par l'intermédiaire des fèces de bovin est la plus rapide possible. Ainsi, une dose unique par voie orale est excrétée plus rapidement qu'une dose administrée par voie injectable (durée d'excrétion variable selon l'excipient utilisé) ou par voie transcutanée (pour-on). Enfin, l'utilisation d'un système digestif à libération séquentielle (bolus intraruminal) est, sur le plan environnemental qui nous préoccupe ici, totalement à proscrire.

Dès lors, le développement, chez les bovins, d'une préparation orale ou d'une formulation aqueuse micellaire par voie sous cutanée, ayant des profils d'excrétion limitant la durée de production de bouses contaminantes, serait très bénéfique (STEEL, 1993 - WARDHAUGH et col., 1993).

Enfin, concernant les conditions dans lesquelles effectuer le traitement aux endectocides, de nombreux auteurs (LUMARET, 1986 - RISDSDILL-SMITH, 1993 - Mc KELLAR, 1997) conseillent d'effectuer ce traitement en dehors, si possible, de la période où l'activité des insectes est maximale (reproduction en fin de printemps en région méditerranéenne, en été en Europe tempérée et en montagne par exemple).

Dans le cas contraire, les effets de l'inhibition de la reproduction des insectes seraient alors largement majorés (suppression de toute une génération d'insecte) ainsi que les conséquences à plus long terme sur la faune entomologique du pâturage.

Le fait de ne pas vermifuger en même temps la totalité des animaux fréquentant la même parcelle est aussi perçu comme une mesure tendant à limiter les effets d'un traitement aux endectocides. La possibilité d'offrir des bouses dénuées de résidus aux insectes pour assurer convenablement leur cycle de reproduction est en effet susceptible de limiter les effets nocifs du traitement antiparasitaire.

Une dernière mesure simple pourrait limiter significativement les effets négatifs de l'utilisation des endectocides. Elle consiste à maintenir les animaux traités dans un espace restreint et de détruire les bouses émises durant les quelques jours où le niveau d'excrétion des résidus est maximal. Ainsi, les bouses déposées après la mise à l'herbe des animaux ne contiendraient que de faibles quantités de résidus.

On peut donc conclure de tout cela que la prise de conscience des effets nocifs de l'usage des endectocides, plus précoce dans certaines régions du globe que chez nous, est actuellement relayée, en Europe, essentiellement par les scientifiques et les gestionnaires d'espaces naturels. En attendant une éventuelle sensibilisation des politiques, on se rend compte qu'un usage conscient et raisonné des endectocides permet de limiter, dans de larges proportions, les conséquences pour la pédofaune.

CONCLUSION

En dehors du débat sur l'utilisation ou pas des endectocides, qui n'est en fait qu'une partie du débat sur l'utilisation dans l'agriculture productiviste de molécules à fortes conséquences environnementales, il nous paraît important de poursuivre les recherches sur les répercussions à long terme de l'utilisation des endectocides sur les écosystèmes prairiaux notamment.

Néanmoins, et dans l'attente de résultats plus complets, il nous semble désormais indispensable que les prescripteurs et les utilisateurs de telles molécules soit informés de l'avancée des données concernant les conséquences environnementales de tels traitements. En effet, ces dernières décennies ont vu l'apparition de nouvelles molécules antiparasitaires au spectre d'action et à la rémanence de plus en plus étendus, et, avec elles, la tentation, de la part du prescripteur et de l'utilisateur, de se protéger totalement du parasitisme par la méthode du « parapluie » de plus en plus étanche. Des raisons économiques (rapport coût/bénéfice d'une totale couverture antiparasitaire), mais aussi l'avancée des connaissances concernant l'acquisition de l'immunité antiparasitaire ou la nécessaire lutte contre le développement des résistances avaient déjà poussé les vétérinaires professionnels de l'élevage à rationaliser leurs prescriptions.

Il reste à espérer que les raisons écologiques seront, à terme, une donnée supplémentaire que les vétérinaires, notamment, prendront en compte dans l'élaboration d'une stratégie de vermifugation en élevage.

AGREMENT ADMINISTRATIF

Je soussigné, M. BONNES, Directeur par intérim de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que

M. BARBUT Benoît, Michel

a été admis(e) sur concours en : 1992

a obtenu son certificat de fin de scolarité le : 12 juillet 1996

n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

Je soussigné, H. BRUGERE, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
déclare que j'ai lu la thèse de :

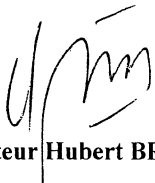
M. BARBUT Benoît, Michel

intitulée :

"Impact environnemental des endectocides sur la pédofaune"

et que je prends la responsabilité de l'impression.

**Le Professeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**



Docteur Hubert BRUGERE

**Vu :
Le Directeur par intérim
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**



Professeur Gilbert BONNES

**Vu :
Le Président de la thèse :**



Professeur Jean-Louis FONVIEILLE

**Vu le : 28 janvier 2002
Le Président
de l'Université Paul Sabatier**



Professeur Raymond BASTIDE

GLOSSAIRE

Ascomycètes : Ordre de champignons dont les spores se forment dans des asques, sorte de cellule mère allongée.

Clypéus : Pièce buccale des insectes.

Coprophage : Qui se nourrit d'excréments.

Cycloraphes : Se dit des insectes diptères dont la nymphe éclôt en faisant sauter une sorte de couvercle rond. C'est le cas de la plupart des mouches.

Edaphique : Se dit des facteurs d'existence, entre autres d'un être vivant, étroitement liés à la proximité immédiate du sol.

Endectocides : Famille de molécules antiparasitaires dont le large spectre d'action et la grande diffusion tissulaire permet d'atteindre autant les parasites internes que les parasites externes.

Epigé : Qui se développe au dessus du sol. Terme essentiellement botanique.

Macrolides : Groupe de substances dont les molécules présentent en commun un volumineux noyau lactone (consistant en une chaîne de 11 à 17 atomes de carbone) auquel est adjoint un nombre variable de sucres.

Mésafaune : Faune qui vit uniquement à la surface du sol.

Nematocères : Groupe d'insectes chez qui l'adulte sort de l'enveloppe nymphale en l'ouvrant suivant une ligne de déhiscence en forme de T (Orthoraphes).

Pédofaune : Faune du sol habitant autant les horizons superficiels que les horizons profonds.

Phylogénétique : Relatif au mode de formation des espèces et au positionnement de chacune au sein de «l'arbre de l'évolution».

BIBLIOGRAPHIE

- 1 AGEE, H.R.- Neurobiology of the bollworm moth: effects of abamectin.- *Journal of agriculture and Entomology*, 1985, **2**, 325-344.
- 2 ALVINERIE, M., SUTRA, J.F., GALTIER, P., LIFSCHITZ, A., VIRKEL, G., SALLOVITZ, J., LANUSSE, C.- Persistence of ivermectin in plasma and faeces following administration of a sustained-release bolus to cattle.- *Research in Veterinary Science*, 1998, **66**, 57-61.
- 3 ALVINERIE, M., SUTRA, J.F., BADRI, M., GALTIER, P.- Determination of moxidectin in plasma by high performance liquid chromatography with automated solid phase extraction and fluorescence detection.- *Journal of Chromatography*, 1995, **674**, 119-124.
- 4 ANDERSON, J.R., MERRITT, R.W., LOOMIS, E.C.- The insect-free cattle dropping and its relationship to increased dung fouling of rangeland pastures.- *Journal of Economic Entomology*, 1984, **77**, 133-141.
- 5 ANDREW, N.W., HALLEY, B.A.- Stability of ivermectin in rumen fluids.- *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 1996, **19**, 295-299.
- 6 BARTH, D.- Importance of methodology in the interpretation of factors affecting degradation of dung.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 99-108.
- 7 BARTH, D., HEINZE-MUTZ, E.M., RONCALLI, R.A., SCHLUTER, D., GROSS, S.J.-The degradation of dung produced by cattle treated with an ivermectin slow-release bolus.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 215-217.
- 8 BARTH, D., SHAPER, R.- Der Abbau von Rinderdung nach Behandlung der Tiere mit Ivermectin.- *Veterinar*, 1992, **7**, 18-23.
- 9 BERNAL, J.L., DEL NOZAL, M.J., SALAS, M., GALANTE, E., LUMARET, J.P.- HPLC determination of residual ivermectin in cattle dung following subcutaneous injection.- *Journal of liquid chromatography*, 1994, **17**, 2429-2444.
- 10 BLOOM, R.A., MATHESON III, J.C.- Environmental assessment of avermectins by the US Food and Drug Administration.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 281-294.
- 11 BORNEMISSZA, G.E.- Insecticidal studies on the control of the dung breeding flies by the activity of the dung beetle, *Onthophagus gazella* F. (Coleoptera: Scarabaeidae).- *Journal of the Australian Entomology Society*, 1970, **9**, 31-41.

- 12 BULL, D.L., IVIE, G.W., McCONNELL, J.G., GRUBER, V.F., KU, C.C., ARISON, B.H., STEVENSON, J.M., VANDENHEUVEL, W.J.A.- Fate of avermectin B1a in soil and plants.- *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1984, **32**, 94-102.
- 13 CAMPBELL, W.C.- *Ivermectin and Abamectin*.- New-York, Springer, 1989.- 363 pages.
- 14 CAMPBELL, W.C.- Ivermectin: An Update.- *Parasitology Today*, 1985, **1**, 10-16.
- 15 CAMPBELL, W.C., BENZ, G.W.- Ivermectin : a review of efficacy and safety.- *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 1984, **7**, 1-16.
- 16 CAMPBELL, W.C., FISHER, M.H., STAPLEY, E.O., ALBERS-SCHONBERG, G., JACOB, T.A.- Ivermectin: a potent new antiparasitic agent.- *Science*, 1983, **221**, 823-828.
- 17 CHIU, S.H.L., GREEN, M.L., BAYLISS, F.P., ELINE, D., ROSEGAY, A., MERIWETHER, H., JACOB, T.A.- Absorption, tissue distribution, and excretion of tritium labelled ivermectin in cattle, sheep, and rat.- *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1990, **38**, 2072-2078.
- 18 CLARKE, G.M., RIDSDILL-SMITH, T.J.- The effect of avermectin B1 on developmental stability in the bushfly, *Musca vetustissima*, as measured by fluctuating asymmetry.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1990, **54**, 265-269.
- 19 COOK, D.F., DADOUR, I.R., ALI, D.N.- Effect of diet on the excretion profile of ivermectin in cattle faeces.- *International Journal for Parasitology*, 1996, **26**, 291-295.
- 20 COOK, D.F.- Effect of avermectin residues in sheep dung on mating of the Australian sheep blowfly *Lucilia cuprina*.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 205-214.
- 21 COOK, D.F.- Ovarian development in females of the Australian sheep blowfly *Lucilia cuprina* (Diptera: Calliphoridae) fed on sheep faeces and the effect of ivermectin residues.- *Bulletin of Entomological Research*, 1991, **81**, 249-256.
- 22 DADOUR, I.R., COOK, D.F., NEESAM, C.- Dispersal of dung containing ivermectin in the field by *Onthophagus taurus* (Coleoptera: Scarabaeidae).- *Bulletin of Entomological Research*, 1999, **89**, 119-123.
- 23 DICKINSON, C.H., UNDERHAY, V.S.H., ROSS, V.- Effects of season, soil fauna and water content on the decomposition of cattle dung pats. *New Phytologist*, 1981, **88**, 129-141.

- 24 DOHERTY, W.M., STEWART, N.P., COBB, R.M., KEIRAN, P.J..- *In vitro* comparison of the larvicidal activity of moxidectin and abamectin against *Onthophagus gazella* (F.) (Coleoptera: Scarabaeidae) and *Haematobia irritans exigua de meijere* (Diptera: Muscidae).- *Journal of the Australian Entomological Society*, 1994, **33**, 71-74.
- 25 EWERT, K.M., DIPIETRO, J.A., DANNER, Jr., LAWRENCE, L.M..- Ivermectin treatment of horses: effect on proportion of faecal-fouled areas in pastures.- *Veterinary Record*, 1991, **129**, 140-141.
- 26 FINCHER, G.T..- Ivermectin pour-on for cattle: effects on some dung-inhabiting insects.- *Southwestern Entomologist*, 1996, **21**, 445-450.
- 27 FINCHER, G.T., WANG, G.T..- Injectable moxidectin for cattle: effects on two species of dung-burying beetles.- *Southwestern Entomologist*, 1993, **17**, 303-306.
- 28 FINCHER, G.T..- Injectable ivermectin for cattle: effects on some dung-inhabiting insects.- *Environmental Entomology*, 1992, **21**, 871-876.
- 29 FINCHER, G.T..- The potential value of dung beetles in pasture ecosystems.- *J. Ga. Entomol. Soc.*, 1981, **16** (suppl. No.1), 316-333.
- 30 FORBES, A.B..- Environmental assessments in veterinary parasitology: a balanced perspective.- *International Journal for Parasitology*, 1996, **26**, 567-569.
- 31 FORBES, A.B..- A review of regional and temporal use of avermectins in cattle and horses worldwide.- *Veterinary parasitology*, 1993, **48**, 19-28.
- 32 FORBES, V.E., FORBES, T.L..- *Ecotoxicologie: théorie et applications.*- Paris, INRA éditions, 1997.- 256 pages.
- 33 GAYRARD, V., ALVINERIE, M., TOUTAIN, P.L..- Comparaison of pharmacokinetic profiles of doramectin and ivermectin pour-on formulations in cattle.- *Veterinary parasitology*, 1999, **81**, 47-55.
- 34 GOVER, J., STRONG, L..- The effects of ivermectin in ingested cow dung on the mortality and oviposition of the dung fly *Neomyia cornicina*.- *Bulletin of Entomological Research*, 1995, **85**, 53-57.
- 35 GOVER, J., STRONG, L..- Determination of the toxicity of faeces of cattle treated with an ivermectin sustained-release bolus and preference trials using a dung fly, *Neomyia cornicina*.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1996, **81**, 133-139.
- 36 GRUBER, V.F., HALLEY, B.A., HWANG, S.C., KU, C.C..- Mobility of avermectin B1a in soil.- *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1990, **38**, 886-890.

- 37 GUNN, A., SADD, J.W.- The effect of ivermectin on the survival, behaviour and cocoon production of the earthworm *Eisenia fetida*.- *Pedobiologia*, 1994, **38**, 327-333.
- 38 HALLEY, B.A., VANDENHEUVEL, W.J., WISLOCKI, P.G.- Environmental effects of the usage of avermectins in livestock.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 109-125.
- 39 HALLEY, B.A., JACOB, T.A., LU, A.Y.H.- The environmental impact of the use of ivermectin: environmental effects and fate.- *Chemosphere*, 1989a, **18**, 1543-1563.
- 40 HALLEY, B.A., NESSEL, R.J., LU, A.Y.H., RONCALLI, R.A.- The environmental safety of ivermectin: an overview.- *Chemosphere*, 1989b, **18**, 1565-1572.
- 41 HALLEY, B.A., NESSEL, R.J., LU, A.Y.H.- Environmental aspects of ivermectin usage in livestock: general considerations.- In: CAMPBELL, W.C.- *Ivermectin and Abamectin*.- New-York, Springer, 1989.- 162-172.
- 42 HAYNES, K.F.- Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behaviour.- *Annual Revue of Entomology*, 1988, **33**, 149-168.
- 43 HERD, R.- Ecotoxicity of the avermectins: a reply to Forbes.- *International Journal for Parasitology*, 1996, **26**, 571-572.
- 44 HERD, R.P., SAMS, R.A., ASHCRAFT, S.M.- Persistence of ivermectin in plasma and faeces following treatment of cows with ivermectin sustained-release, pour-on or injectable formulations.- *International Journal for Parasitology*, 1996, **26**, 1087-1093.
- 45 HERD, R.P.- Endectocidal drugs: ecological risks and counter-measures.- *International Journal for Parasitology*, 1995, **25**, 875-885.
- 46 HERD, R.P.- Control strategies for ruminant and equine parasites to counter resistance, encystment, and ecotoxicity in the USA.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 327-336.
- 47 HERD, R.P., STINNER, B.R., PURRINGTON, F.F.- Dung dispersal and grazing area following treatment of horses with a single dose of ivermectin.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 229-240.
- 48 HERD, R., STRONG, L., WARDHAUGH, K.- Research recommendations.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 337-340.
- 49 HOLTER, P., STRONG, L., WALL, R., WARDHAUGH, K., HERD, R.- Effects of ivermectin on pastureland ecology.- *Veterinary Record*, 1994, **27**, 211-212; discussion 212-213.

- 50 HOLTER, P., SOMMER, C., GRONVOLD, J.- Attractiveness of dung from ivermectin-treated cattle to danish and afrotropical scarabaeid dung beetles.- *Veterinary Parasitology*, 1993a, **48**, 159-169.
- 51 HOLTER, P., SOMMER, C., GRONVOLD, J., MADSEN, M.- Effects of ivermectin treatment on the attraction of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae and Hydrophilidae) to cow pats.- *Bulletin of Entomological Research*, 1993b, **83**, 53-58.
- 52 HOULDING, B., RIDSDILL-SMITH, T.J., BAILEY, W.J.- Injectible abamectin causes a delay in scarabeine dung beetle egg-laying in cattle dung.- *Australian Veterinary Journal*, 1991, **68**, 185-186.
- 53 HUGHES, P.B., LEVOT, G.W.- Toxicity of three avermectins to insecticide susceptible and resistant larvae of *Lucilia cuprina* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae). *Journal of the Australian Entomological Society*, 1990, **29**, 109-111.
- 54 JACKSON, H.C.- Ivermectin as a systemic insecticide.- *Parasitology Today*, 1989, **5**, 146-154.
- 55 JACOBS, D.E., PILKINGTON, J.G., FISHER, M.A., FOX, M.T.- Ivermectin therapy and degradation of cattle faeces.- *Veterinary Record*, 1988, **123**, 400.
- 56 KADIRI, N., LUMARET, J.P., JANITI-IDRISSI, A.- Lactones macrocycloques: leur impact sur la faune non-cible du pâturage.- *Annales de la Société Entomologique de France*, 1999, **35 sup**, 222-229.
- 57 KING, K.L.- Methods for assessing the impact of avermectins on the decomposer community of sheep pastures.- *Veterinary Parasitology*, 1993a, **48**, 87-97.
- 58 KING, K.L.- The potential for avermectins to affect the nutrient economy of grazed pastures.- *Veterinary Parasitology*, 1993b, **48**, 261-271.
- 59 KRUGER, K., SCHOLTZ, C.H.- Changes in the structure of dung insect communities after ivermectin usage in a grassland ecosystem. Impact of ivermectin under high- rainfall conditions.- *Acta Oecologica*, 1998, **19**, 439-451.
- 60 LAFFONT, C.M., ALVINERIE, M., BOUSQUET-MELOU, A., TOUTAIN P.L.- Licking behaviour and environmental contamination arising from pour-on ivermectin for cattle.- *International Journal for Parasitology*, 2001, **31**, 1687-1692.
- 61 LANUSSE, C., LIFSCHITZ, A., VIRKEL, G., ALVAREZ, L., SANCHEZ, S., SUTRA, J.F., GALTIER, P., ALVINERIE, M.- Comparative plasma

disposition kinetics of ivermectin, moxidectin and doramectin in cattle.- *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 1997, **20**, 91-99.

62 LECOMTE, T.- L'éradication du varron: "inquiétudes d'un biologiste".- *Insectes*, 1998, **111**, 3-7.

63 LIEBISCH, A.- Control of parasites and environmental impact.- *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 1996, **103**, 268-273.

64 LUMARET, J.P., KADIRI, N.- Effets des endectocides sur la faune entomologique du pâturage.- *Bulletin des GTV*, 1998, **3**, 55-62.

65 LUMARET, J.P.- Insectes coprophages et médicaments vétérinaires: une menace à prendre au sérieux.- *Insectes*, 1993, **91**, 2-3.

66 LUMARET, J.P., GALANTE, E., LUMBRERAS, C., MENA, J., BERTRAND, M., BERNAL, J.L., COOPER, J.F., KADIRI, N., CROWE, D.- Field effects of ivermectin residues on dung beetles.- *Journal of Applied Ecology*, 1993, **30**, 428-436.

67 LUMARET, J.P.- Toxicité de certains helminthocides vis-à-vis des insectes coprophages et conséquences sur la disparition des excréments de la surface du sol.- *Acta Oecologica / Oecologia Applicata*, 1986, **7**, 313-324.

68 MADSEN, M., OVERGAARD NIELSEN, B., HOLTER, P., PEDERSEN, O.C., BROCHNER JESPERSEN, J., VAGN JENSEN, K.M., NANSEN, P., GRONVOLD, J.- Treating cattle with ivermectin: effect on the fauna and decomposition of dung pats.- *Journal of Applied Ecology*, 1990, **27**, 1-15.

69 MADSEN, M., GRONVOLD, J., NANSEN, P., HOLTER, P.- Effect of treatment of cattle with some anthelmintics on the subsequent degradation of their dung.- *Acta Veterinaria Scandinavica*, 1988, **29**, 515-517.

70 MAHON, R.J., WARDHAUGH, K.G., VAN GERWEN, A.C., WITBY, W.A.- Reproductive development and survival of *Lucilia cuprina* Wiedemann when fed sheep dung containing ivermectin.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 193-204.

71 MAHON, R.J., WARDHAUGH, K.G.- Impact of dung from ivermectin-treated sheep on oogenesis and survival of adult *Lucilia cuprina*.- *Australian Veterinary Journal*, 1991, **68**, 173-177.

72 McCracken, D.I.- The potential for avermectins to affect wildlife.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 273-280.

73 McCracken, D.I., FOSTER, G.N.- The effect of ivermectin on the invertebrate fauna associated with cow dung.- *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1993, **12**, 73-84.

- 74 McGARRY, J.W..- Effects of low doses of ivermectin and fenthion on egg laying by *Lucilia sericata* (Meigen) (Diptera: Calliphoridae).- *Insect Science and its Application*, 1988, **9**, 421-425.
- 75 McKEAND, J., BAIRDEN, K., IBARRA-SILVA, A.M..- The degradation of bovine fecal pats containing ivermectin.- *Veterinary Record*, 1988, **122**, 587-588.
- 76 McKELLAR, Q.A..- Ecotoxicology and residues of anthelmintic compounds.- *Veterinary Parasitology*, 1997, **72**, 413-426; discussion 426-435.
- 77 MARLEY, S.A., HALL, R.D., CORWIN, R.M..- Ivermectin cattle pour-on: duration of a single late spring treatment against horn flies, *Haematobia irritans* (L)(Diptera: Muscidae) in Missouri, USA.- *Veterinary parasitology*, 1993, **51**, 167-172.
- 78 MEYER, J.A., SIMCO, J.S., LANCASTER, J.L..- Control of face fly larval development in bovine faeces with daily injections of the ivermectin, MK-933.- *Southwestern Entomologist*, 1981, **6**, 269-271.
- 79 MEYER, J.A., SIMCO, J.S., LANCASTER, J.L..- Control of face fly larval development with the ivermectin, MK-933.- *Southwestern Entomologist*, 1980, **5**, 207-209.
- 80 MILLER, J.A., OEHLER, D.D., SIEBENALER, A.J., KUNZ, S.E..- Effect of ivermectin on survival and fecundity of horn flies and stable flies (Diptera: Muscidae)- *Journal of Economic Entomology*, 1986, **79**, 1564-1569.
- 81 MILLER, J.A., KUNZ, S.E., OEHLER, D.D., MILLER, R.W..- Larvicidal activity of Merck MK-933, an avermectin, against the horn fly, stable fly, face fly, and house fly.- *Journal of Economic Entomology*, 1981, **74**, 608-611.
- 82 MORIARTY, F..- The sub-lethal effects of synthetic insecticides on insects.- *Biological Reviews*, 1969, **44**, 321-357.
- 83 MOYE, H.A., MALAGODI, M.H., YOH, J., LEIBEE, G.L., KU, C.C., WISLOCKI, P.G..- Residues of avermectin B1a in rotational crops and soils following treatment with [¹⁴C] avermectin B1a.- *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1987, **35**, 859-864.
- 84 NESSEL, R.J., WALLACE, D.H., WEHNER, T.A., TAIT, W.E., GOMEZ, L..- Environmental fate of ivermectin in a cattle feedlot.- *Chemosphere*, 1989, **18**, 1531-1541.
- 85 PALMER, A.R., STROBECK, C..- Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, pattern.- *A. Rev. Ecol. Syst.*, 1986, **17**, 391-421.

- 86 PAYNE, L.D., HICKS, M.B., WEHNER, A.- Determination of abamectin and/or ivermectin in cattle faeces at low parts per billion levels using HPLC with fluorescence detection.- *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1995, **43**, 1233-1237.
- 87 PERROT, J.- Quand les vaches rompent l'équilibre.- *La Salamandre*, 2000, **139**.
- 88 PUTMAN, R.J.- *Carrion and dung: The decomposition of animal wastes*.- London, Edward Arnold-The Institute of Biology's Studies in Biology, 1983, 62 pages.
- 89 RIDSDILL-SMITH, T.J.- Effects of avermectin residues in cattle dung on dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) reproduction and survival.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 127-137.
- 90 RIDSDILL-SMITH, T.J.- Survival and reproduction of *Musca vetustissima* Walker (Diptera: Muscidae) and a scarabaeine dung beetle in dung of cattle treated with avermectin B1.- *Journal of the Australian Entomology Society*, 1988, **27**, 175-178.
- 91 RONCALLI, R.A.- Environmental aspects of use of ivermectin and abamectin in livestock: effects on cattle dung fauna.- In: CAMPBELL, W.C.- *Ivermectin and Abamectin*.- New-York: Springer, 1989.- 173-181.
- 92 RONCALLI, R.A., BENITEZ-USHER, C.- Efficacy of ivermectin against *Dermatobia hominis* in cattle.- *Veterinary Parasitology*, 1988, **28**, 343.
- 93 ROUSH, R.T., WRIGHT J.E.- Abamectin: toxicity to house flies (Diptera: Muscidae) resistant to synthetic organic insecticides.- *Journal of Economic Entomology*, 1986, **79**, 562-564
- 94 SCHAPER, R., LIEBISCH, A.- Einfluss eines systemisch wirkenden Antiparasitikums (Ivermectin) auf die Dung-fauna und den Dungabbau der Rinder bei weidehaltung.- *Tierärztliche Umschau*, 1991, **46**, 12-18.
- 95 SCHMIDT, C.D.- Activity of an avermectin against selected insects in aging manure.- *Environmental Entomology*, 1983, **12**, 455-457.
- 96 SCHMIDT, C.D., KUNZ, S.E.- Testing immature, laboratory-reared stable flies (*Stomoxys calcitrans*) and horn flies (*Haematobia irritans*) for susceptibility to insecticides.- *Journal of Economic Entomology*, 1980, **73**, 702-703.
- 97 SKIDMORE P.- *The insects of the Cow-dung Community*.- Richmond, Surrey, Richmond Publishing Company, 1991.- 124 pages.
- 98 SOMMER, C., GRONVOLD, J., HOLTER, P., MADSEN, M., NANSEN, P.- Dung burial activity and development of ivermectin exposed

Diastellopalpus quinquegens in a field experiment.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1993a, **66**, 83-89.

99 SOMMER, C., GRONVOLD, J., HOLTER, P., NANSEN, P.- Effects of ivermectin on two afrotropical dung beetles, *Onthophagus gazella* and *Diastellopalpus quinquegens* (Coleoptera: Scarabaeidae).- *Veterinary Parasitology*, 1993b, **48**, 171-179.

100 SOMMER, C., STEFFANSEN, B.- Changes with time after treatment in the concentrations of ivermectin in fresh cow dung and in cow pats aged in the field.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 67-73.

101 SOMMER, C., OVERGAARD NIELSEN, B.- Larvae of the dung beetle *Onthophagus gazella* F (Coleoptera: Scarabaeidae) exposed to lethal and sublethal ivermectin concentrations.- *Journal of Applied Entomology*, 1992, **114**, 502-509.

102 SOMMER, C., STEFFANSEN, B., OVERGAARD NIELSEN, B., GRONVOLD, J., VAGN JENSEN, K.M., BROCHNER JESPERSEN, J., SPRINGBORG, J., NANSEN, P.- Ivermectin excreted in cattle dung after subcutaneous injection or pour-on treatment : concentrations and impact on dung fauna.- *Bulletin of Entomological Research*, 1992, **82**, 257-264.

103 SOMMER, C., STEFFANSEN, B., SPRINGBORG, J., NANSEN, P.- Determination of faecally excreted ivermectin in cow dung by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection.- *Acta Veterinaria Scandinavica*, Supplement, 1991, **87**, 391-393.

104 SOUTHCOTT, W.H.- Anthelmintic medication and pasture productivity.- *Australian Veterinary Journal*, 1980, **56**, 202-203.

105 SPRATT, D.M.- Endoparasite control strategies: implications for biodiversity of native fauna.- *International Journal for Parasitology*, 1997, **27**, 173-180.

106 STEEL, J.W.- Pharmacokinetics and metabolism of avermectins in livestock.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 45-57.

107 STEVENSON, B.G., DINDAL, D.L.- Functional ecology of coprophagous insects : a review.- *Pedobiologia*, 1987, **30**, 285-298.

108 STRONG, L., WALL, R., WOOLFORD, A., DJEDDOUR, D.- The effect of faecally excreted ivermectin and fenbendazole on the insect colonisation of cattle dung following the oral administration of sustained-released boluses.- *Veterinary Parasitology*, 1996, **62**, 253-266.

109 STRONG, L., WALL, R.- Effects of ivermectin and moxidectin on the insects of cattle dung.- *Bulletin of Entomological Research*, 1994a, **84**, 403-409.

- 110 STRONG, L., WALL, R..- Ecological impacts of the avermectins: recent developments.- *Pesticide Outlook*, 1994b, **5**, 13-16.
- 111 STRONG, L..- Overview : the impact of avermectins on pastureland ecology.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 3-17.
- 112 STRONG, L., JAMES, S..- Some effects of ivermectin on the yellow dung fly, *Scatophaga stercoraria*.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 181-191.
- 113 STRONG, L..- Avermectins : a review of their impact on insects of cattle dung.- *Bulletin of Entomological Research*, 1992, **82**, 265-274.
- 114 STRONG, L., JAMES, S..- Some effects of rearing the yellow dung fly, *Scatophaga stercoraria* in cattle dung containing ivermectin.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1992, **63**, 39-45.
- 115 STRONG, L., WALL, R..- The chemical control of livestock parasites: problems and alternatives.- *Parasitology Today*, 1990, **6**, 291-296.
- 116 STRONG, L..- Sequential latent effects of a sub-lethal dose of ivermectin in *Calliphora vomitaria* L.- *Pesticide Science*, 1989, **27**, 253-260.
- 117 STRONG, L., BROWN, T.A..- Avermectins in insect control and biology : a review.- *Bulletin of Entomological Research*, 1987, **77**, 357-389.
- 118 STRONG, L..- Inhibition of pupariation and adult development in *Calliphora vomitaria* treated with ivermectin.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1986a, **41**, 157-164.
- 119 STRONG, L.- Ivermectin prevents head eversion in the blowfly *Calliphora vomitaria* L.- *Experimentia*, 1986b, **42**, 1295-1296.
- 120 TOUTAIN, P.L., UPSON, D.W., TERHUNE, T.N., MCKENZIE, M.E..- Comparative pharmacokinetics of doramectin and ivermectin in cattle.- *Veterinary Parasitology*, 1997, **72**, 3-8.
- 121 WALL, R., STRONG, L..- Ivermectin and cattle dung- a case for concern.- *Parasitology Today*, 1988, **4**, 107-108.
- 122 WALL, R., STRONG, L..- Environmental consequences of treating cattle with the antiparasitic drug ivermectin.- *Nature*, 1987, **327**, 418-421.
- 123 WALLER, P.J..- Towards sustainable nematode parasite control of livestock.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 295-309.

- 124 WARDHAUGH, K.G., MAHON, R.J.- Comparative effects of abamectin and two formulations of ivermectin on the survival of larvae of a dung-breeding fly.- *Australian Veterinary Journal*, 1998, **76**, 270-272.
- 125 WARDHAUGH, K.G., RIDSDILL-SMITH, T.J.- Antiparasitic drugs, the livestock industry and dung beetles - cause for concern?.- *Australian Veterinary Journal*, 1998, **76**, 259-261.
- 126 WARDHAUGH, K.G., HOLTER, P., WHITBY, W.A., SHELLEY, K.- Effects of drug residues in the faeces of cattle treated with injectable formulations of ivermectin and moxidectin on larvae of the bush fly, *Musca vetustissima* and the house fly, *Musca domestica*.- *Australian Veterinary Journal*, 1996, **74**, 370-374.
- 127 WARDHAUGH, K.G., MAHON, R.J., AXELSEN, A., ROWLAND, M.W., WANJURA, W.- Effect of ivermectin residues in sheep dung on the development and survival of the bushfly, *Musca vetustissima* Walker and a scarabaeine dung beetle, *Euoniticellus fulvus* Goeze.- *Veterinary Parasitology*, 1993, **48**, 139-157.
- 128 WARDHAUGH, K.G., MAHON, R.J.- Avermectin residues in sheep and cattle dung and their effects on dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) colonization and dung burial.- *Bulletin of Entomological Research*, 1991, **81**, 333-339.
- 129 WARDHAUGH, K.G., RODRIGUEZ-MENENDEZ, H.- The effects of the antiparasitic drug, ivermectin, on the development and survival of the dung-breeding fly, *Orthelia cornicina* (F.) and the scarabaeine dung beetles, *Copris hispanus* L., *Bubas Bubalus* (Oliver) and *Onitis belial* F.- *Journal of Applied Entomology*, 1988, **106**, 381-389.
- 130 WISLOCKI, P.G., GROSS, L.S., DYBAS, R.A.- Environmental aspects of abamectin use in crop protection.- In: CAMPBELL, W.C.- *Ivermectin and Abamectin*.- New-York, Springer, 1989.- 73-78.
- 131 WRATTEN, S.D., FORBES, A.B.- Environmental assessment of veterinary avermectins in temperate pastoral ecosystems.- *The Annals of applied Biology*, 1996, **128**, 329-348.
- 132 WRATTEN, S.D., FORBES, A.B.- Environmental assessment of veterinary products with particular reference to the avermectins.- *Pesticide Outlook*, 1995, **6**, 20-24.
- 133 WRATTEN, S.D., MEAD-BRIGGS, M.A., GETTINBY, G., ERICSSON, G., BAGGOTT, D.G.- Effects of ivermectin on pastureland ecology.- *Veterinary Record*, 1994, **135**, 212-213.

134 WRATTEN, S.D., MEAD-BRIGGS, M., GETTINBY, G., ERICSSON, G., BAGGOTT, D.G.- An evaluation of the potential effects of ivermectin on the decomposition of cattle dung pats.- *Veterinary Record*, 1993, **133**, 365-371.

135 ZIMMERMAN, G.L., HOBERG, E.P.- Controlled release devices for the delivery of anthelmintics in cattle.- *Parasitology Today*, 1988, **4**, 55-56.

136 ZULALIAN, J., STOUT, S.J., DA CUNHA, A.R., GARCES, T., MILLER, P.- Absorption, Tissue distribution, Metabolism, and Excretion of Moxidectin in Cattle.- *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, **42**, 381-387.

Toulouse, 2002

NOM : **BARBUT**

PRENOM : **Benoit**

TITRE : **Impact environnemental des endectocides sur la pédofaune.**

RESUME :

Vingt ans après la mise sur le marché de l'ivermectine et l'utilisation toujours plus répandue des endectocides pour le bétail, une polémique persiste toujours concernant les possibles effets nocifs des résidus de traitement contenus dans les bouses envers la pédofaune du pâturage.

Afin de mieux cerner la question, la présente étude bibliographique apporte, sous la forme d'un plan classique d'évaluation des risques écotoxicologiques, de nombreuses réponses issues d'expérimentations. Même si les conséquences sur le terrain semblent plus modérées que les données établies en laboratoire, les effets, tant létaux que sub-létaux des résidus d'endectocides, sont indéniables, sur les insectes coléoptères notamment. Les conséquences sur la pédofaune du pâturage, sont néanmoins très variables, en fonction certes, de la molécule et de la voie d'administration choisie, mais aussi du climat et de la pratique d'élevage.

Sans jeter l'oprobe sur les endectocides, des recommandations d'usages terminent ce travail, pour concilier au mieux efficacité de l'élevage et maintien de la biodiversité en zones pâturées.

MOTS-CLES : ENDECTOCIDES-IVERMECTINE-ENVIRONNEMENT-
RESIDUS-PEDOFAUNE

ENGLISH TITLE : Environmental impact of endectocids on pedofauna.

ABSTRACT :

Twenty years after ivermectin as been put on the market and the still increasing use of endectocids as cattle antiparasitic agent, there is still over possible effects of residues contained in dung on pastureland ecology.

The present review aims to develop this question using a classical methodology of ecotoxicological risk evaluation.

Effects of endectocids residues are undeniable, in particular on beetles, even if it is observed that field consequences are lesser than those registered on laboratory tests. Consequences over grassland ecology are various and depend on the molecule, administration route as well as climate and livestock farming practices.

This work concludes with a series of use recommendations of endectocids in order to conciliate stock-farming efficiency and grassland biodiversity conservation.

KEYWORDS : ENDECTOCIDS-IVERMECTIN-ENVIRONMENT-
RESIDUES-PEDOFAUNA