ÉCOLE NATIONALE D'INGÉNIEURS
DES TRAVAUX AGRICOLES DE
DIJON-QUÉTIGNY

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES
Septembre 1981

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES RELATIONS PESTICIDES - LOMBRICIENS : DANGERS ET TOXICITES

Station de Faune du Sol
I.N.R.A. DIJON

CANAUD JEAN-FRANÇOIS

... Avant-propos ...

Ce travail a été effectué à l'I.N.R.A. de Dijon, station de faune du sol, sur un sujet proposé par Monsieur Bouché.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur Bouché qui, par ses conseils et suggestions, m'a guidé tout au long de ce mémoire.

Je remercie également Mademoiselle Jouin, Messieurs Berenguer, Ecosse et Simon ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidé dans ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION..... 1

PREMIERE PARTIE..... 3

I. LOMBRICIENS..... 4

1.1 Généralités morphologiques et biologiques..... 4

1.2 Classification écologique des lombriciens..... 6

1.3 Rôle des lombriciens..... 8

1.3.1 ACTION DES LOMBRICIENS SUR LES SOLS..... 8

a) Action sur les propriétés physiques des sols... 8

b) Action sur les propriétés chimiques des sols... 10

c) Action sur les propriétés biologiques des sols. 10

d) Action sur l'évolution de la matière organique. 11

1.3.2 INTERET ECONOMIQUE DES LOMBRICIENS..... 11

1.4 Présentation de l'espèce choisie pour les tests..... 12

II. PESTICIDES..... 13

2.1 Choix des produits utilisés dans les tests..... 13

2.2 Nature chimique de ces 12 pesticides..... 14

2.3 Produits techniques et matières actives..... 18

2.4 Utilisation de ces produits en agriculture..... 20

2.4.1 TRAITEMENTS INSECTICIDES DES SOLS..... 20

2.4.2 TRAITEMENTS INSECTICIDES DES PARTIES AERIENNES... 20

2.4.3 TRAITEMENTS HERBICIDES..... 21

2.4.4 TRAITEMENTS FONGICIDES..... 21

2.4.5 TRAITEMENTS NEMATICIDES..... 21

DEUXIEME PARTIE..... 23

I. OBSERVATION DES POPULATIONS LOMBRICIENNES SUR LES TERRAINS AGRICOLES..... 24

1.1 Mode de prélèvement des animaux..... 24

1.2 Calcul des nombres et biomasses des peuplements lombriciens..... 26

1.3 Résultats des prélèvements 27
1.3.1 STATION BRETHENAY 28
a) Parcelle blé 28
b) Parcelle orge 28
c) Parcelle allée 29
1.3.2 STATION BAILLY 29
a) Parcelle blé 29
b) Parcelle chanvre 30
1.3.3 STATION FLAVIGNY 30
a) Parcelle pâture 30
b) Parcelle blé 31
1.3.4 STATION VILLEMAINE 31
a) Parcelle maïs 31
b) Parcelle prairie 32
1.3.5 RESULTATS GENERAUX 32
1.4 Comparaison des peuplements 34
1.4.1 COMPARAISON DES BIOMASSES 34
1.4.2 COMPARAISON QUALITATIVE DES PRELEVEMENTS 35
II. DANGERS DE L'UTILISATION DE PESTICIDES VIS-A-VIS DES LOMBRICIENS 37
2.1 Relations lombriciens - pratiques agricoles 37
2.1.1 PRATIQUES AGRICOLES DES TERRAINS UTILISES POUR LES PRELEVEMENTS 37
2.1.2 RELATIONS TECHNIQUES CULTURALES ET POPULATIONS LOMBRICIENNES 38
2.2 Evaluation des dangers des pesticides envers les lombriciens 40
2.3 Résultats de quelques expériences 40
2.4 Comportement des pesticides dans le sol 42
TROISIEME PARTIE 45
I. EXPRESSION DE LA TOXICITE 47
1.1 Définition 47
1.2 Mesure de la toxicité 48
1.3 Exigences du test 50
II. CONDUITE DU TEST DE LABORATOIRE 51

2.1 Mode opératoire 51
2.1.1 CONSTITUTION DU MILIEU D'ELEVAGE 51
2.1.2 APPORT DES CONTAMINANTS 52
a) Mode d'apport 52
b) Choix des doses à apporter 52
2.1.3 TRI DES BOITES EN FIN DE TEST 53
2.2 Paramètres contrôlés 53
2.2.1 DUREE DU TEST 53
2.2.2 TEMPERATURE 54
2.2.3 AERATION-HUMIDITE 54
2.2.4 LUMIERE 54
III. RESULTATS DES TESTS 54
3.1 Insecticides 54
3.1.1 CARBARYL 54
3.1.2 CARBOFURAN 56
3.1.3 CHLORPYRIPHOS-ETHYL 58
3.1.4 TERBUFOS 59
3.1.5 CHLORMEPHOS 59
3.1.6 PYRETHRINES 61
3.2 Fongicides 63
3.2.1 BENOMYL 63
3.2.2 THIRAME 66
3.2.3 ZIRAME 66
3.3 Herbicides 68
3.3.1 TRIFLURALINE 68
3.3.2 CHLORTOLURON 70
3.4 Nématicide : dazomet 70
3.5 Récapitulatif des résultats 72
IV. INTERPRETATION DES RESULTATS 73
4.1 Résultats précédemment acquis avec le test artisol 73
4.2 Interprétation des résultats des tests à 14 jours 73
4.3 Conclusions des tests en milieu "artisol" 77
CONCLUSION 80
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 82

ANNEXES..... 88

I. CALCUL DES COEFFICIENTS DE CORRECTION..... 89

II. TABLE DES VALEURS "PROBIT"..... 90

III. COMPARAISON DES POIDS DES ANIMAUX UTILISES COMME TEMOINS.... 91

IV. ACTION DU BENOMYL SUR LES LOMBRICIENS : PHOTOS..... 92

INTRODUCTION

En 1963, Delamare Deboutteville note l'importance de la connaissance de la partie vivante des sols : << L'analyse physico-chimique, très généralement employée dans l'étude des sols, en détruisant toute vie, altère définitivement la conception totale que nous pouvons avoir de ce sol si nous tenions compte de sa partie vivante. Il est nécessaire parallèlement aux recherches physico-chimiques, d'étendre les recherches sur la biologie des sols >>.

Si certains éléments de la faune du sol apparaissent maintenant relativement bien connus, ce qui est le cas du rôle des vers de terre, ces connaissances ne sont pas prises en compte dans les pratiques agricoles. Il s'en suit que l'élaboration des agrotechniques s'est faite sans tenir compte des lombriciens bien qu'en pratique, leurs effets soient inclus dans les résultats des expérimentations. Cette action pouvait être considérée comme une constante tant que les moyens mis en oeuvre par l'homme n'ont pas entraînés de situations différentes dans les populations lombriciennes des terrains cultivés.

La création et l'apport de substances très complexes, à effets "efficaces", le renouvellement rapide de ces molécules que sont les pesticides ont contribué à l'établissement de différences dans ces populations lombriciennes. Le recul nécessaire devant des actions aussi drastiques n'existe plus et l'empirisme qui a prévalu jusqu'à maintenant devient inadéquate.

Depuis la dernière guerre, le nombre d'observations au champ et au laboratoire des relations pesticides-lombriciens n'ont cessé de croître dans quelques pays, en Europe (Belgique, Suisse, Pays-Bas, Allemagne, Grande-Bretagne, Suède, ...) et également aux Etats-Unis, au Japon, au Canada.. Le caractère disparate de ces travaux conduit à un effort méthodologique et à une standardisation de ces observations. Une commission européenne C.E.E., O.C.D.E., réunie à Bruxelles en avril 1981 tente d'effectuer cette standardisation.

Depuis 1977, le laboratoire de zooécologie de l'I.N.R.A. de Dijon, en collaboration avec la chaire d'écologie de l'E.N.I.T.A., s'efforce de construire une méthodologie cohérente qui porte sur la toxicité des pesticides, c'est-à-dire l'action toxique univoque des pesticides envers les lombriciens, et de leurs dangers au terrain, c'est-à-dire des risques encourus par les lombriciens lors d'un traitement pesticide : des produits très toxiques pouvant être peu dangereux dans certaines conditions d'emploi (doses faibles, conditions climatiques défavorables à l'entrée en contact des pesticides et des vers de terre...).

C'est dans ce cadre que Monsieur Bouché m'a confié cette étude qui va tendre à optimiser ces deux types d'observations :

- observation des dangers :

des prélèvements sur des parcelles cultivées donnent un aperçu des situations agricoles actuelles et des dangers encourus par les lombriciens dans le cadre de cultures céréalières intensives : blé, orge, chanvre.

- observation de la toxicité :

à partir d'un test de laboratoire, mis au point par Courvoisier en 1979 et reconnu par la commission européenne, il est possible de comparer les pesticides selon leur toxicité vis-à-vis des vers de terre, cette toxicité devenant un critère d'évaluation des dangers.

PREMIÈRE PARTIE

PRESENTATION DES ELEMENTS DE L'ETUDE : PESTICIDES ET LOMBRICIENS

I. LOMBRICIENS

1.1 Généralités morphologiques et biologiques
1.2 Classification écologique des lombriciens
1.3 Rôle des lombriciens
1.3.1 Action des lombriciens sur les sols
1.3.2 Intérêt économique des lombriciens
1.4 Présentation de l'espèce choisie pour les tests

II. PESTICIDES

2.1 Choix des produits utilisés dans les tests
2.2 Nature chimique de ces 12 pesticides
2.3 Produits techniques et matières actives
2.4 Utilisation de ces produits en agriculture
2.4.1 Traitements insecticides des sols
2.4.2 Traitements insecticides des parties aériennes
2.4.3 Traitements herbicides
2.4.4 Traitements fongicides
2.4.5 Traitements nématicides

PRESENTATION DES ELEMENTS DE L'ETUDE : PESTICIDES ET LOMBRICIENS

I. LOMBRICIENS

Les lombriciens, plus communément appelés vers de terre, constituent de par leur biomasse la première composante de la faune du sol, soit approximativement les 80 % de celle-ci (Van Rhee, 1977).

Bouché (1974) précise : soit les 60 % du poids total des espèces animales vivant en climat tempéré.

1.1 Généralités morphologiques et biologiques

(Partie élaborée à partir des ouvrages de Bachelier (1963) et Bouché (1972)).

Les vers de terre sont des annélides oligochètes, des animaux dont le corps est composé de segments, ou métamères, qui s'étendent du prostomium (ou tête) au pygidium (dernier segment). Leur nombre varie de 80 à plus de 600 par animal. Chaque segment, exceptés le prostomium et le pygidium, porte des soies, leur nombre est de 8 par segment chez la plupart des vers de terre en France.

Chez l'animal adulte on observe une zone renflée (selle glandulaire) occupant de 4 à 27 segments : c'est le clitellum. Il est situé dans la partie antérieure des animaux, son rôle est primordial lors de la reproduction (production de cocons ou oothèques).

La taille des terricoles est variable, soit de 20 à 1100 mm de longueur et de 1 à 20 mm de diamètre.

Mentionnons quelques points de leur biologie.

Les lombriciens fuient la lumière et vivent sous terre. Ils ont une respiration cutanée qui n'est possible que si leur peau est humide ; momentanément ils peuvent vivre en anaérobiose.

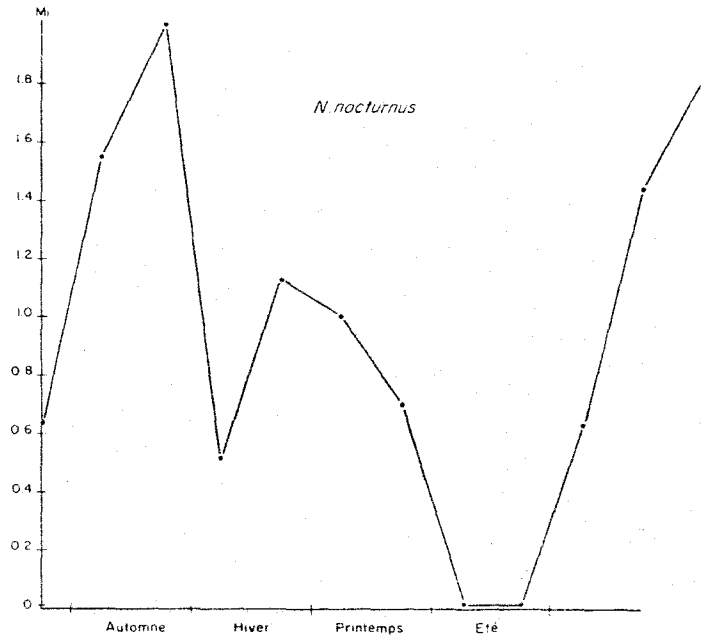
Les débris végétaux en décomposition ingérés avec de la terre leur servent de nourriture avec une préférence pour certains. La plupart

délaisse des végétaux tels que les aiguilles de pin, les végétaux très odoriférants. Ils ingèrent également des algues, des bactéries, des mycéliums.

Bien qu'hermaprodites, les lombriciens ne s'autofécondent généralement pas, ils s'accouplent et produisent des cocons où sont contenus un ou plusieurs embryons. Ils sont parfois parthénogénétiques.

Leur activité varie au cours de l'année, variations le plus souvent liées aux conditions climatiques, en particulier aux variations d'humidité et de température des sols. L'activité est maximale en automne et au printemps. Durant les périodes estivales et hivernales la plupart des espèces entrent en état de vie végétative (quiescence, diapause), périodes pendant lesquelles leurs fonctions écologiques deviennent nulles.

Un exemple des variations d'activité (Bouché, 1977) : cas d'un anécique.



Cas d'un anécique : *Nicodrilus nocturnus* var. *cistercianus* Bouché. Avec un index de sensibilité moyen (Si = 0,49) cette espèce présente un ralentissement d'activité par le froid et un arrêt estival obligatoire par diapause. Courbe moyenne sur trois années de Mi (= index de mobilité) (Bouché, 1977)

1.2 *Classification écologique des lombriciens*

C'est en 1800 que Lamarck distingua pour la première fois les annélides de l'ensemble des vers. Depuis, de nombreux travaux ont contribué à l'élaboration d'une classification phylogénétique assez complète, basée sur les caractères morphologiques, résultant de la parenté entre les différentes grandes lignées. L'évolution des espèces à l'intérieur de chaque lignée, par adaptation à des conditions du milieu, conduit à une diversification des espèces d'une même famille et inversement des espèces de familles différentes se trouvent avoir des fonctions très proches. C'est à partir de ces observations que Bouché (1969) propose une classification écologique basée principalement sur les adaptations morphologiques à l'écologie, notamment à la distribution verticale des espèces dans les sols.

Cette classification nous intéresse principalement puisqu'elle tient compte de la spécialisation des espèces et, par conséquent, du rôle agronomique de chacune d'elles.

Les différentes catégories écologiques (Bouché, 1972 ; 1977) sont donc :

- les épigés

Ce sont des animaux vivant généralement en surface dans de la litière organique non décomposée : litière forestière, troncs en décomposition, composts, fumiers... Conséquences de ce mode de vie et du fort prédatisme auquel ils sont exposés, ils ont une petite taille, sont très colorés, à mobilité et reproduction élevées. De plus ils n'ont pas ou peu de pouvoir régénérateur, leur forme de résistance est la quiescence (pas de diapause).

Ils ne sont pas fouisseurs et jouent donc un rôle agronomique limité.

Exemples d'espèces : *Eisenia fetida fetida* (Sav.)
Eisenia fetida andrei (Sav.)
Lumbricus castaneus (Sav.).

- les anéciques

Ces animaux explorent tout le profil, ils creusent de profondes galeries et rejettent la terre en surface (turricules) où ils remontent

pour se nourrir de la litière superficielle. Ils sont généralement de grande taille, de coloration foncée dorsalement, à musculature de fouille très développée. Leur pouvoir régénérateur est important. Durant les périodes défavorables, ils entrent en diapause.

Leur rôle agronomique est très important.

Exemples d'espèces : la plupart des espèces du genre *Nicodrilus* (= *Aporrectodea*) et du genre *Scherotheca*.

- les endogés

Ils vivent constamment dans le substrat minéralo-organique et ingèrent les matières organiques mélangées à ce substrat. Ce groupe, très hétérogène, englobe différents groupes plus ou moins spécialisés comme les rhyzophages qui consomment les racines mortes. Leurs caractéristiques principales sont l'absence de pigmentation, une musculature de fouille très développée, une mobilité faible. Leur forme de résistance est une quiescence (pas de vraie diapause).

Leur rôle agronomique reste important du fait de leur fort transit intestinal.

Exemples d'espèces : *Allolobophora chlorotica chlorotica* (Sav.)
Allolobophora icterica icterica (Sav.)
Nicodrilus caliginosa caliginosa (Sav.).

L'importance relative et le mode de vie de chacune de ces catégories peuvent se résumer comme suit (Bouché, 1979) :

Catégorie	Lieu de vie	Alimentation	Biomasse
Epigés	Litière, matière organique	Litière, matière organique	0 à 2 %
Anéciques	Sol	Litière	70 à 80 %
Endogés	Sol	Sol	20 à 30 %

Très pratique mais pas absolue, cette classification n'est pas tranchée, toutes les formes intermédiaires existent. Bouché (1977) illustre ceci en plaçant chaque espèce dans un trièdre, où chaque sommet correspond à une catégorie écologique.

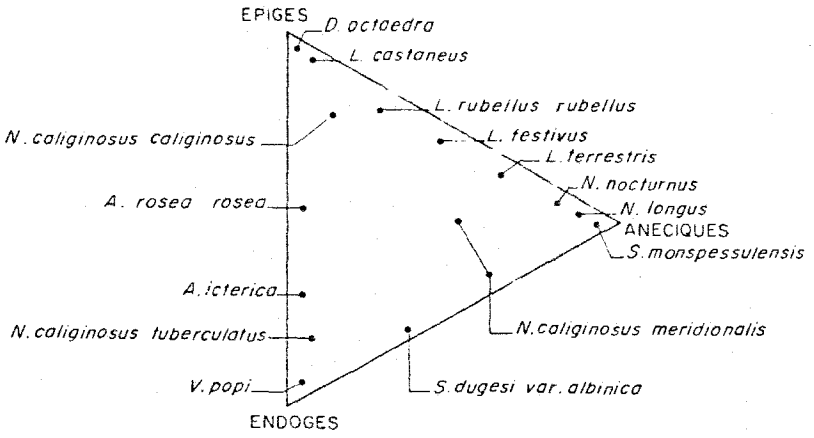


Diagramme situant approximativement quelques espèces communes dans le système tripôle des catégories écologiques ; il n'y a pas de coupures tranchées mais un moyen de classement relatif. (Bouché, 1977)

1.3 Rôle des lombriciens

L'importance de leur biomasse fait des lombriciens une source de nourriture privilégiée pour de nombreux prédateurs : petits mammifères (taupes, musaraignes, ...), oiseaux (passereaux, buses, corvidés, ...), poissons, arthropodes, limaces, ...

Mais le rôle qui intéresse l'agronome est celui lié à leur mode de vie. Les lombriciens agissent sur les qualités des sols qu'ils explorent et ont une fonction de récupération des matières végétales mortes ; en particulier des résidus de cultures qui leur servent de nourriture.

1.3.1 ACTION DES LOMBRICIENS SUR LES SOLS

L'action discrète (peu visible en surface) des lombriciens sur les sols se traduit par des modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques de ceux-ci.

a) Action sur les propriétés physiques des sols

Deux observations sur le sol traduisent l'activité des lombriciens :

- présence de turricules en surface, résultat de l'absorption et du

rejet de la terre par les vers de terre ;

- présence d'un réseau de galeries construites essentiellement par les anéciques qui explorent tout le profil et peuvent descendre jusqu'à 2 à 3m de profondeur.

Ces deux actions se traduisent par des modifications physiques des sols.

+ Modification de la porosité

Le réseau de galeries construit par les anéciques peut constituer l'essentiel de la macroporosité et les 2/3 de la capacité en air des sols (Stockli, 1949).

Kretzschmar (1978), dans un système prairial à Cîteaux, évalue l'importance des galeries. Par mètres carrés, elles ont 390 m de long, contenant 4,45 l d'air soit une surface développée de 4,6 m^2. Ce réseau constitue un véritable drainage. Satchell (1977) le compare à un drain de 44mm de diamètre qui serait posé dans chaque m^2 de terrain.

+ Modification de la compacité

Les lombriciens absorbent la terre mélangée à la matière organique et la rejettent sous forme de turricules. Il se produit ainsi un brassage des couches de terrain avec remontée des couches profondes correspondant à un véritable "labour biologique" (Bouché, 1974).

Cette action est particulièrement intéressante lorsque le travail mécanique des sols devient difficile ou impossible (prairies, vergers, forêts, ...).

Beugnot (1978) montre l'importance de ce brassage par l'évaluation du poids des turricules formés, soit 67 tonnes en poids sec par hectare et par an en prairie. Evans (1948) donne des estimations de durée pour le transit de la totalité du sol dans le tube digestif des vers de terre : 11 ans 1/2 en prairie et jusqu'à 80 ans en terrain cultivé.

+ Action sur la stabilité structurale

Les nombreuses expériences menées à ce sujet donnent parfois des conclusions différentes.

Jeanson (1960) montre que les déjections de *Lumbricus herculeus* peuvent être moins stables que la terre initiale par diminution de la cohésion des particules terreuses ou plus stables par incorporation de matière organique à la terre. En 1971, elle précise ses observations lors d'une expérience sur sol reconstitué.

La stabilité structurale des turricules est de 40 % supérieure à celle de la terre avoisinante en présence de débris végétaux (luzerne) et de 16 % inférieure lorsque le sol est nu.

Trois hypothèses lui permettent d'expliquer ces observations. L'action des vers de terre se traduirait par une augmentation de la teneur en matière organique évoluée liée à la matière minérale ; une augmentation du nombre de micro-organismes stabilisateurs et une diminution de la cohésion des particules terreuses des turricules. Cette diminution de cohésion étant prépondérante en absence de débris végétaux.

b) Action sur les propriétés chimiques des sols

L'ingestion de la terre, l'action des enzymes, le mélange à de la matière organique, font que les turricules possèdent des propriétés chimiques différentes de celles du sol en place. Les turricules sont plus riches en sels solubles : calcium, phosphore, potassium (Bachelier, 1963). Dans certains échantillons, la capacité d'échange passe de 9 m.e.q./100 g à 17,7 m.e.q./100 g (Klein, 1977).

Ces changements sont étroitement liés à une modification de la microflore du sol.

c) Action sur les propriétés biologiques des sols

Là encore les expériences montrent un enrichissement de la flore des turricules et de la drilosphère, zone contiguë aux galeries, possédant des propriétés différentes du sol en place suite à l'action mécanique des annélides lors du forage des galeries et à un enrichissement par leurs excrétions.

Bhatnagar (1975) compte 125 fois plus de germes fixateurs d'azote dans la drilosphère que dans le sol avoisinant, ce qui représenterait 38,2 % du peuplement total de ces micro-organismes.

Loquet et al. (1977) montrent que sous l'influence de l'activité lombricienne il y a extension en profondeur de l'activité biologique des sols.

d) Action sur l'évolution de la matière organique

Comme nous l'avons vu, les vers de terre consomment de la matière végétale morte et accélèrent sa transformation en substances voisines de l'humus (Jeanson, 1960). Le mélange de ces composés organiques à la partie minérale du sol favorise la formation du complexe argilo-humique.

Les lombriciens participent activement à la formation de l'humus de type mull (Duchaufour, 1965) par l'ingestion de l'horizon A_0 (= matière végétale non décomposée). Kubiena (1965) remarque l'étroite relation entre types d'humus et macrofaune du sol, les mulls ayant des populations animales importantes alors que l'humus de type mor en est pratiquement dépourvu.

1.3.2 INTERET ECONOMIQUE DES LOMBRICIENS

Si l'action décrite des vers de terre sur les propriétés des sols peut être remplacée par des techniques culturales coûteuses, l'action de récupération et d'utilisation des produits végétaux morts donne aux lombriciens un rôle primordial que l'on peut qualifier de rôle économique.

Bouché (1980) estime les "productions" de résidus végétaux dans les principaux milieux terrestres. En forêt cette production serait de 9 tonnes/ha/an et 5 T/ha/an en sols cultivés. Ces débris végétaux représentent en France une énergie estimée à 1453.10^9 Kwh (de l'ordre de grandeur de l'énergie consommée en France), énergie inutilisable par les techniques culturales classiques.

Cette nécromasse en partie ingérée par les lombriciens est incorporée au substrat et ainsi une grande partie de l'énergie est restituée sous forme d'éléments minéraux, de substances organiques et de tissus "rendus" par mortalité. Lakhani et Satchell (1970) évaluent la production de tissus lombriciens en forêt et donnent le chiffre de 500 kg/ha/an soit un taux de renouvellement des populations variant de 0,33 à 0,56.

Le métabolisme de base étant évalué à 4640 Kwh/ha/an pour une biomasse de 1,25 T p.f./ha (Bouché, 1980), les besoins totaux bien qu'étant

supérieurs, restent faibles par rapport aux 34700 Kwh/an/ha de résidus végétaux abandonnés dans les champs.

Dans le domaine agricole, les lombriciens peuvent devenir un facteur économique non négligeable si l'on évite les pratiques qui leur sont fatales : utilisation abusive des traitements phytosanitaires, travaux culturaux "brusques", fertilisation intensive ... ; intérêt économique par l'utilisation puis la dégradation des débris végétaux entrainant une restitution d'éléments fertilisants indispensables aux cultures et jusqu'ici apportés à partir d'énergies fossiles devenant très coûteuses.

Autre intérêt, dans les sols qui deviennent de plus en plus difficiles à travailler suite à des problèmes de battance, des sols compactants, imperméables, les lombriciens permettraient la réduction des travaux culturaux favorisant ainsi la restructuration de ces sols notamment par leurs actions sur la porosité et la stabilité structurale.

1.4 *Présentation de l'espèce choisie pour les tests*

L'espèce choisie (d'après Bouché, 1972) est *Eisenia fetida andrei*, sous-espèce voisine d'*Eisenia fetida fetida* (Savigny, 1826) qui en diffère notamment par sa coloration rouge vineux uniforme alors que *E. fetida fetida* est rouge violacé zébré et une taille légèrement plus petite 50 à 90 mm de longueur, le poids adulte étant de 200 à 600 mg.

Ces animaux sont des épigés corticoles, rares en milieu naturel en France, qui n'ont qu'un faible rôle agronomique dans les sols mais qui participent activement à l'humification des fumiers et composts.

Cette espèce peu courante dans les sols cultivés a été choisie pour ses qualités d'élevage en laboratoire. N'ayant pas les moyens de produire nous-mêmes les animaux, ils ont été prélevés dans du fumier chez un pépiniériste.

Le choix de cette espèce pour effectuer les tests peut être sujet à caution puisque *E. fetida* est un épigé qui ne représente que 1 % de la biomasse des vers de terre et n'a aucun rôle dans les sols.

On s'est aperçu à posteriori que, dans les conditions particulières du test de laboratoire, *E. fetida* a un comportement d'endogé, il ingère

la lévilite qui a été retrouvée dans le tube digestif des vers disséqués. Donc en se déplaçant dans le sol artificiel, il s'expose par contact et ingestion au substrat, c'est-à-dire sous les deux formes d'exposition que subissent les lombriciens dans la nature.

II. PESTICIDES

Le nom de pesticide englobe toutes les substances chimiques utilisées pour détruire les ennemis des cultures : herbicides, fongicides, insecticides, rodenticides, nématicides, ...

Longtemps utilisés, les pesticides non organiques arsénicaux, fluorés, soufrés, cyanurés (dès le XVIIème siècle, l'arsenic est employé pour la lutte contre les fourmis) et les pesticides organiques d'origine végétale, nicotine, anabasine, pyrèthres, roténone, sont aujourd'hui délaissés au profit des pesticides organiques de synthèse. C'est en 1939 que le suisse Muller synthétise le D.D.T., premier pesticide organique de synthèse (Le Nail, 1977). Après la guerre, leur utilisation se généralise et ce sont quelques 300 molécules de synthèse qui s'offrent maintenant en France pour résoudre les problèmes d'ennemis des cultures.

Ces molécules se classent par catégories chimiques : carbamates, composés organo-phosphorés, composés organo-chlorés, acides phénoxyacétiques, triazines, toluidines, urées substituées, ... Compte tenu du nombre important de ces catégories, nous ne donnerons que la nature des molécules des produits testés.

2.1 Choix des produits utilisés dans les tests

Les produits testés sont choisis à priori pour leurs priopriétés géodrilicides suite à des observations de mortalité de vers de terre par les utilisateurs et également par proposition de l'O.N.C. (Office National de la Chasse) en raison des risques suspectés en rapport avec le gibier : réduction de la source d'alimentation du gibier ainsi qu'une possibilité d'empoisonnement suite à l'ingestion de vers contaminés.

Il s'avère que ce sont des produits largement employés en agriculture.

Ces produits sont :

- 6 insecticides : carbofuran, carbaryl, chlorpyriphos-éthyl, chlorméphos, terbufos et pyrèthrines.

  Le dernier étant un insecticide non synthétique d'origine végétale pour lequel on a observé des vers de terre morts après traitement.

- 3 fongicides : bénomyl, thirame, zirame.

- 2 herbicides : chlortoluron, trifluraline.

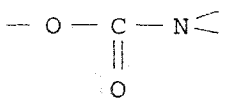
- 1 nématicide : dazomet.

2.2 *Nature chimique de ces 12 pesticides*

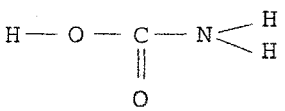
La série des carbamates est la mieux représentée avec 6 produits: bénomyl, carbaryl, carbofuran, dazomet, thirame, zirame.

Les études faites à propos des carbamates montrent qu'ils sont très dangereux pour les lombriciens (Wright et Stringer, 1973 ; Burchill, 1973 ; Crosse, 1974 ; Cook, 1975 ; Wallace, 1976 ; Bouché et Fayolle, 1981).

Les carbamates sont des dérivés de l'acide carbamique (Tourte, 1972), ils contiennent le radical :



L'acide carbamique étant :



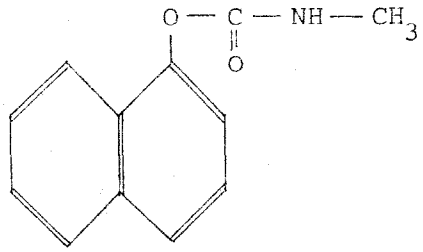
On en distingue 3 classes :

- les N-méthylcarbamates,
- les N-phénylcarbamates,
- les N,N-diméthylcarbamates.

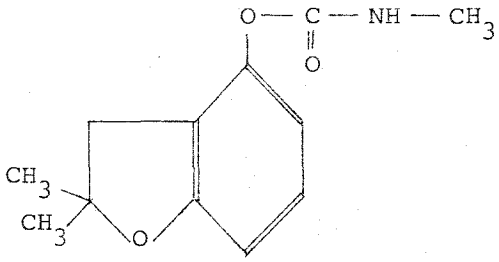
Ce sont tous des inhibiteurs de l'enzyme acétylcholinestérase responsable de la dégradation de l'acétylcholine qui à forte concentration entraîne la mort par paralysie des animaux.

Voici les formules chimiques des carbamates testés :

- le carbaryl ou N-méthylcarbamate de naphtyle-1 (Tourte, 1972)
  formule chimique : $C_{12}H_{11}NO_2$



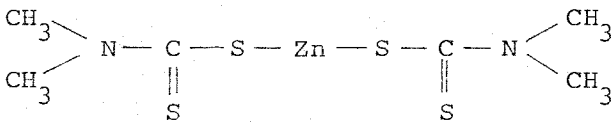
- le carbofuran ou 2,3-dihydro-2,2 diméthyl-7 benzofuranyl méthylcarbamate (Klein, 1977).
  formule chimique : $C_{12}H_{15}NO_3$



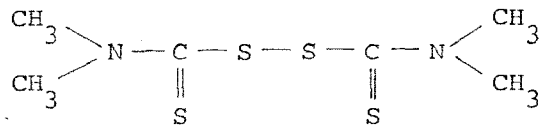
- le bénomyl ou butylcarbamoyl-1, benzimidzolyl-2 carbamate de méthyle (A.C.T.A., 1980)
  formule chimique : $C_{14}H_{18}N_4O_3$

- le dazomet ou diméthyl-3,5 perhydrothiadazine-1,3,5 thione-2
  formule chimique : $C_5H_{10}N_2S_2$
  Lors de sa décomposition, il libère des carbamates et des thiocyanates.

- le thirame ou diméthyl dithiocarbamate de zinc (Lhoste, 1960)
  formule chimique : $C_6H_{12}N_2S_4Zn$

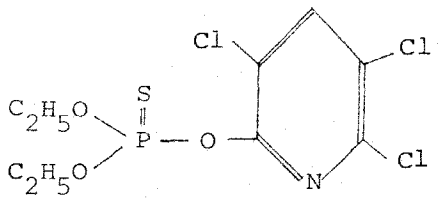


- le zirame ou T.M.T.D., ou disulfure de bis (diméthyl-thiocarbamate) (Lhoste, 1960)
  formule chimique : $C_6H_{12}N_2S_4$

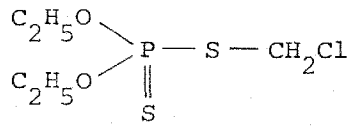


Trois produits, chlorpyriphos éthyl, chlorméphos, terbufos font partie des organo-phosphorés. Ce groupe englobe de nombreux insecticides qui sont de plus en plus utilisés. Ils agissent comme anticholinestérasiques et aussi par inhibition des aliestérases présentes dans le cerveau (Tourte, 1972).

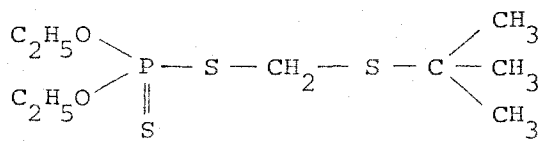
- le chlorpyriphos-éthyl ou trichloro-3,5,6-pyrydyl-2 phosphorothionate de diéthyle (Tourte, 1972)
  formule chimique : $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$



- le chlorméphos ou dithiophosphate de S chloro-méthyle et de 0,0-diéthyle (A.C.T.A., 1980)
  formule chimique : $C_5H_{12}ClO_2PS_2$

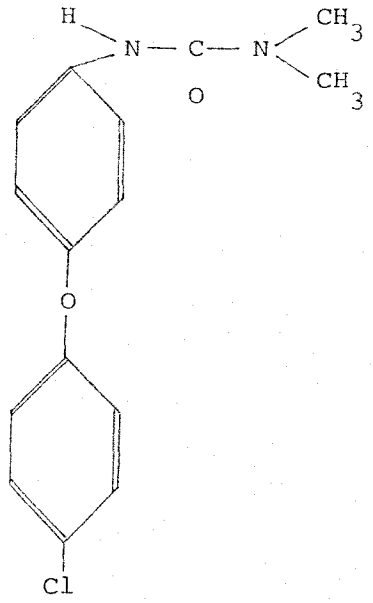


- le terbufos ou S-((1,1-diméthyl éthyl) thio) méthyl 0,0 diéthyl phosphorodithioate (Jamet et Piedallu, 1978)
  formule chimique : $C_9H_{21}O_2PS_3$

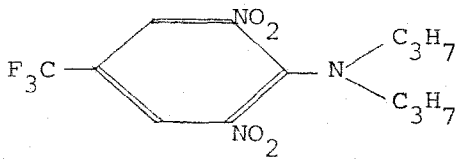


Le chlortoluron est une urée substituée qui agit comme herbicide en bloquant la photosynthèse dans les feuilles. La toxicité des urées substituées est pratiquement nulle.

- le chlortoluron ou ((chloro-4 phénoxy)-4 phényl)-2 diméthyl-1,1 urée (A.C.T.A., 1980)
  formule chimique : $C_{15}H_{15}ClN_2O_2$



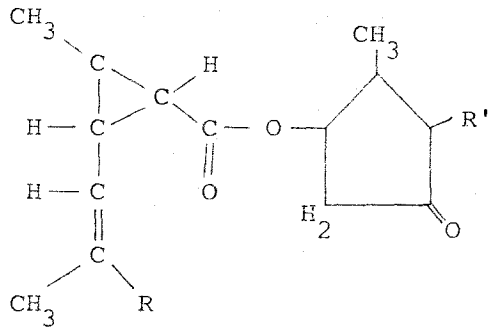
- la trifluraline ou (dinitro-2,6 trifluorométhyl-4 phényl) dipropylamine (A.C.T.A., 1980). C'est une toluidine.
  formule chimique : $C_{13}H_{16}O_4F_3N_3$



Le dernier produit testé est un mélange de pyréthrines (Tourte, 1972) composé de 6 esthers issus de deux acides (acide chrysanthémique et acide pyréthrique). Les 4 esthers les plus importants étant la pyréthrine I, la pyréthrine II, la cinérine I et la cinérine II.

Ces substances agissent très vite chez les insectes (effet "knock-down") et sont très peu toxiques pour les animaux à sang chaud.

Formule chimique :



Pyréthrine I $\begin{cases} R = CH_3 \\ R' = CH_2 - CH = CH - CH = CH_2 \end{cases}$

Pyréthrine II $\begin{cases} R = COOCH_3 \\ R' = CH_2 - CH = CH - CH = CH_2 \end{cases}$

Cinérine I $\begin{cases} R = CH_3 \\ R' = CH_2 - CH = CH - CH_3 \end{cases}$

Cinérine II $\begin{cases} R = COOCH_3 \\ R' = CH_2 - CH = CH - CH_3 \end{cases}$

2.3 *Produits techniques et matières actives*

Les 12 molécules précédemment citées sont toutes utilisées comme pesticides en agriculture. Elles ne sont pas commercialisées sous leur forme pure mais combinées à des adjuvants : colorants, émulsifiants, stabilisants... La composition de ces adjuvants n'est pas connue aussi doit-on préciser le produit technique employé dans les tests ainsi que sa formulation. Les produits se présentent sous trois formes :

- liquide pour pulvérisation (L.P.),
- poudre mouillable (P.M.),
- granulés ou microgranulés (Gran.).

Ce conditionnement entraîne des applications différentes au terrain, c'est-à-dire en pulvérisation de solutions ou d'émulsions des liquides et poudres mouillables, en épandage sur toute la surface du sol ou en localisé dans

Matière active	Spécialité commerciale	Utilisation	Teneur en matière active	Formulation	Commercialisation
Bénomyl	Benlate	Fongicide	50 %	P.M.	Seppic
Carbaril	Procevor 85 Sevin	Insecticide	85 %	P.M.	Procida
Carbofuran	Curater	Insecticide	5 %	Gran.	Bayer-France
Chlormephos	Dotan	Insecticide	5 %	Gran.	Pépro
Chlorpyriphos-éthyl	Dursban 5G	Insecticide	5 %	Gran.	La Quinoléïne
Chlortoluron	Dicuran autosuspensible	Herbicide	500 g/l	L.P.	Ciba-Geigy
Dazomet	Fongosan	Nématicide	85 %	P.M.	Prochim
Pyréthrines	Bactospeine Jardin	Insecticide	2,4 %	L.P.	Covagri
Terbufos	Counter 2G	Insecticide	2 %	Gran.	Sédagri
Thirame	Rhodiazan	Fongicide	80 %	P.M.	Rhodiagri
Trifluraline	Treflan	Herbicide	480 g/l	L.P.	Elanco
Zirame	Micronyl	Fongicide	90 %	P.M.	Prochim

TABLEAU I

Matières actives et produits techniques des pesticides testés

(D'après A.C.T.A., 1980)

la raie de semis pour les granulés et poudres pour "poudrage".

Dans la suite du mémoire nous ne parlerons que des matières actives sachant bien qu'elles sont utilisées sous forme de produits techniques. Tous les calculs seront faits à partir des matières actives et non des produits techniques.

2.4 *Utilisation de ces produits en agriculture*

La gamme des traitements des cultures ne cesse de croître, traitements des sols, des semences, en végétation ..., contre les mauvaises herbes, champignons, insectes, limaces, nématodes...

En ce qui concerne les produits cités auparavant, voici leurs principales utilisations.

2.4.1 TRAITEMENTS INSECTICIDES DES SOLS

Carbofuran, chlorméphos, chlorpyriphos-éthyl, terbufos détruisent les larves souterraines d'insectes tels que vers blancs, taupins et myriapodes : blaniules, scutigerelles.

Leur utilisation se fait surtout en localisé.

Le carbofuran est utilisé pour les cultures de betteraves, maïs, sorgho, colza. Sa dose d'utilisation est de 600 g/ha en localisation.

Le chlorméphos pour les cultures de maïs et de betteraves est employé aux doses de 3000 à 5000 g/ha en plein et 300 à 400 g/ha en localisé.

Le chlorpyriphos-éthyl pour les cultures de maïs, pommes de terre, haricots, oignons, il s'applique aux doses de 3000 à 5000 g/ha en plein et 500 à 1250 g/ha en localisé.

Le terbufos s'utilise uniquement sur betteraves sucrières en localisation (180 g/ha).

2.4.2 TRAITEMENTS INSECTICIDES DES PARTIES AERIENNES

Carbaryl et phyréthrines s'appliquent en traitements foliaires.

Le carbaryl s'emploie pour lutter contre les doryphores (1000 g/ha), le carpocapse, les tordeuses de la grappe et du pêcher (120 g/ha). Il est ineffi-

cace contre les pucerons.

Les pyréthrines détruisent les pucerons des cultures légumières (12 g/ha) et des cultures sous serres (10 g/m^3).

2.4.3 TRAITEMENTS HERBICIDES

Le chlortoluron appliqué en pré ou post levée des céréales d'hiver (blé tendre, orge d'hiver et escourgeon) détruit les graminées adventices et également quelques dicotylédones.

La trifluraline s'applique avant le semis sur le sol nu, le produit doit être incoporé au sol. Il désherbe le colza, tournesol, chou, ail, artichaut (1200 g/ha). Il est également employé par les pépiniéristes pour le désherbage des terrains destinés aux plants forestiers, fruitiers ou ornementaux (1440 g/ha).

2.4.4 TRAITEMENTS FONGICIDES

Bénomyl, thirame, zirame permettent une lutte contre les champignons parasites des végétaux.

Le bénomyl détruit bon nombre de champignons pathogènes : botrytis, oïdium. Il s'emploie également pour la lutte contre les maladies vasculaires des céréales : fusarioses, piétin verse (200 g/ha), de la betterave : ceriosporiose (150 g/ha).

Thirame et zirame ont sensiblement les mêmes utilisations contre la tavelure des fruitiers (200 g/hl), cloque du pêcher, monilioses...

Thirame étant employé pour la lutte contre le botrytis des cultures légumières (3500 g/ha en poudrage).

Ces deux substances ont une action répulsive pour les rongeurs (lapins, rats, ...).

2.4.5 TRAITEMENTS NEMATICIDES

Dazomet détruit un grand nombre de nématodes et également de champignons du sol. Il s'utilise en traitement désinfectant du sol aux doses de 50 à 70 g/m^2.

Pesticides et lombriciens présentent un point commun : leur action favorable sur les productions agricoles. Mais l'utilisation de pesti-

cides et la préservation des qualités biologiques des sols sont présentement incompatibles. L'absence de sélection, le choix aveugle des produits de traitement, faute de connaissances sur les relations pesticides-lombriciens conduisent à l'utilisation de substances très géodrilicides.

L'agriculture intensive, en cassant l'équilibre naturel des populations, est contrainte à l'utilisation de procédés de lutte, généralement traitement chimique, pour stopper le développement des populations ennemies des cultures. Ces traitements ne rétablissent pas l'équilibre naturel et leurs actions se répercutent à l'ensemble des éléments de l'agroécosystème au risque de détruire des éléments utiles pour leur action de régulation des populations par concurrence, prédatisme, parasitisme...

Par réaction en chaîne, d'autres populations se développent et d'autres traitements sont alors nécessaires. L'agriculture intensive appelle à l'emploi de produits de traitements chimiques dont les répercussions créent le besoin d'autres traitements.

Devant de telles pratiques, le choix conscient des substances de traitement pour leurs effets sur la faune du sol s'avère indispensable. Seule la connaissance des relations entre les substances chimiques apportées aux champs et la faune du sol de ceux-ci peut permettre ce choix.

L'étude des relations pesticides-lombriciens par l'appréciation des dangers et toxicités s'inscrit dans cet objectif de préserver l'effet bénéfique des deux éléments.

DEUXIÈME PARTIE

DANGERS DES PESTICIDES VIS-A-VIS DES LOMBRICIENS

I. OBSERVATION DES POPULATIONS LOMBRICIENNES SUR LES TERRAINS AGRICOLES

1.1 Mode de prélèvement des animaux
1.2 Calcul des nombres et biomasses des peuplements lombriciens
1.3 Résultats des prélèvements
1.3.1 Station Brethenay
1.3.2 Station Bailly
1.3.3 Station Flavigny
1.3.4 Station Villemaine
1.3.5 Résultats généraux
1.4 Comparaison des peuplements
1.4.1 Comparaison des biomasses
1.4.2 Comparaison qualitative des prélèvements

II. DANGERS DE L'UTILISATION DE PESTICIDES VIS-A-VIS DES LOMBRICIENS

2.1 Relations lombriciens - pratiques agricoles
2.1.1 Pratiques agricoles des terrains utilisés pour les prélèvements
2.1.2 Relations techniques culturales et populations lombriciennes
2.2 Evaluation des dangers des pesticides envers les lombriciens
2.3 Résultats de quelques expériences
2.4 Comportement des pesticides dans le sol

DANGERS DES PESTICIDES VIS-A-VIS DES LOMBRICIENS

L'agriculture intensive s'est contrainte par l'utilisation de variétés à hauts rendements, pratique de la monoculture, à l'emploi de pesticides qui doivent être toujours plus efficaces pour assurer l'augmentation (ou le maintien) des rendements.

De nouvelles molécules sont ainsi mises sur le marché alors que leurs actions sur les agroécosystèmes restent inconnues, seules quelques caractéristiques "minimales" : toxicité envers le facteur combattu, non toxicité envers les mammifères, sont étudiées. Il en résulte que des effets totalement inattendus peuvent être observés après plusieurs années d'utilisation. C'est le cas pour les lombriciens qui sont très sensibles à certaines molécules chimiques utilisées comme fongicides, insecticides... Ceci conduit à la presque disparition des lombriciens des terrains agricoles soumis à des traitements chimiques variés et nombreux.

L'objet de cette étude n'est pas de faire le procès de l'agriculture chimique mais de montrer les conséquences de l'emploi aveugle des pesticides.

Afin d'examiner l'état actuel des populations lombriciennes, nous avons effectué des prélèvements d'animaux en zones cultivées. Ces prélèvements, bien que très sommaires, donnent un ordre de grandeur de ces populations.

I. OBSERVATION DES POPULATIONS LOMBRICIENNES SUR LES TERRAINS AGRICOLES

1.1 Mode de prélèvement des animaux

Afin d'évaluer le nombre et la biomasse des vers de terre d'un sol, on doit extraire les animaux du sol.

Plusieurs procédés d'extraction existent :

Des méthodes physiques par bêchage, extraction, lavage du sol puis tri des animaux. Bien que précises, elles apparaissent limitées par leur lourdeur : difficulté d'extraire les animaux des sols squelettiques,

rocheux et aussi difficulté d'atteindre les animaux qui dans des sols meubles descendent parfois jusqu'à plus de 2 m.

Des procédés éthologiques faisant appel à des stimuli provoquant la remontée des vers de terre.

Walton (1933) propose d'utiliser le courant électrique mais les différences de conductivité des sols font que ce procédé est peu fiable.

Evans et Guild (1947) épandent une solution de permanganate de potassium pour provoquer la remontée des animaux. Raw (1959) utilise une solution formolée qui s'avère efficace surtout pour les *Lumbricus*.

Bouché (1969) combine la méthode au formol à l'extraction manuelle pour obtenir la remontée des vers de terre puis le tri de ceux restant dans les derniers centimètres du sol.

Bien que cette dernière méthode apparaisse la plus précise, nous n'utiliserons que la méthode au formol qui a l'avantage de pouvoir se pratiquer dans toutes les situations.

Les différentes opérations de cette méthode se déroulent comme suit (Bouché, 1978 a) :

1 - Nettoyage d'un demi-mètre carré de terrain ;

2 - Arrosage avec 10 l d'eau + 25 cm^3 de formol ;

3 - Récolte des animaux pendant 10 mn ;

4 - Second arrosage avec 10 l d'eau + 25 cm^3 de formol ;

5 - Récolte des animaux pendant 10 mn ;

6 - Troisième arrosage avec 10 l d'eau + 50 cm^3 de formol ;

7 - Récolte des animaux pendant 10 mn ;

8 - Quatrième arrosage avec 10 l d'eau + 50 cm^3 de formol ;

9 - Récolte des animaux pendant 10 mn.

Les arrosages se font en dépassant légèrement les limites du cadre pour compenser l'effet des galeries obliques mais seuls les animaux sortant dans le cadre limitant le 1/2 mètre carré sont capturés.

1.2 *Calcul des nombres et biomasses des peuplements lombriciens*

Pour chaque parcelle étudiée, les lombriciens sont prélevés sur 3 couples de 0,5 m^2 ce qui donne 6 prélèvements de 0,5 m^2. Bouché (1978 a) montre que l'hétérogénéité entre deux prélèvements adjacents d'un couple est du même ordre que celle entre prélèvements de couples différents éloignés de 5 à 25 mètres.

Pour les témoins (pâtures, allée, ...) un seul couple est prélevé constituant avant tout une vérification de la remontée des animaux sous l'effet de la solution formolée et nous donne "une idée", un ordre de grandeur de la population qui pourrait vivre dans les parcelles traitées si ces animaux étaient protégés ou/et "favorisés" par une agriculture plus biologique.

Comme nous l'avons vu, sous l'effet du formol tous les vers de terre ne remontent pas à la surface du sol.

Cette méthode constitue un biais pouvant sous-estimer les populations de 14 à 78 % selon les catégories écologiques de ceux-ci. Bouché (1978 a) propose des coefficients de correction de la biomasse, coefficients variant avec les catégories écologiques qui répondent différemment à ce mode d'"extraction".

Voici ces coefficients :

- pour les épigés : 1,11
- pour les épi-anéciques : 1,18 (sous-catégorie composée surtout de *L. terrestris*)
- pour les anéciques : 2,00
- pour les endogés : 2,50.
- pour les animaux non identifiables, composés principalement d'animaux à l'état larvaire qui ne présentent pas les caractères indispensables à leur détermination, ou composés d'animaux détériorés (tronçons...), nous utiliserons un coefficient de correction calculé à partir de la représentation structurale du peuplement adulte de la station. Soit K ce coefficient:

$$K = \frac{\Sigma \text{ biomasses corrigées des vers de terre adultes}}{\Sigma \text{ biomasses mesurées des vers de terre adultes}}$$

Les valeurs sont données en annexe I.

Les biomasses doivent être multipliées par 1,08 suite à la fixation des animaux en solution formolée à 1,2 % de formaldéhyde. Bouché (1978 b) estime à 8 % la perte de poids due à cette fixation.

1.3 Résultats des prélèvements

Les prélèvements ont été effectués en 4 stations différentes. Le choix des 3 premières stations, suggérées par des conseillers agricoles, résulte d'observations de problèmes de culture sur des sols devenant facilement battants. La 4ème découle de la connaissance particulière du milieu et des pratiques culturales utilisées.

Nous identifierons chaque station par le nom de la localité, soit :

- 2 stations près de Chaumont (Haute Marne) :
  Brethenay
  Bailly
- 1 station près de Nancy (Meurthe et Moselle) :
  Flavigny
- 1 station près de Clermont-Ferrand (Puy de Dôme) :
  Villemaine.

Les parcelles seront identifiées par la culture en place au moment des prélèvements. Prélèvements qui, bien qu'effectués tardivement (début juin), donnent des résultats acceptables suite à des conditions d'humidité importantes : pluies fréquentes permettant la capture des lombriciens par la méthode au formol. Ces conditions climatiques étant défavorables à l'entrée en diapause des animaux.

Nous présentons les résultats par station sous forme de tableaux.

Légende

N : nombre d'animaux prélevés
An. conf. : Animaux confondus (= tronçons)
An. indét. : Animaux indéterminés
ppfo : Poids de matière humide après fixation au formol, tube digestif plein, observé
pphc : Poids de matière humide, tube digestif plein, corrigé
+ : seul le genre a pu être déterminé

1.3.1 STATION BRETHENAY : 3 PARCELLES PRELEVEES

a) Parcelle blé (3 couples de prélèvements = 6 x 0,5 m^2)

Prélèvement	Espèce	Catégorie écologique	N	Biomasse (g) mesurée (ppfo)	Biomasse (g) corrigée (pphc)
1 - 1	0				
1 - 2	0				
2 - 1	*Nicodrilus*+	Anécique	2	0,082	0,177
2 - 2	0				
3 - 1	*L. castaneus*		1	0,050	0,060
	An. indét.		2	0,055	0,079
3 - 2	*A. chlorotica*		1	0,096	0,259
	An. conf.		1	0,056	0,081
TOTAL			7	0,339	0,656

$$\text{Biomasse totale en kg/ha} = \frac{0{,}656 \times 10^4}{3 \times 10^3} = 2{,}188 \text{ kg/ha, soit } \underline{2{,}2 \text{ kg/ha}}.$$

b) Parcelle orge (3 couples de prélèvements = 6 x 0,5 m^2)

Prélèvement	Espèce	Catégorie écologique	N	Biomasse (g) mesurée (ppfo)	Biomasse (g) corrigée (pphc)
1 - 1	*L. terrestris*	Epi-anécique	1	2,260	2,880
1 - 2	0				
2 - 1	0				
2 - 2	0				
3 - 1	*L. terrestris*	Epi-anécique	1	3,333	4,247
3 - 2	0				
TOTAL			2	5,593	7,127

Biomasse totale en kg/ha = 23,75 soit <u>24 kg/ha</u>.

b) Parcelle chanvre (3 couples de prélèvements = 6 x 0,5 m^2)

Prélèvement	Espèce	Catégorie écologique	N	Biomasse (g) mesurée (ppfo)	Biomasse (g) corrigée (pphc)
1 - 1	*A. chlorotica*	Endogé	3	0,683	1,844
1 - 2	*Nicodrilus*+	Anécique	1	2,870	6,199
	An. indét.		1	0,167	0,380
2 - 1	*L. castaneus*	Epigé	1	0,194	0,233
	A. chlorotica	Endogé	2	0,237	0,640
	An. indét.		6	0,910	2,073
2 - 2	*A. chlorotica*	Endogé	1	0,247	0,667
3 - 1	*L. castaneus*	Epigé	2	0,654	0,784
	A. chlorotica	Endogé	5	1,272	3,434
	An. indét.		5	0,611	1,392
3 - 2	*N. caliginosus*	Endogé	1	0,551	1,488
	L. castaneus	Epigé	1	0,128	0,153
	A. chlorotica	Endogé	6	1,284	3,467
	An. indét.		1	0,080	0,182
TOTAL			36	9,888	22,936

Biomasse totale en kg/ha : 76,5, soit 77 kg/ha.

1.3.3 STATION FLAVIGNY : 2 PARCELLES PRELEVEES

a) Parcelle pâture (1 couple de prélèvements = 2 x 0,5 m^2)

Prélèvement	Espèce	Catégorie écologique	N	Biomasse (g) mesurée (ppfo)	Biomasse (g) corrigée (pphc)
1 - 1	*L. terrestris*	Epi-anécique	9	26,615	33,918
	L. rubellus	Epigé	8	2,786	3,340
	L. castaneus	Epigé	3	0,255	0,306
	An. indét.		13	3,460	4,372
1 - 2	*L. terrestris*	Epi-anécique	6	20,368	25,957
	L. rubellus		4	1,626	1,949
	A. rosea		1	0,132	0,356
	An. indét.		10	2,523	3,188
TOTAL			54	57,765	73,386

Biomasse totale en kg/ha : 733,9, soit 734 kg/ha.

b) Parcelle blé (3 couples de prélèvements = 6 x 0,5 m^2)

Prélèvement	Espèce	Catégorie écologique	N	Biomasse (g) mesurée (ppfo)	Biomasse (g) corrigée (pphc)
1 - 1	An. indét.		1	0,082	0,103
1 - 2	*L. rubellus*	Epigé	3	0,957	1,147
2 - 1	*L. rubellus*	Epigé	2	0,639	0,766
	An. indét.		4	0,197	0,249
2 - 2	An. indét.		6	0,247	0,312
3 - 1	*L. rubellus*	Epigé	3	1,085	1,300
	An. indét.		3	0,433	0,547
3 - 2	*L. rubellus*	Epigé	6	1,638	1,964
	An. indét.		1	0,083	0,104
TOTAL			29	5,361	6,492

Biomasse totale en kg/ha : 21,6, soit 22 kg/ha.

1.3.4 STATION VILLEMAINE : 2 PARCELLES PRELEVEES

a) Parcelle maïs (1 couple de prélèvements = 2 x 0,5 m^2)

Prélèvement	Espèce	Catégorie écologique	N	Biomasse (g) mesurée (ppfo)	Biomasse (g) corrigée (pphc)
1 - 1	*L. terrestris*	Epi-anécique	3	10,884	13,871
	L. castaneus	Epigé	5	0,469	0,562
	A. rosea	Endogé	1	0,260	0,702
	Allolobophora+	Endogé	7	0,422	1,139
1 - 2	*L. terrestris*	Epi-anécique	5	1,109	1,413
	L. castaneus	Epigé	8	0,553	0,663
	A. rosea	Endogé	1	0,254	0,686
	A. chlorotica	Endogé	1	0,284	0,767
	Allolobophora+	Endogé	4	0,311	0,840
TOTAL			35	14,546	20,647

Biomasse totale en kg/ha : 206,47, soit 207 kg/ha.

b) Parcelle prairie (1 couple de prélèvements = 2 x 0,5 m^2)

Prélèvement	Espèce	Catégorie écologique	N	Biomasse (g) mesurée (ppfo)	Biomasse (g) corrigée (pphc)
1 - 1	*L. terrestris*	Epi-anécique	66	76,771	97,837
	N. caliginosus meridionalis	Endogé	3	2,635	7,114
	N. caliginosus typicus	Endogé	8	2,884	7,786
	N. caliginosus	Endogé	36	6,225	16,808
1 - 2	*L. terrestris*	Epi-anécique	42	38,488	49,049
	O. cyaneum	Endogé	2	3,109	8,394
	N. caliginosus meridionalis	Endogé	4	2,883	7,784
	N. caliginosus typicus	Endogé	15	6,338	17,112
	N. caliginosus	Endogé	22	4,423	11,942
TOTAL			198	143,946	223,826

Biomasse totale en kg/ha = 2238,3, soit 2240 kg/ha.

1.3.5 RESULTATS GENERAUX

Nous avons pour chaque parcelle une évaluation de la biomasse lombricienne. Les résultats sont les suivants :

Station	Parcelle	Surface prélevée	Biomasse (g) prélevée (ppfo)	N	Biomasse (kg/ha) (pphc)
BRETHENAY	Blé	3 m^2	0,339	7	2,2
	Orge	3 m^2	5,593	2	24
	Allée	1 m^2	36,757	78	545
BAILLY	Blé	3 m^2	5,012	22	38
	Chanvre	3 m^2	9,888	36	77
FLAVIGNY	Blé	3 m^2	5,361	35	22
	Pâture	1 m^2	57,765	54	734
VILLEMAINE	Maïs	1 m^2	14,546	35	207
	Prairie	1 m^2	143,756	198	2 240

TABLEAU II : Récapitulation des résultats des prélèvements.

Les estimations des biomasses à l'hectare donnent des résultats allant de 2 kg/ha pour la parcelle de blé de Brethenay à plus de 2 T/ha pour la prairie de Villemaine, ce qui fait un facteur multiplicateur de 1000.

Ces différences sont illustrées figure 1.

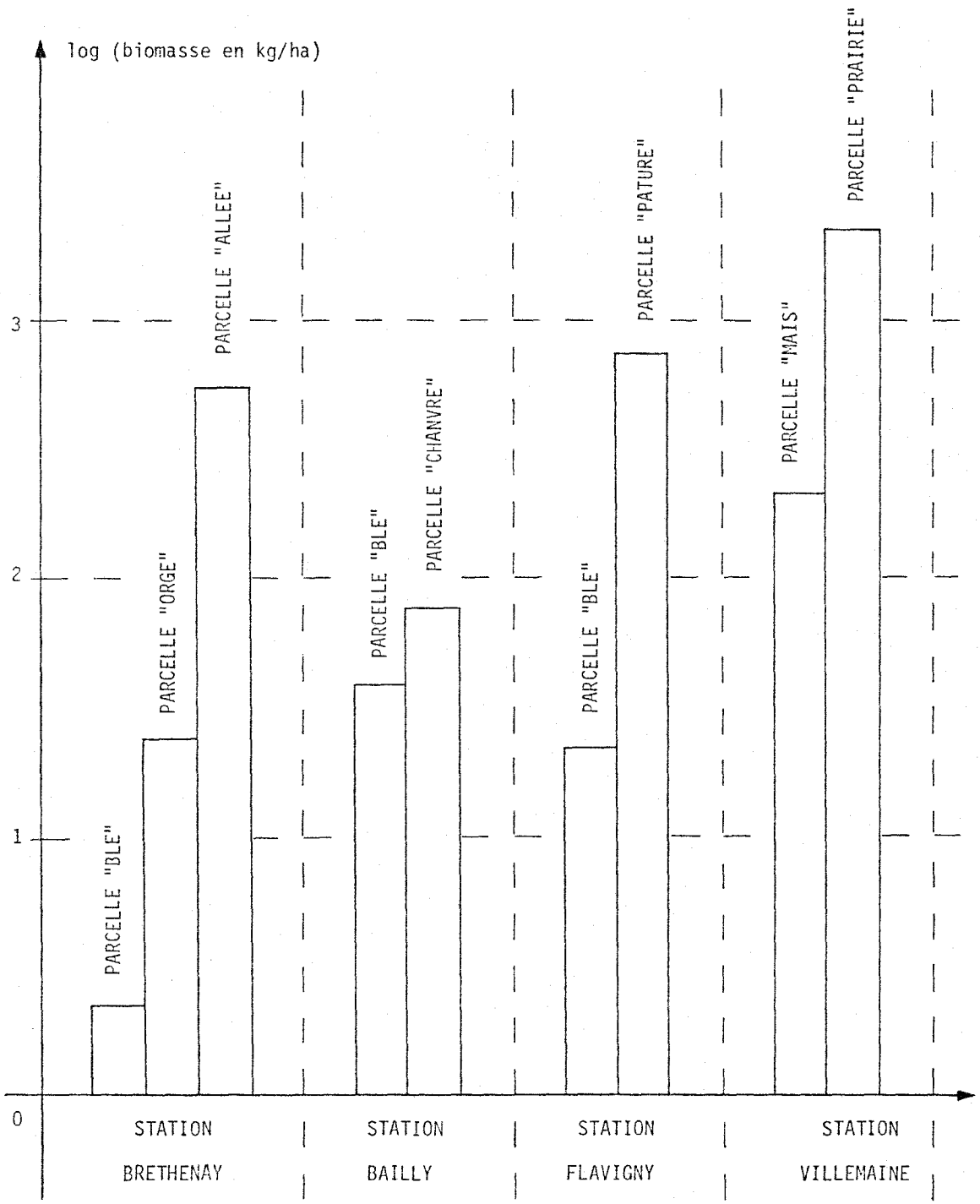


FIGURE 1 : Populations lombriciennes

1.4 *Comparaison des peuplements*

1.4.1 COMPARAISON DES BIOMASSES

Les biomasses entre terrains cultivés et zones non cultivées (allée, prairie) d'une même station diffèrent notablement (figure 1).

A Brethenay entre l'allée et la parcelle d'orge, on a un facteur multiplicateur de 20 et entre allée et blé de plus de 200. A Flavigny, ce facteur est de l'ordre de 30 et de 10 à Villemaine.

La mise en culture et surtout la culture prolongée des terres agricoles se traduit par une baisse de la population des vers de terre.

Ce fait a été constaté par de nombreux auteurs ; Evans et Guild (1948) donnent des estimations des biomasses lombriciennes de quelques systèmes de culture (biomasses sous-estimées par prélèvements à la méthode au permanganate de potassium non corrigée) :

prairie permanente : 511 à 724 kg/ha
prairie artificielle : 353 à 474 kg/ha
terrain en jachère : 496 à 720 kg/ha
1ère année de culture : 405 à 836 kg/ha
5ème année de culture : 68 à 140 kg/ha.

La culture continue rend les populations lombriciennes de 5 à 10 fois moins importantes qu'en prairie.

Cuendet (1979) évalue les peuplements des terrains agricoles de la région du plateau vaudois en Suisse :

prairie de 3 ans : 2436 kg/ha
prairie de 2 ans : 1388 kg/ha
orge : 1130 kg/ha
féverolle : 860 kg/ha
maïs (pas de prairie dans la rotation) : 613 kg/ha.

Là encore, la biomasse des champs cultivés est bien inférieure à celle des prairies (4 fois moins) mais cette différence reste plus faible que celle observée dans nos prélèvements où nous observons des différences entre champs cultivés.

Pour la station de Brethenay, la parcelle blé possède un peuplement 10 fois inférieur à la parcelle d'orge et à Bailly les parcelles de blé et de chanvre ont des populations allant du simple au double.

Ces différences ne restent pas d'ordre quantitatif, les structures écologiques des peuplements diffèrent.

1.4.2 COMPARAISON QUALITATIVE DES PRELEVEMENTS

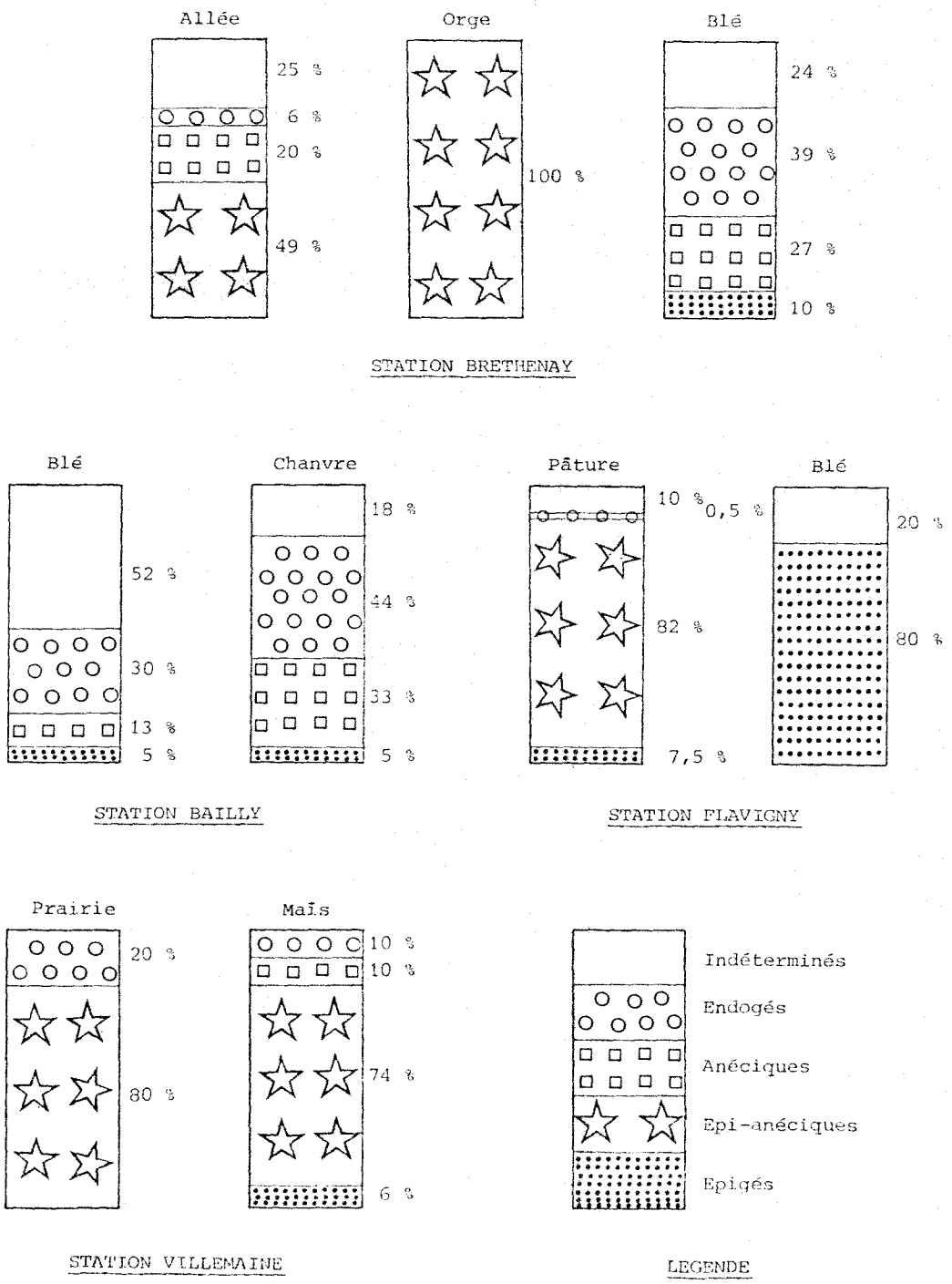


FIGURE 2 : Composition écologique des prélèvements de terrain (en % de la biomasse)

La figure 2 nous montre la composition écologique des différentes parcelles. Rappelons la distribution la plus fréquente en biomasse des catégories écologiques (Bouché, 1979) :

épigés : 0 à 2 %
anéciques + épi-anéciques : 70 à 80 %
endogés : 20 à 30 %

On observe l'augmentation des épigés sur les parcelles cultivées et simultanément la baisse ou disparition des anéciques et épi-anéciques (sauf parcelle d'orge) qui ont le plus important rôle agronomique, la stabilisation relative des espèces endogées due à leur mode de vie en profondeur et non troublées par les travaux et pratiques culturales superficiels

Deux critères classiques sont utilisés depuis longtemps pour caractériser la ressemblance ou la dissemblance des populations :

- l'indice d'Odum (Debauche, 1958),
- le quotient de similarité de Soerensen (Soerensen, 1948).

$$\text{Q.S. Soerensen} = \frac{2\,c}{a + b} \times 100$$

a : nombre d'espèces présentes dans le milieu A
b : nombre d'espèces présentes dans le milieu B
c : nombre d'espèces communes aux milieux A et B.

Le Q.S. varie de 0 (aucune similarité) à 100 (similarité totale).

$$\text{I (indice d'Odum)} = \frac{\Sigma\,(a' - b')}{N} \times 100$$

a' : nombre d'individus d'une espèce dans le milieu A
b' : nombre d'individus de la même espèce dans le milieu B
N : nombre total d'individus recensés dans les deux milieux.

I varie de 0 (milieux identiques) à 100 (milieux différents).

Le tableau III (p. 37) nous montre que les populations se caractérisent par leur éloignement (I > 80) excepté pour la station de Bailly où les parcelles de blé et de chanvre possèdent des populations relativement

similaires (Q.S. = 86 ; I = 35) : ces deux populations sont "incluses" dans la même rotation.

Stations	Parcelles Comparées	Q.S.	I
BRETHENAY	Blé - Orge	0	100
	Blé - Allée	44	86
	Orge - Allée	29	95
BAILLY	Blé - Chanvre	86	35
FLAVIGNY	Blé - Pâture	50	47
VILLEMAINE	Maïs - Prairie	22	93

TABLEAU III : Q.S. et I entre parcelles d'une même station.

Que ce soit en biomasse, en structure écologique ou systématique des populations, les prélèvements donnent des résultats différents. Le facteur responsable de ces différences qui nous vient à l'esprit est l'ensemble des pratiques agricoles puisque les prélèvements d'une même station ne sont distants que de quelques dizaines de mètres (parcelles limitrophes) donc les facteurs géographiques, climatiques sont à éliminer de même que le facteur nature des sols : les zones prélevées étant homogènes.

Il s'avère donc nécessaire de caractériser les systèmes de culture pour expliquer les différences rencontrées.

II. DANGERS DE L'UTILISATION DE PESTICIDES VIS-A-VIS DES LOMBRICIENS

2.1 Relations lombriciens - pratiques agricoles

Une enquête légère à propos des techniques culturales pratiquées sur les terrains cultivés visités lors des prélèvements permet de dresser un tableau rapide des caractéristiques de ces pratiques.

2.1.1 PRATIQUES AGRICOLES DES TERRAINS UTILISES POUR LES PRELEVEMENTS

Les facteurs susceptibles d'avoir une action sur les populations lombriciennes semblent être :

- travail mécanique du sol
- apport de matière organique (amendements humiques, enfouissement des pailles),
- présence de prairies dans la rotation,
- apport de fertilisants (N, P, K),
- traitements chimiques (désherbage, traitements insecticides, fongicides).

Le tableau IV (p. 39) résume ces principales caractéristiques pour les stations visitées.

L'apport d'éléments fertilisants et de produits phytosanitaires semblent étroitement liés, caractérisant ainsi un niveau d'intensification des cultures sur les parcelles.

2.1.2 RELATIONS TECHNIQUES CULTURALES ET POPULATIONS LOMBRICIENNES

Il apparaît que culture du sol, apports de fertilisants et de produits de traitement se traduisent par des prélèvements pauvres en vers de terre. Mais ceci ne peut suffire à démontrer l'action néfaste de telle ou telle pratique agricole.

Cuendet (1979) mentionne l'action des différents travaux culturaux.

L'apport de matière organique favorise les lombriciens alors que la fertilisation minérale à forte dose (680 unités/ha) a une action négative sur les lombriciens (Nowak, 1976).

L'action répétée du travail du sol conduit à une diminution progressive du nombre de vers de terre. Ce travail effectué dans des conditions défavorables aux lombriciens (sécheresse) peut avoir une action particulièrement dépressive. Suite à un labour, Cuendet observe une mortalité moyenne de 25 % des animaux. Il récolte néanmoins des populations parfois supérieures à 1 T/ha en terrains labourés.

Le travail mécanique des sols s'il est modéré peut favoriser l'activité des lombriciens (Zicsi, 1969). Cuendet note également l'action dépressive des traitements phytosanitaires sans la chiffrer.

Parcelle		Place de la prairie dans la rotation	Amendement		Fertilisation en unité/ha			Traitements chimiques en g de matière active/ha		
			Matière organique	Ca T/ha	N	P	K	Herbicide	Fongicide	Insecticide
BRETHENAY	Blé	0	Pailles enfouies	0	190	110	120	2 600	220	600
	Orge	0	Pailles enfouies	0,5	130	90	30	750	0	0
	Allée	1	-	0	0	0	0	0	0	0
BAILLY	Blé	0	Pailles enfouies	0,5	150	120	80	1 800	100	0
	Chanvre	1/5	Pailles enfouies	0,5	150	120	80	1 600	700	0
FLAVIGNY	Blé	0	Pailles enfouies	0	180	120	120	1 600	150	300
	Pâture	1	Déjections des animaux	0,8	0	0	0	0	0	0
VILLEMAINE	Maïs	1/5	Apport fumier	1	100	60	60	1 500	0	500
	Prairie	1	Déjection des animaux	1	60	30	30	0	0	0

TABLEAU IV

Caractéristiques des pratiques culturales des terrains utilisés pour les prélèvements.

Lors de nos prélèvements, on a pu constater que les populations les plus faibles se trouvent sur les terrains ayant subi des traitements fongicides (blé à Brethenay, Bailly et Flavigny).

Les estimations de biomasse données par Guild et Cuendet ainsi que les prélèvements de la station de Villemaine montrent une réduction de la biomasse des lombriciens, caractéristique de la mise en culture des sols, allant de 1/4 à 1/10 des populations initiales.

Cependant les lombriciens sont encore présents dans ces sols alors que les prélèvements de Brethenay, Bailly et Flavigny donnent des populations très faibles presque inexistantes : réduction de biomasse allant de 1/20 à 1/200 par rapport aux populations "témoins". Ces parcelles cultivées intensivement diffèrent des précédentes surtout par des traitements chimiques nombreux et diversifiés qui seraient une des causes principales de la destruction des lombriciens.

2.2 *Evaluation des dangers des pesticides envers les lombriciens*

Les traitements chimiques prennent de plus en plus d'importance en agriculture. Une enquête du ministère de l'agriculture en 1977 portant sur les productions céréalières du centre de la France montre que la totalité des cultures de maïs reçoivent au moins un désherbage et 13 à 18 % deux désherbages. En culture d'orge 92 % des surfaces sont désherbées et de 90 à 98 % des cultures de blé.

En arboriculture (production de pêches) plus de 15 traitements phytosanitaires fongicides et insecticides s'étalent de la mise à fleurs jusqu'à la récolte des fruits. On peut supposer que de telles pratiques contribuent activement à la disparition des lombriciens.

Ainsi, certains auteurs ont-ils observé l'action de ces traitements dans le but de comparer les produits ayant une même utilisation et de préconiser l'emploi des moins géodrilicides.

2.3 *Résultats de quelques expériences*

Thompson en 1970 compare l'effet de 9 insecticides dont chlorpyriphos, carbaryl et carbofuran, appliqués sur prairie non traités durant

les 5 années précédentes. Il observe 3 semaines après le traitement les résultats suivants :

	Dose en kg/ha	Réduction du nombre	Réduction biomasse
Témoin	0	0	0
Chlorpyriphos	2,25	- 21,2 %	- 15,1 %
Carbaryl	2,25	- 59,8 %	- 68,9 %
Carbofuran	4,5	- 82,7 %	- 60,4 %

Au total, 5 produits réduisent la biomasse de plus de 50 % dont carbaryl et carbofuran.

Martin (1975) dans une expérience similaire observe 5 semaines après le traitement une diminution de 50 % des lombriciens mais 27 semaines après le traitement, ces populations se sont reconstituées.

Cela tendrait à démontrer qu'un traitement isolé pour les produits considérés ici, même s'il provoque une baisse momentanée des populations lombriciennes, n'a pas d'effet catastrophique à long terme. Ce serait la répétition ou l'utilisation de substances persistantes dans les sols qui deviendraient les principaux facteurs de disparition des annélides terricoles.

Van Rhee (1977) examine les populations en vergers pour différents types de luttes : traitements chimiques intensifs, lutte intégrée, lutte à base de produits naturels. Ces populations varient de 56 individus au mètre carré en traitements intensifs à 249 en lutte "naturelle".

Les dangers des pesticides seraient fonction de la fréquence des traitements et des produits utilisés.

Synonds (1975), en champ de blé, teste les dangers des molluscicides. Selon la forme d'apport du produit de traitement, boulettes ou granulés, la "réponse" des vers de terre est différente. Les boulettes apparaissent moins dangereuses que les granulés.

Ruppel et Laughlin (1977) appliquent les pesticides utilisés pour le contrôle des nématodes de la betterave à sucre au champ selon 4 techni-

ques :

- en localisé dans la raie du semis,
- enfouis (10 cm) sous la raie de semis à l'aide d'une sous-soleuse,
- épandus sur toute la surface du sol puis incorporés au sol à l'aide d'une fraise rotative,
- épandus en surface des raies de semis sans enfouissement.

Treize jours après ces traitements, ils comptent les vers de terre trouvés morts en surface et concluent au rôle important du mode d'application du pesticide : pas de différences significatives entre application en localisé et le témoin alors que l'application sur toute la surface et l'incorporation au sol s'avèrent particulièrement destructrices.

Ils observent également des différences entre produits : terbufos, carbofuran, aldicarbe donnant une mortalité significative alors que chlorpyriphos n'a pas d'action différente du témoin.

Finlayson, Campbell et Roberts (1975) notent également l'effet du mode d'application des produits sur la mortalité des lombriciens et constatent l'influence des facteurs climatiques lors des traitements. Après un traitement au carbofuran seules les espèces endogées (deep-living) survivent au traitement. Suite à des conditions de sécheresse, les animaux en état de vie ralentie, restés en profondeur, n'ont pas été atteints par le pesticide.

A partir de ces quelques expériences, nous pouvons dire que les dangers des pesticides vis-à-vis des lombriciens sont fonction de nombreux facteurs en particulier de la présentation du produit et du mode d'application qui influent sur la dispersion du pesticide dans le sol.

Cette dispersion varie également en fonction de la nature des sols.

2.4 *Comportement des pesticides dans le sol*

Un traitement phytosanitaire disperse les pesticides dans tout l'agrosystème. Une grande quantité reste dans le sol où les phénomènes de transport, d'immobilisation et de dégradation règlent leur comportement.

Ces phénomènes sont fonction des propriétés des produits (solubilité, tension de vapeur...) et de la nature des sols.

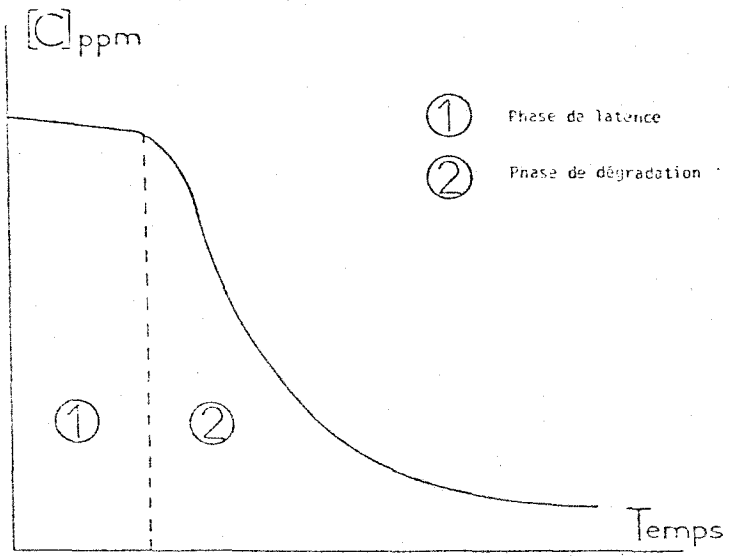
Jamet et Piedallu (1978) observent la migration verticale du terbufos. Ce produit résiste bien à l'entraînement par lessivage et reste dans les 2,5 cm supérieurs du sol pour 96 à 97 % après un apport de 72 à 88 mm d'eau, conséquence de sa faible solubilité mais également de ses possibilités d'absorption sur les sols.

A chaque produit on peut associer un coefficient d'absorption K (coefficient de Freundlich) caractéristique de la capacité d'un produit à s'absorber sur un sol donné. Ce coefficient varie en fonction de la teneur en matière organique des sols (Jamet, 1979).

Cette absorption modifie la concentration de la solution du sol, la dégradation, la dispersion des prouits dans le milieu.

Autres phénomènes importants, les phénomènes de dégradation des pesticides. La dégradation est caractéristique du système sol-pesticide et résulte de la combinaison des facteurs physico-chimiques et biologiques du système.

Elle présente 2 phases : une phase de latence pendant laquelle la toxicité sera maximale et une phase de dégradation.



Allure générale de la courbe de dégradation d'un produit agropharmaceutique dans le sol.
(D'après Jamet, 1979)

Comme exemple de dégradation, Jamet et Piedallu (1975 et 1978) donnent une demi-vie de terbufos de l'ordre de 3 semaines alors que pour carbofuran, elle ne serait que de 8 jours.

Une fois dégradé, le produit peut encore avoir une action toxique sur la faune du sol par l'intermédiaire de ses métabolites. C'est le cas du bénomyl qui, dégradé en carbendazime, devient très toxique pour les lombriciens (Prasad et Moody, 1974).

L'effet toxique des pesticides envers les lombriciens est modelé par la combinaison des différents facteurs : présentation et propriétés des produits agropharmaceutiques, mode d'apport, nature des sols, conditions climatiques au moment de l'apport, comportement des lombriciens, le facteur principal restant bien entendu la toxicité proprement dite de la molécule pour les vers de terre.

L'application d'un produit de traitement ne peut tenir compte de tous ces facteurs dans un but de protection de la faune utile du sol puisque sa mise en oeuvre fait suite à l'observation ou à la prévision, d'une attaque d'ennemis des cultures et qu'une perte de temps risquerait de mettre en péril la culture.

Le choix préalable du produit par rapport à sa toxicité lombricienne devient nécessaire si l'on veut préserver cette faune du sol.

Les mesures de toxicité faites jusqu'ici dans des milieux hétérogènes ; sols reconstitués très variés, donnent des résultats non comparables. Les phénomènes d'interaction sol-pesticide modifient l'effet toxique des molécules et faute de référence standard, les toxicités ne peuvent être corrigées d'un test à un autre. Aussi un test artificiel où nous pourrions contrôler tous les facteurs est-il nécessaire.

C'est dans cet objectif qu'un test de laboratoire totalement artificiel a été conçu (Courvoisier, 1979 ; Ferrière, Fayolle et Bouché, sous presse ; Fayolle et Bouché, 1981).

TROISIÈME PARTIE

TOXICITE DES PESTICIDES VIS-A-VIS DES LOMBRICIENS

I. EXPRESSION DE LA TOXICITE

1.1 Définition
1.2 Mesure de la toxicité
1.3 Exigences du test

II. CONDUITE DU TEST DE LABORATOIRE

2.1 Mode opératoire
2.1.1 Constitution du milieu d'élevage
2.1.2 Apport des contaminants
2.1.3 Tri des boîtes en fin de test
2.2 Paramètres contrôlés
2.2.1 Durée du test
2.2.2 Température
2.2.3 Aération-humidité
2.2.4 Lumière

III. RESULTATS DES TESTS

3.1 Insecticides
3.1.1 Carbaryl
3.1.2 Carbofuran
3.1.3 Chlorpyriphos-éthyl
3.1.4 Terbufos
3.1.5 Chlorméphos
3.1.6 Pyréthrines

3.2 Fongicides

3.2.1 Bénomyl

3.2.2 Thirame

3.2.3 Zirame

3.3 Herbicides

3.3.1 Trifluraline

3.3.2 Chlortoluron

3.4 Nématicide : dazomet

3.5 Récapitulatif des résultats

IV. INTERPRETATION DES RESULTATS

4.1 Résultats précédemment acquis avec le test artisol

4.2 Interprétation des résultats des tests à 14 jours

4.3 Conclusions des tests en milieu artisol

TOXICITE DES PESTICIDES VIS-A-VIS DES LOMBRICIENS

Les produits chimiques apportés sur les sols agissent sur les animaux du sol. Cette action se traduit par différentes réactions des animaux suite à une modification de leurs fonctions physiologiques.

Le résultat peut être aussi bien bénéfique que néfaste, voire sans action pour la faune du sol.

En ce qui concerne les pesticides, toutes les études donnent des actions néfastes vis-à-vis des lombriciens, au moins s'ils sont utilisés à des doses très élevées.

Une classification selon la toxicité des substances permet de les caractériser et éventuellement de préconiser l'emploi des molécules à effets les moins destructeurs pour les vers de terre.

I. EXPRESSION DE LA TOXICITE

1.1 Définition

Ramade (1977) qualifie de toxique tout facteur physique, chimique ou biologique créant une source de pollution potentielle. Toxique n'est pas nécessairement synonyme de poison, certaines substances nécessaires aux organismes vivants peuvent provoquer des désordres importants lorsqu'elles sont utilisées à fortes doses, par exemple le chlorure de sodium.

Les toxiques pénètrent dans l'organisme par voie respiratoire, par voie transtégumentaire ou par voie trophique (absorption radiculaire chez les végétaux, digestive chez les animaux). C'est-à-dire pour les lombriciens par voie cutanée = toxicité par contact ou par voie digestive = toxicité par absorption. La respiration cutanée des oligochètes supprimant la contamination par inhalation (Fayolle, 1979).

L'action des toxiques présents dans le substrat se traduit par des troubles physiologiques dont le cas extrême est la mort de l'individu.

On distingue toxicité à long terme de toxicité aiguë. La toxicité à long terme pouvant se traduire par des malformations, modifications du

comportement, perte de fertilité, alors que la toxicité aiguë entraîne rapidement des troubles physiologiques graves et la mort des animaux contaminés.

Bien que la première forme de toxicité puisse causer des diminutions importantes des populations, nous ne mesurerons que la toxicité aiguë des pesticides sachant bien que des effets à long terme peuvent se manifester à des doses plus faibles. La mesure de cette toxicité aiguë représente alors un étalon pour l'évaluation des dangers englobant la toxicité à long terme.

1.2 Mesure de la toxicité

La mesure de la toxicité se fait à partir de tests toxicologiques (Ramade, 1977) qui permettent de chiffrer le degré de sensibilité ou de résistance des animaux à des substances nocives.

Nous caractériserons la toxicité des pesticides vis-à-vis des lombriciens par deux critères :

- la CL50 (concentration létale 50) = concentration en pesticide du milieu entraînant la mort de 50 % des individus ;
- la CL 5 : concentration entraînant une mortalité de 5 % encore appelée P.P.C.S. (Plus Petite Concentration à effet Sensible) que l'on peut qualifier de plus petite dose ayant un effet nocif observable dans les conditions expérimentales sur la population testée.

Toutes les concentrations seront exprimées par rapport aux poids secs des polluants et du substrat.

En vue de la détermination de ces deux critères (CL 50, CL 5), on détermine la mortalité des animaux en fonction de la dose du contaminant dans le milieu. La représentation mathématique de ce phénomène est une fonction sigmoïde (Hadjibiros, Fayolle et Bouché, 1979) à partir de laquelle il est difficile d'exprimer les CL 50 et CL 5 théoriques.

Cette fonction sigmoïde peut être linéarisée par des transformations appropriées : c'est le modèle log-probit (Lowy, 1977).

Lowy (sous presse) donne les principales caractéristiques de ce modèle. A chaque dose de contaminant, on associe la probabilité de l'effet nul de cette dose (= survie) transformée en unité probit (annexe II).

Six valeurs sont nécessaires au calcul de la droite de régression : 4 valeurs pour des mortalités intermédiaires et 2 valeurs pour des mortalités extrêmes (nulle et totale).

Pour ne tenir compte que de la mortalité due au pesticide, on calcule la mortalité corrigée (Abbott, 1925) :

$$P'd = \frac{Pd - Po}{1 - Po}$$

P'd : mortalité corrigée du traitement d
Po : mortalité du témoin
Pd : mortalité observée du traitement.

Un test sur le coefficient de corrélation des points obtenus lors des essais donne le seuil de signification des valeurs calculées :

$$F = r \sqrt{\frac{(n - 2)}{1 - r^2}}$$

r : coefficient de corrélation
n : nombre de données.

Le F ainsi calculé comparé au F théorique lu dans une table de F (Snédécor et Cochran,1971) donne le seuil de signification. On considérera le test comme acceptable lorsque ce seuil sera inférieur à 5 %.

On a ainsi un modèle mathématique, le modèle log-probit, permettant les calculs des CL 50 et CL 5 et le classement des produits suivant ces deux facteurs.

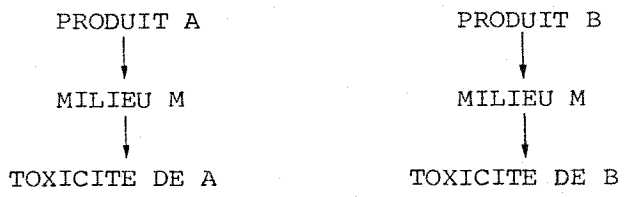
L'utilisation de ce modèle présente l'avantage de guider les manipulations (Hadjibiros, Fayolle et Bouché, 1979). En effet pour obtenir les 6 valeurs nécessaires au calcul de la droite de régression, une première série d'essais avec des concentrations de 1, 10, 100, 1000 ppm, par exemple, permet d'obtenir un cadrage de la zone des létalités intermédiaires,

une deuxième série d'essais dans cette zone permet d'obtenir les valeurs intermédiaires. D'autres séries seront mises en place jusqu'à l'obtention des 6 valeurs indispensables à l'application du modèle.

1.3 Exigences du test

La toxicité exprime la relation univoque pesticide-lombricien. Aussi le test doit-il éliminer l'interaction des facteurs externes. Or, la mise en contact des vers de terre et des pesticides ne peut se faire que dans un milieu propice à la vie des lombriciens et, par conséquent, dans un milieu qui devra être le plus "neutre" possible, neutralité indispensable à la comparabilité des résultats.

En effet, une action du milieu sur les pesticides impliquerait une modification de concentration, de dégradation, biaisant l'action propre du produit envers les lombriciens.



Le test donne par exemple : toxicité de A > toxicité de B dans le milieu M.

Il y aura comparabilité des résultats si le milieu a un comportement neutre ne modifiant pas les concentrations des produits et dans ce cas on pourra conclure à la toxicité de A supérieure à la toxicité de B.

Une autre exigence est la reproductibilité du test, reproductibilité dans le temps et dans l'espace. Pour obtenir une standardisation des résultats entre laboratoires et pour un même laboratoire à des périodes différentes, la conception du test doit être simple, utilisant des produits invariables, avec un mode opératoire bien défini de sorte que le milieu ainsi constitué soit constant quelques soient les manipulateurs.

Les qualités de rapidité de mise en place et de faible coût économique ne sont pas à négliger.

Ainsi de nombreux auteurs évaluent la toxicité de quelques pro-

duits mais chacun d'eux utilise le test de son choix de sorte que tous les résultats que nous pouvons trouver dans les publications nous donnent des valeurs qui ne sont pas comparables. C'est avant tout dans cet objectif de comparabilité des produits que le test que nous utilisons a été élaboré.

II. CONDUITE DU TEST DE LABORATOIRE

La conduite du test de laboratoire est celle décrite par Courvoisier (1979) à laquelle nous apportons quelques modifications dans un souci de précision de la méthode (nous travaillons avec des concentrations de 10^{-6}) également afin de simplifier les manipulations et prendre toutes les mesures de sécurité nécessaires à la manipulation des produits dangereux que sont les pesticides.

2.1 *Mode opératoire*

2.1.1 CONSTITUTION DU MILIEU D'ELEVAGE

Le milieu artificiel ou "artisol", à l'image de la constitution d'un sol, se compose d'un squelette et d'une matrice.

+ le squelette :

Des billes de verre noires, d'un diamètre de 20 ± 1,5 mm jouent le rôle de macroéléments créant une porosité dans l'artisol.

+ la matrice :

Une pâte de lévilite (poudre fine de silice hydratée amorphe commercialisée par Rhône-Poulenc) humidifiée à 240 % de son poids sec constitue ce que l'on peut appeler la matrice de l'artisol avec laquelle nous enroberons manuellement les billes de verre. Nous obtenons alors un sol artificiel qui convient parfaitement au mode de vie des vers de terre.

Dans une boîte plastique nous plaçons le sol artificiel avec les proportions suivantes en chacun des éléments :

2 850 g de billes
+ 180 g de lévilite
+ 430 g d'eau.

Ensuite, nous plaçons 20 vers de terre *Eisenia fetida andrei* (es-

cation d'un élevage correct et au calcul de la mortalité corrigée. Une mortalité supérieure à 10 % dans le témoin annule la série.

2.1.3 TRI DES BOITES EN FIN DE TEST

La séparation matrice, squelette, lombriciens, en fin d'expérience se fait par lavage sur tamis de 1,5 mm de maille retenant billes de verre et lombriciens.

Les billes de verre sont retirées et mises au nettoyage (trempées pendant 24 heures en présence de décontaminant tensio-actif) puis rincées, séchées et réutilisées dans les séries suivantes.

Les animaux vivants retenus par le tamis sont dénombrés, pesés. La comparaison avec les survivants du témoin permet le calcul de la mortalité corrigée de la boîte ainsi triée.

2.2 *Paramètres contrôlés*

2.2.1 DUREE DU TEST

Nous choisissons une durée de 14 jours dans deux objectifs :

- permettre l'expression de la toxicité du pesticide : lors des tests effectués par Courvoisier, certains animaux présentaient de nombreuses déformations (Bouché, comm. pers.). Ces animaux "moribonds" étaient voués à une mort proche. Nous ne retrouvons plus ces animaux lors de la plupart des essais à 14 jours, l'effet du caractère toxique semble alors définitif. Nous disposons donc d'un critère physiologique permettant de déterminer la durée du test : l'absence de "moribonds".
- obtenir rapidement des résultats sans compromettre la vie des vers de terre mis en élevage sans alimentation. Nous obtenons une mortalité de 1,8 % dans les témoins à 14 jours sur 280 animaux mis en élevage.

Cette durée paraît convenable pour la plupart des produits testés alors qu'elle est trop courte pour quelques uns (bénomyl). Des tests à 21 jours sont alors souhaitables.

2.2.2 TEMPERATURE

La température d'activité maximale d'*Eisenia fetida* est de 25 °C mais cette température ne se trouve que rarement dans les sols de nos régions et risque d'entraîner une dégradation rapide du pesticide aussi avons-nous retenu une température de 15 °C pour ces tests.

2.2.3 AERATION-HUMIDITE

Les boîtes d'élevage sont maintenues en légère surpression pour éviter l'action de l'air ambiant pouvant contenir des impuretés. Cette surpression résulte d'une ventilation légère (1 atm) d'air saturé en eau maintenant constante l'humidité de l'artisol.

2.2.4 LUMIERE

Bien que les vers de terre utilisés, *Eisenia fetida*, épigés corticaux, ne soient que peu lucifuges, les boîtes d'élevage sont maintenues à l'obscurité en chambre noire durant le test.

III. RESULTATS DES TESTS

3.1 Insecticides

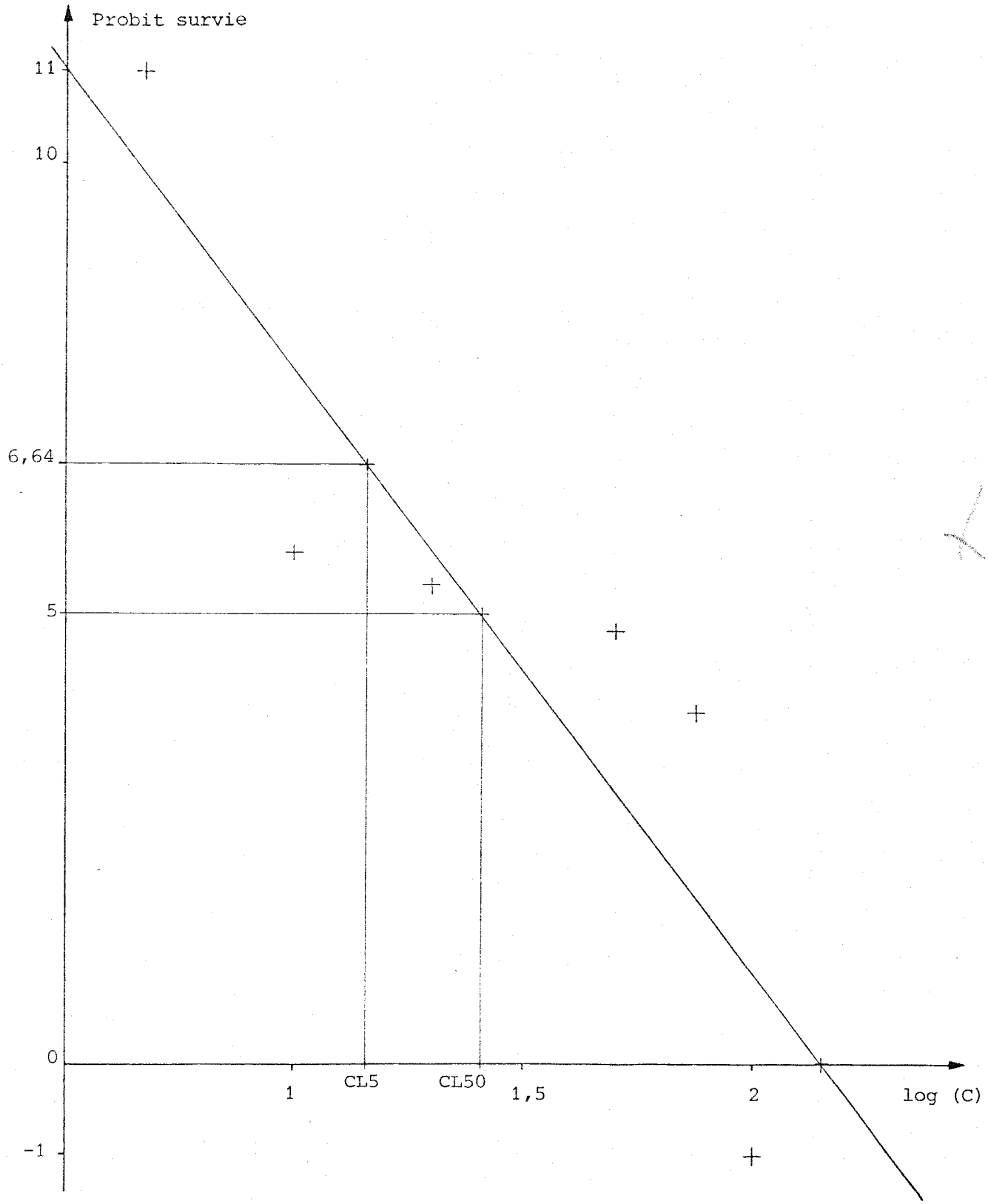
3.1.1 CARBARYL

De nombreux auteurs notent la toxicité du carbaryl. Il provoque des abscès sur les lombriciens (Aspock et Anderland, 1963) et également la mort des animaux.

La toxicité est observée au laboratoire. L'immersion dans une suspension à 1 % de carbaryl entraîne la mort des lombriciens (Anderland et Aspock, 1962).

Au terrain, Heungens (1969),Thompson (1970) notent des réductions importantes de la biomasse et du nombre de vers de terre entraînant une accumulation des débris végétaux à la surface du sol (Randell, Butler et Hugues, 1972 ; Atlavinyte, 1975).

Courvoisier (1979) trouve avec le test "artisol" (7 jours et 22,5 °C) une CL 50 = 11 ppm.



CARBARYL

Résultat du test à 14 jours et 15 °C

Concentration en ppm	Témoin	5	10	20	50	75	100
Survivants	20-19	19	15	12	8	1	0
Mortalité corrigée en %		0	25	36,85	60	94,74	100

Equation de la droite de régression : Y = - 6,7 X + 14,4

Coefficient de corrélation : r = 0,89

F calculé = 3,94 : seuil de signification 2,5 %

CL 50 = 25,6 soit 25 ppm

CL 5 = PPCS = 14,6 soit 14 ppm.

Nous exprimerons tous les résultats comme ci-dessus. Les CL 50 et CL 5 étant arrondies à l'unité inférieure.

Les témoins sont toujours au moins deux puisqu'il y en a un à chaque série de boîtes d'élevage. Ici pour la première série, le témoin donne 20 survivants et les doses 10, 50 et 100 ppm respectivement 15, 8 et 0 survivants. La deuxième série avec 19 survivants dans le témoin a permis d'obtenir les 6 valeurs indispensables à l'application du modèle log-probit.

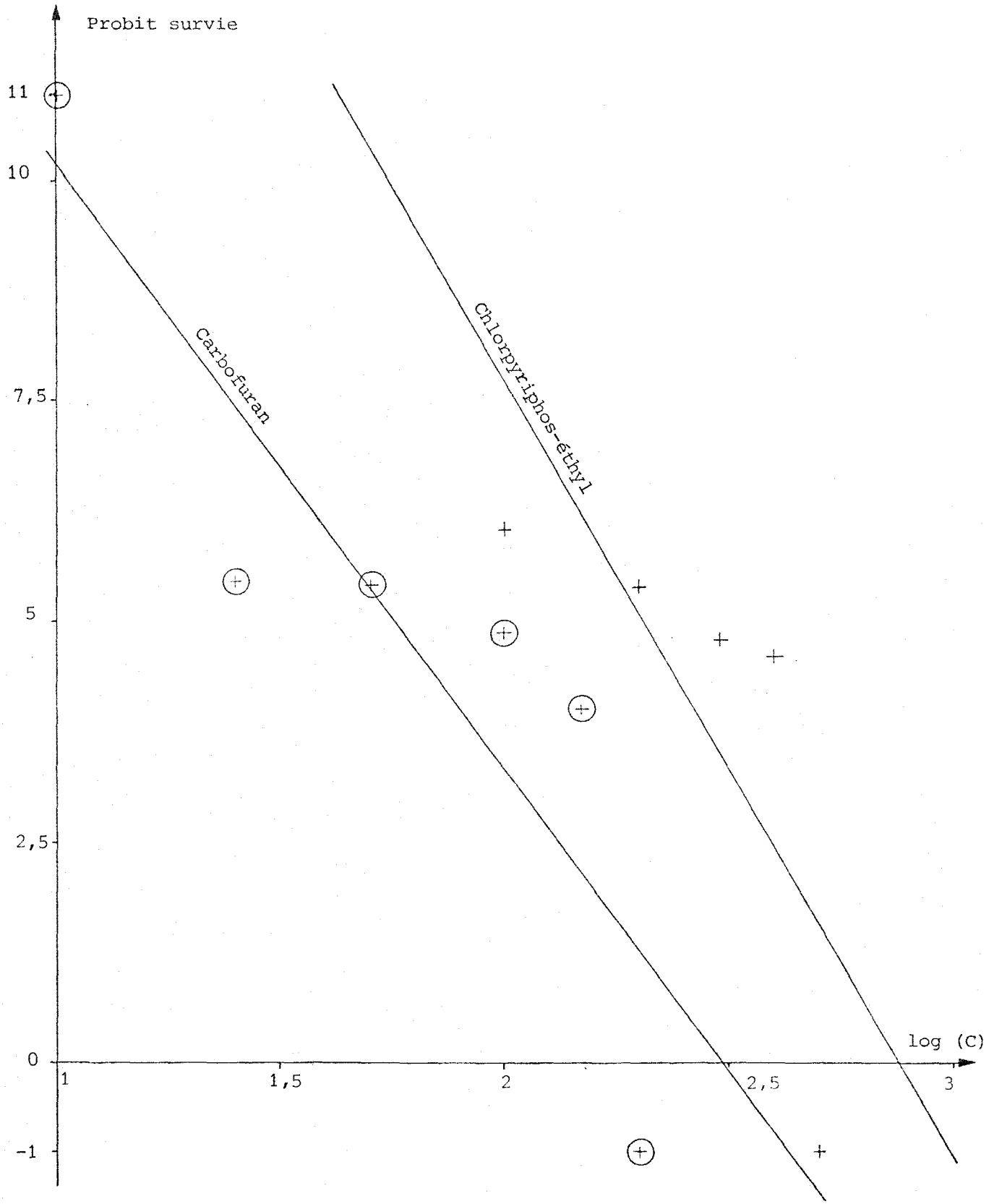
Les points ainsi obtenus permettent de calculer la droite de régression avec un coefficient de corrélation de 0,89 ce qui donne un seuil de signification de 2,5 % que nous accepterons jusqu'à 5 %.

Le test pour carbaryl est donc satisfaisant.

3.2.1 CARBOFURAN

Thompson (1970) après traitement au carbofuran, à la dose de 4,5 kg/ha, d'une prairie, observe une réduction de 60 % de la biomasse des vers de terre et de 80 % de leur nombre.

Ruppel et Laughlin (1977) notent une mortalité significative après un traitement à base de carbofuran en champ cultivé. Ils estiment à partir d'un test de laboratoire en sol reconstitué la CL 50 ramenée à l'hectare, soit 9 kg de matière active à l'hectare. Synonds (1975) note également l'effet toxique du carbofuran.



+ CHLORPYRIPHOS-ETHYL

⊕ CARBOFURAN

Finlayson, Campbell et Roberts (1975) comparent le carbofuran à d'autres insecticides concluant à l'action dévastatrice de ce premier.

Klein (1977) donne des mortalités de 25 % après un traitement au curater (carbofuran) ainsi qu'une réduction de l'enfouissement des débris végétaux : feuilles de betteraves, pailles.

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	10	25	50	100	150	200
Survivants	20-19	20	13	13	9	3	0
Mortalité corrigée en %		0	31,58	35	55	84,22	100

Equation de la droite de régression : $Y = - 6,8 X + 17$

Coefficient de corrélation : $r = 0,89$

F calculé = 3,85 : seuil de signification = 2,5 %

CL 50 = 57,01 soit 57 ppm

CL 5 = 32,76 soit 32 ppm.

3.1.3 CHLORPYRIPHOS-ETHYL

Ce produit apparaît moins toxique que le carbofuran. Appliqué au terrain à une dose de 1,6 kg/ha, il n'a pas d'action significative sur les lombriciens, sa CL 50 serait supérieure à 36 kg/ha (Ruppel et Laughlin, 1977).

Thompson (1970) donne une réduction de 20 % du nombre et 15 % de la biomasse des lombriciens après traitement d'une prairie par chlorpyriphos (Dursban) à une dose de 2,25 kg/ha.

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	10	50	100	200	300	400	500
Survivants	20-20-20	20	20	17	13	8	7	0
Mortalité corrigée en %		0	0	15	35	60	65	100

Equation de la droite de régression : Y = - 8,8 X + 25,4

Coefficient de corrélation : r = 0,88

F calculé = 3,73 : seuil de signification = 2,5 %

CL 50 = 205,17 soit 205 ppm

CL 5 = 133,5 soit 133 ppm

3.1.4 TERBUFOS

Comme pour chlorpyriphos, Ruppel et Laughlin (1977) lui font correspondre une toxicité supérieure à 36 kg/ha au terrain. Il aurait une action sur les lombriciens significative employé à la dose de 3,2 kg/ha et non significative à la dose de 1,6 kg/ha.

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	5	10	15	20	40	60	100	1000
Survivants	20-20-19	19	18	10	6	3	0	0	0
Mortalité corrigée en %		5	10	47,37	70	85	100	100	100

Equation de la droite de régression : Y = - 6,1 X + 11,9

Coefficient de corrélation : r = 0,87

F calculé = 3,56 : seuil de signification = 2,5 %

CL 50 = 13,64 soit 13 ppm

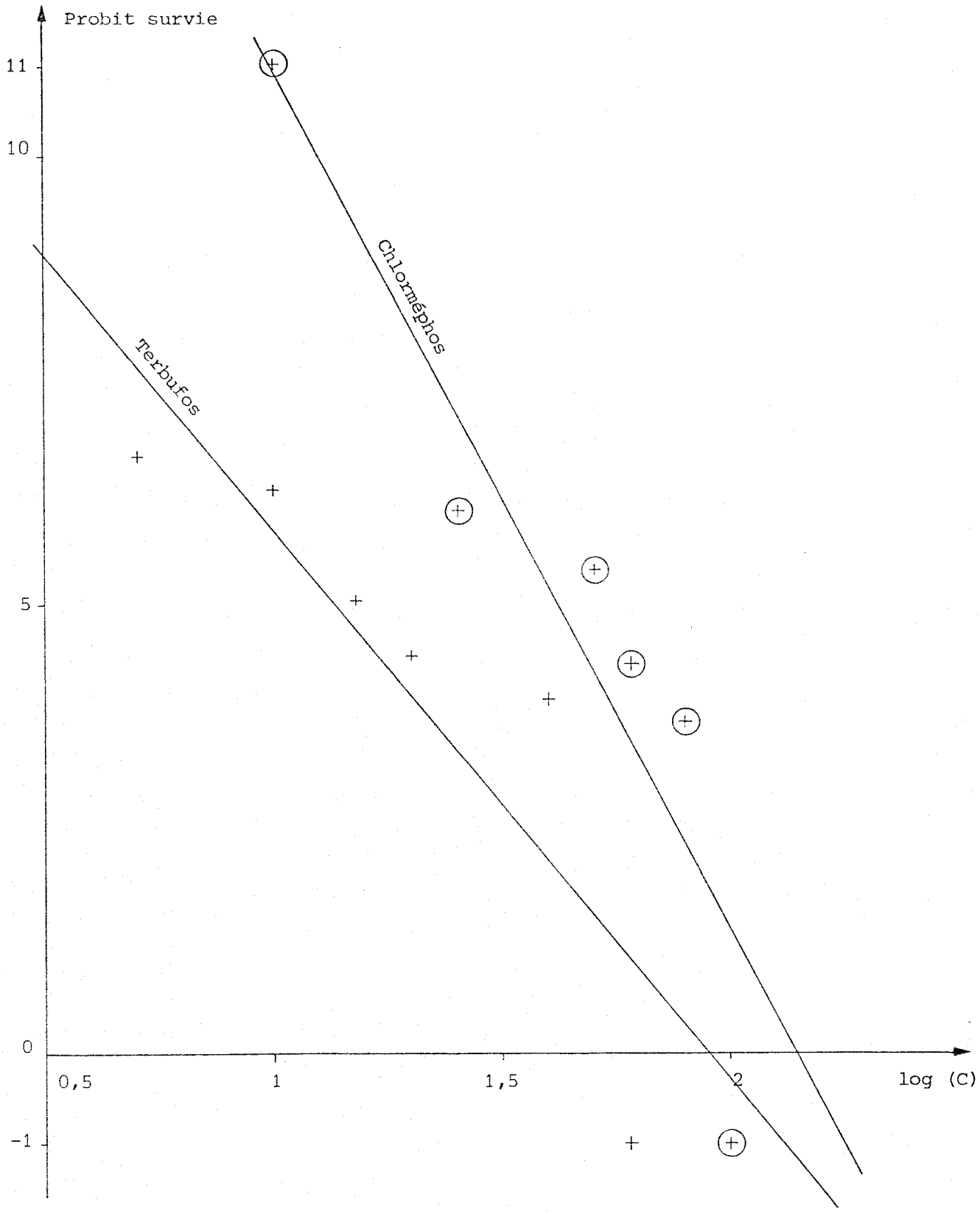
CL 5 = 7,35 soit 7 ppm

3.1.5 CHLORMEPHOS

Aucune publication ne mentionne ses effets sur les vers de terre.

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	10	25	50	60	80	100
Survivants	20-20	20	17	13	5	2	0
Mortalité corrigée en %		0	15	35	75	90	100



+ TERBUFOS

⊕ CHLORMEPHOS

Equation de la droite de régression : Y = - 9,7 X + 20,7

Coefficient de corrélation : r = 0,93

F calculé = 4,88 : seuil de signification = 1 %

CL 50 = 41,7 soit 41 ppm

CL 5 = 28,2 soit 28 ppm.

3.1.6 PYRETHRINES

Le produit utilisé pour ce test contient des pyréthrines mais également un insecticide bactériologique à base de *Bacillus thuringiensis*. On suppose que ce sont bien les pyréthrines qui tuent les vers de terre : Vlayen (1981), Benz et Altwego (1975) montre la non toxicité de *Bacillus thuringiensis* pour les lombriciens.

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	1	2,5	5	7,5	10
Survivants	20-18 20-20	20	17	14	13	5
Mortalité corrigée en %		0	15	30	35	75
Concentration en ppm		25	50	66,7	240	400
Survivants		0	0	2	0	0
Mortalité corrigée en %		100	100	90	100	100

Nous ne tiendrons pas compte de la boîte d'élevage à 66,7 ppm pour laquelle la survie de deux animaux paraît inexplicable hormis par une erreur de manipulation.

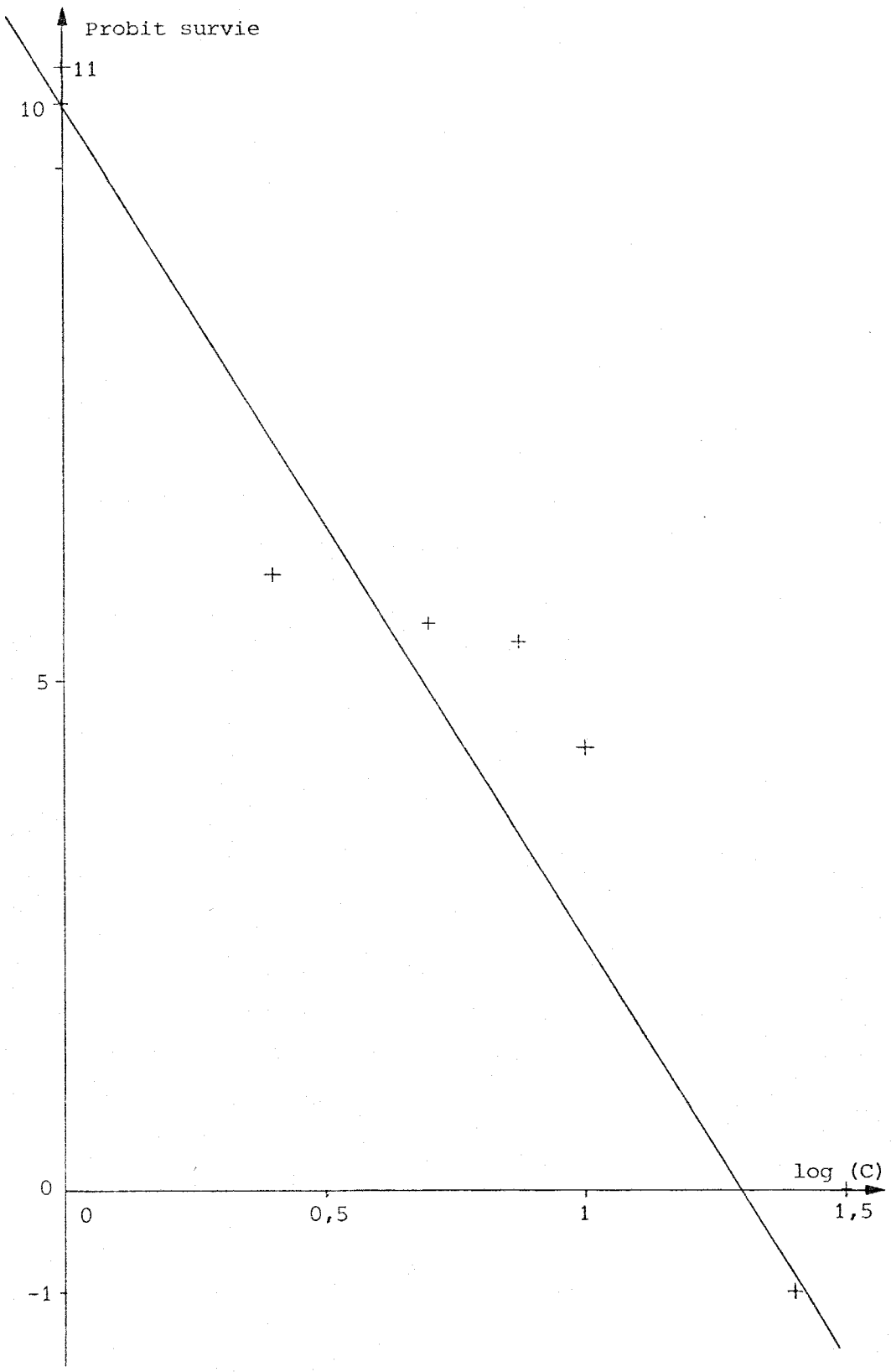
Equation de la droite de régression : Y = - 7,5 X + 10,7

Coefficient de corrélation : r = 0,95

F calculé = 6,07 : seuil de signification = 0,5 %

CL 50 = 5,71 soit 5 ppm

CL 5 = 3,44 soit 3 ppm



PYRETHRINES

3.2 *Fongicides*

3.2.1 BENOMYL

De nombreuses études se rapportent à ce produit suite à l'observation d'actions particulièrement géodrilicides : observations de diminution des populations lombriciennes et non consommation de la litière en vergers (Burchill, 1973 ; Cook et Swait, 1975 ; Tomlin et Gore, 1974 ; Crosse, 1974 ; Stringer et Lyons, 1977). Ces derniers estiment la CL 50 au champ pour *L. terrestris* à 218 g/ha et à 989 g/ha pour toutes les espèces confondues.

Fayolle (1979) donne pour l'espèce *A. chlorotica chlorotica* une CL 50 sur sol artificiel de 4600 ppm au bout de 7 jours et un temps létal 50 de 8 jours environ pour les doses 8,6 ppm et 86,2 ppm.

Courvoisier (1979) trouve pour bénomyl sur "artisol" une CL 50 de 123 ppm à 7 jours.

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	10	100	200	500	800	1000	2000
Survivants	19-20-19	16	12	17	11	5	4	0
Mortalité corrigée en %		15,79	36,85	15	42,11	73,69	80	100

Equation de la droite de régression : $Y = -2,1 X + 9,4$

Coefficient de corrélation : $r = 0,66$

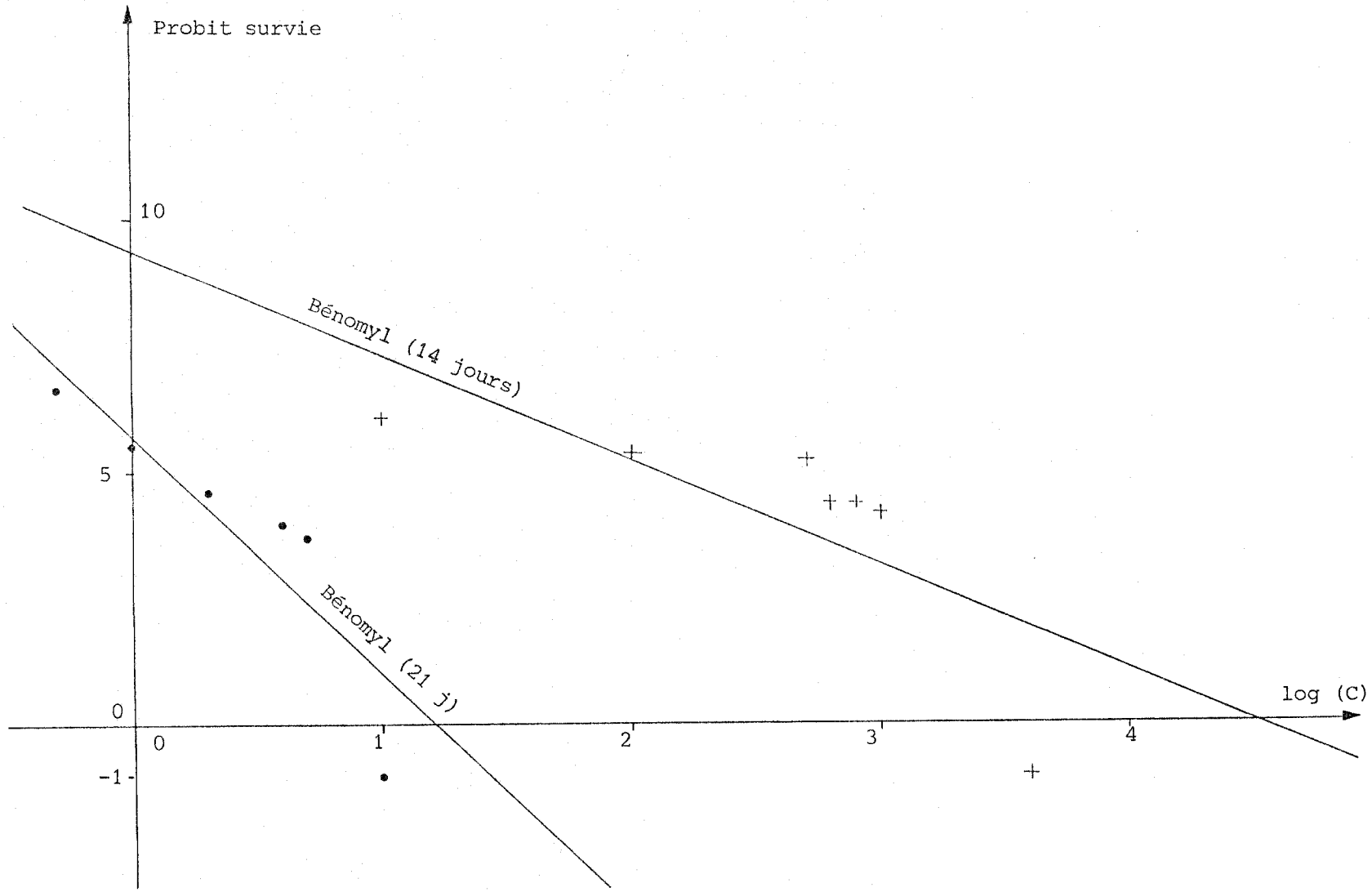
F calculé = 1,76 : seuil de signification = 20 %

CL 50 = 132,13 soit 132 ppm

CL 5 = 21,4 soit 21 ppm.

La difficulté rencontrée pour choisir les valeurs des doses de contamination se traduit par un coefficient de corrélation très bas et un seuil de signification faible ; le test n'est pas satisfaisant.

Nous observons lors du dépouillement des boîtes que les mortalités s'échelonnent de 10 à 2000 ppm avec aucune dose à effet nul ou faible, que les valeurs des mortalités s'imbriquent mal (17 survivants à 200 ppm



+ BENOMYL (14 jours)

• BENOMYL (21 jours)

alors qu'il y en a seulement 12 à 100 ppm et 11 à 500 ppm), que les survivants présentent de nombreuses déformations, quelquefois des portions mortes (extrêmités flasques, incolores, se détachent en tirant légèrement) (photos 3 et 4, annexe IV).

Suite à ces observations, nous effectuons des tests à 21 jours pour observer le devenir de ces animaux moribonds.

Résultat du test "artisol" à 21 jours

Concentration en ppm	Témoin	0,5	1	2	4	5
Survivants	20-20 20	18	14	7	3	2
Mortalité corrigée en %		10	30	65	85	90

Concentration en ppm		10	50	100	200
Survivants		0	0	0	0
Mortalité corrigée en %		100	100	100	100

Equation de la droite de régression : $Y = -4,7 X + 5,6$

Coefficient de corrélation : $r = 0,87$

F calculé = 3,61 : seuil de signification = 2,5 %

CL 50 = 1,4 ppm soit <u>1 ppm</u>

CL 5 = <u>0,6 ppm</u>.

Bien que l'on n'ait pas de dose à effet nul, on peut considérer les résultats comme satisfaisants : le coefficient de corrélation voisin de 0,9 donnant un seuil de signification de 2,5 %. De plus, expérimentalement, les résultats s'associent parfaitement avec un témoin sans mortalité dans les 3 séries. L'intervalle des mortalités intermédiaires apparaît bien localisé (inférieur à 10 ppm). On observe aux doses de 1 et 0,5 ppm des animaux apparemment "bien vivants", sans déformations (photo 1, annexe IV) alors que pour les valeurs 2, 4 et 5 il persiste des animaux moribonds (photo 2, annexe IV).

Nous pouvons mettre cela en relation avec les résultats bénomyl

à 14 jours où un bon nombre de survivants étaient marqués de déformations.

La durée du test dans le cas précis du bénomyl semble convenable à 21 jours. A 28 jours, nous n'aurions certainement plus les valeurs pour les concentrations 2, 4 et 5 ppm mais pour les valeurs 0,5 et 1 ppm, on peut espérer retrouver le même nombre de survivants.

3.2.2 THIRAME

Courvoisier (1979) donne une CL 50 à 7 jours de 22 ppm mais le test n'est que peu significatif (3 valeurs de mortalité intermédiaire et seuil de signification de 5 %).

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	10	50	100	150	175
Survivants	20-19 20	20	19	19	20	20
Mortalité corrigée en %		0	5	5	0	0
Concentration en ppm		200	250	300	400	500
Survivants		16	14	12	9	0
Mortalité corrigée en %		20	30	40	55	100

Equation de la droite de régression : $Y = -18,9 X + 51,7$

Coefficient de corrélation : $r = 0,87$

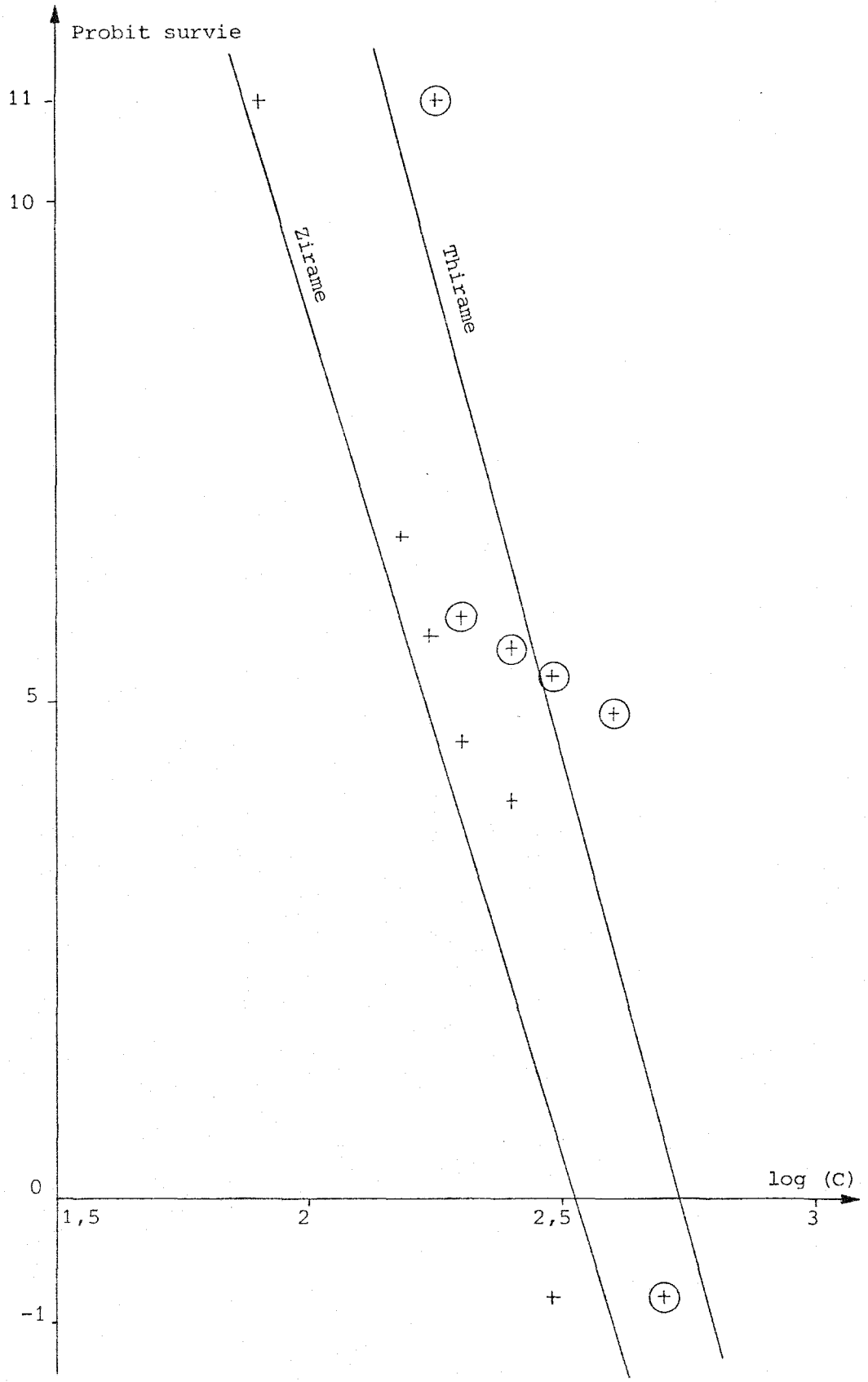
F calculé = 3,53 : seuil de signification = 2,5 %

CL 50 = 292,7 soit 292 ppm

CL 5 = 239,6 soit 239 ppm.

3.2.3 ZIRAME

De même que pour thirame, le test à 7 jours fait par Courvoisier est insuffisant : 2 valeurs intermédiaires, seuil de signification 10 %. La CL 50 trouvée est de 80 ppm.



+ ZIRAME

⊕ THIRAME

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	50	80	100	150	175
Survivants	20-19 20-20	20	20	19	19	15
Mortalité corrigée en %		0	0	5	5	25
Concentration en ppm		200	250	300	500	
Survivants		7	3	0	0	
Mortalité corrigée en %		65	85	100	100	

Equation de la droite de régression : Y = - 18,5 X + 46,8

Coefficient de corrélation r = 0,95

F calculé = 6,35 : seuil de signification = 0,5 %

CL 50 = 168,9 soit 168 ppm

CL 5 = 147,6 soit 147 ppm.

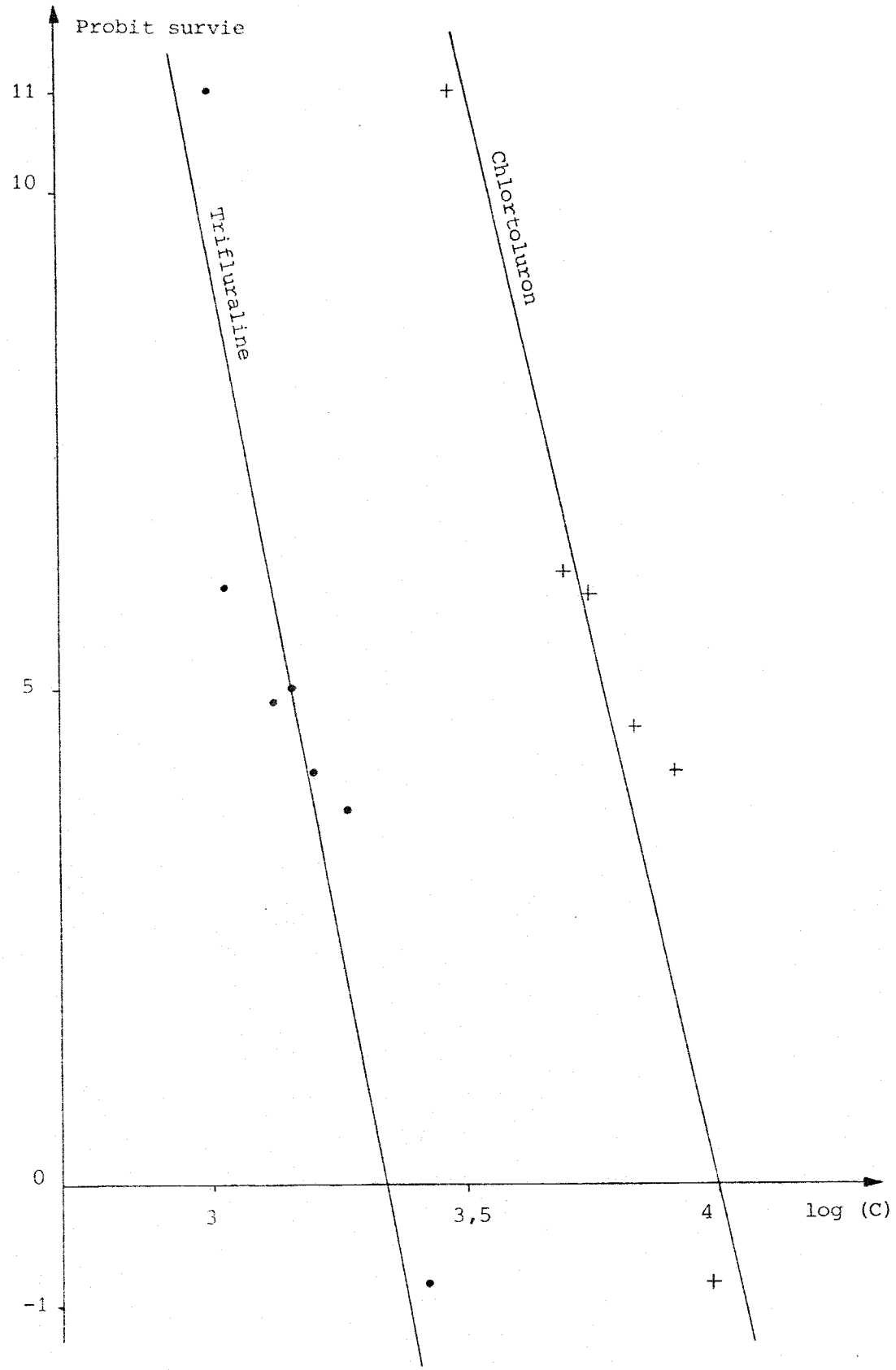
3.3 *Herbicides*

3.3.1 TRIFLURALINE

Finlayson, Campbell et Roberts (1975) montrent qu'associé au propachlor aux doses respectives de 0,6 et 2,2 kg/ha, ils n'ont pas d'action destructrice pour les lombriciens.

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	10	50	100	1000	1067	1333
Survivants	20-18-20	20	19	20	20	17	9
Mortalité corrigée en %		0	5	0	0	15	55
Concentration en ppm		1600	1866	2667	4000	5333	
Survivants		4	2	0	0	0	
Mortalité corrigée en %		80	89	100	100	100	



+ CHLORTOLURON

• TRIFLURALINE

Equation de la droite de régression : Y = - 22,6 X + 76,7

Coefficient de corrélation : r = 0,93

F calculé = 4,98 : seuil de signification = 1 %

CL 50 = 1477 soit 1480 ppm

CL 5 = 1249 soit 1250 ppm

3.3.2 CHLORTOLURON

En tant qu'urée substituée, on peut s'attendre à une toxicité faible (Bachelier, 1963).

Résultat du test "artisol" à 14 jours

Concentration en ppm	Témoin	200	500	800	2000	3000
Survivants	20-20 20	20	20	20	20	20
Mortalité corrigée en %		0	0	0	0	0
Concentration en ppm		5000	5560	6940	8333	9720
Survivants		18	16	7	4	0
Mortalité corrigée en %		10	20	65	80	100

Equation de la droite de régression : Y = - 20 X + 81

Coefficient de corrélation : r = 0,95

F calculé = 5,78 : seuil de signification = 0,5 %

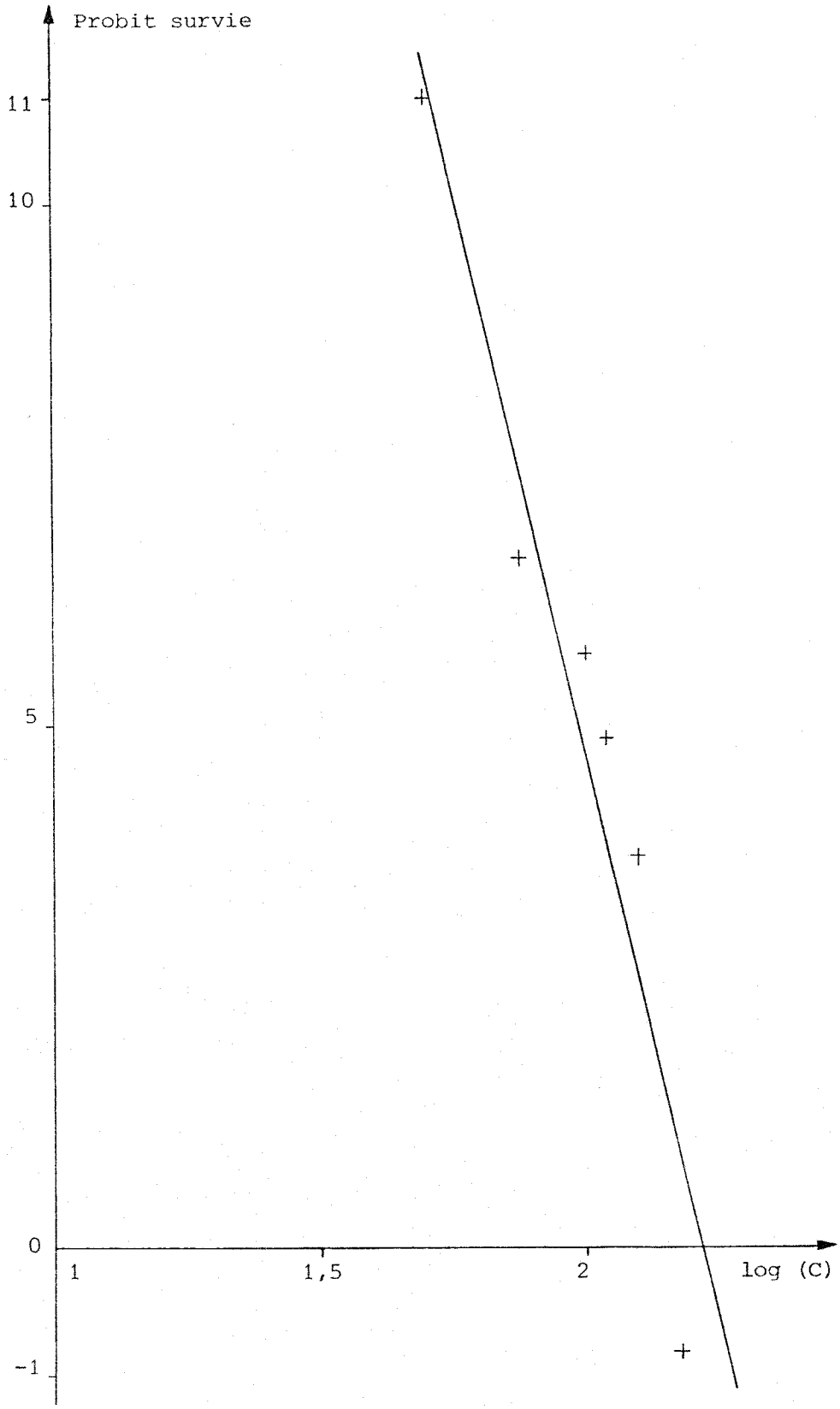
CL 50 = 6108 soit 6100 ppm

CL 5 = 5057 soit 5050 ppm.

3.4 *Nématicide : dazomet*

Testé par Courvoisier à 7 jours, il a une CL 50 de 475 ppm mais le test est insuffisant (3 valeurs intermédiaires).

Nous pouvons remarquer l'intervalle très réduit des mortalités intermédiaires qui se traduit par des CL 50 et CL 5 très proches, 97 et 81 ppm.



DAZOMET

Concentration en ppm	Témoin	10	50	75	100	110	125
Survivants	20-20 19-20	20	20	18	15	9	2
Mortalité corrigée en %		0	0	5,27	25	55	89,48
Concentration en ppm		150	200	300	500	1000	1500
Survivants		0	0	0	0	0	0
Mortalité corrigée en %		100	100	100	100	100	100

Equation de la droite de régression : Y = - 21,7 X + 48,2

Coefficient de corrélation : r = 0,95

F calculé = 6 : seuil de signification = 0,5 %

CL 50 = 97,37 soit 97 ppm

CL 5 = 81,78 soit 81 ppm.

3.5 *Récapitulatif des résultats*

Voici un classement des produits que nous venons de tester selon leur toxicité décroissante envers les lombriciens, toxicité exprimée par la CL 50.

Produit	CL50 (ppm) lombriciens	CL5 (ppm) lombriciens	Coefficient de corrélation	Seuil de signification	CL50 (ppm) rat *(1)*
Bénomyl (21 j.)	1,4	0,6	0,87	2,5 % (++)	10 000
Pyréthrines	5	3	0,95	0,5 % (++)	584 à 900
Terbufos	13	7	0,87	2,5 % (+)	4,5 à 9
Carbaryl	25	14	0,89	2,5 % (+)	850
Chlormephos	41	28	0,93	1 % (++)	7
Carbofuran	57	32	0,89	2,5 % (+)	8 à 14
Dazomet	97	81	0,95	0,5 % (++)	640
Bénomyl (14 j.)	132	21	0,66	20 % (-)	10 000
Zirame	168	147	0,95	0,5 % (++)	1 400
Chlorpyriphos-éthyl	205	133	0,88	2,5 % (+)	163
Thirame	292	239	0,87	2,5 % (+)	375 à 875
Trifluraline	1 480	1 250	0,93	1 % (++)	10 000
Chlortoluron	6 100	5 050	0,95	0,5 % (++)	10 000

TABLEAU V : Résultats des tests "artisol" à 14 jours.

(1) : d'après A.C.T.A., 1980 ++ : hautement significatif

\+ : significatif - : non significatif

IV. INTERPRETATION DES RESULTATS

4.1 Résultats précédemment acquis avec le test artisol

Courvoisier (1979) testa 17 pesticides mais les résultats ne furent pas satisfaisants (application au modèle log-probit) pour tous ces produits. Aussi l'idée de compléter les résultats par la mise en élevage de boîtes contaminées aux doses manquantes fut mise en pratique. Fayolle compléta les valeurs pour quelques produits (lindane, thiophanate-méthyl, méthiocarbe) et nous avons complété également quelques produits (2.4.5.T, endosulfan, triallate, bromophos, phosalone).

Le tableau VI récapitule les résultats des tests "artisol" à 7 jours (température de 22,5 °C) (p. 74).

En complétant les valeurs obtenues deux années auparavant, nous avons vérifié la reproductibilité du test. Pour 8 produits les valeurs obtenues correspondent aux valeurs acquises par Courvoisier, cependant pour un produit (le zirame) nous ne retrouvons pas les résultats. Ce produit sera repris pour les essais à 14 jours.

4.2 Interprétation des résultats des tests à 14 jours

Encore une fois tous les produits testés sont toxiques pour les lombriciens. Les toxicités, exprimées par la CL 50, s'échelonnent de 1,4 à 6 100 ppm (la figure 3 classe les pesticides selon leur toxicité décroissante) (p. 75). On peut regrouper les produits par classes de toxicité. Par exemple :

- classe I : Produits très toxiques : log (CL 50) < 1
  - . bénomyl (fongicide carbamate), CL 50 = 1,4 ppm
  - . pyréthrines (insecticide d'origine végétale), CL 50 = 5 ppm
- classe II : Produits toxiques : 1 < log (CL 50) < 2
  - . terbufos (insecticide organo-phosphoré), CL 50 = 13 ppm
  - . carbaryl (insecticide carbamate), CL 50 = 25 ppm
  - . chlormephos (insecticide organo-phosphoré), CL 50 = 41 ppm
  - . carbofuran (insecticide carbamate), CL 50 = 57 ppm
  - . dazomet (nématicide carbamate), CL 50 = 97 ppm

Produit testé	Nature	CL 50	Seuil	Source
Carbaryl	Insecticide	11	+	Courvoisier
Endosulfan	Insecticide	12	-	Courvoisier
(2ème essai)	Insecticide	< 10	++	Original
Thirame	Fongicide	22	+	Courvoisier
Méthiocarbe	Molluscicide	41	++	Courvoisier
(2ème essai)	Molluscicide	47	++	Original
Thiofanox	Insecticide	67	++	Courvoisier
Zirame	Fongicide	80	-	Courvoisier
Phosalone	Insecticide	94	++	Courvoisier
(2ème essai)	Insecticide	61	++	Original
Triallate	Herbicide	115	-	Courvoisier
(2ème essai)	Herbicide	183	++	Original
Bénomyl	Fongicide	124	+	Courvoisier
Diquat	Herbicide	258	++	Courvoisier
Bromophos	Insecticide	263	++	Courvoisier
(2ème essai)	Insecticide	270	++	Original
Lindane	Insecticide	311	++	Courvoisier
(2ème essai)	Insecticide	275	++	Original
Thiophanate-éthyl	Fongicide	350	+	Courvoisier
Dazomet	Nématicide	475	+	Courvoisier
Carbendazime	Fongicide	534	+	Courvoisier
2.4.5.T	Herbicide	801	-	Courvoisier
(2ème essai)	Herbicide	524	+	Original
Thiophanate-méthyl	Fongicide	1 117	++	Courvoisier
(2ème essai)	Fongicide	995	++	Original

TABLEAU VI

Résultats des tests "artisol" à 7 jours.

- : non significatif

+ : significatif

++ : hautement significatif

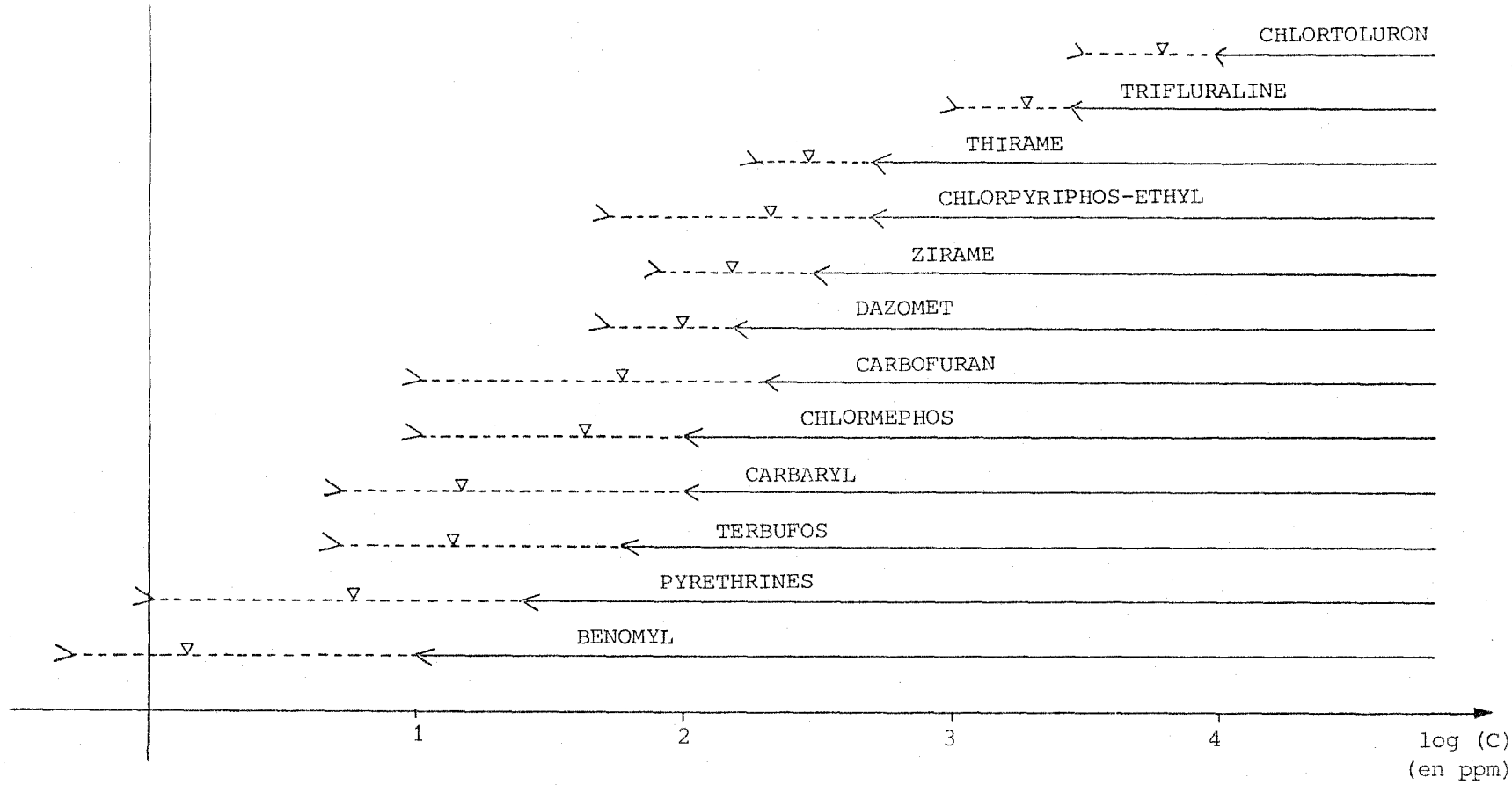


FIGURE 3 : classement de 12 pesticides selon leur toxicité vis-à-vis des lombriciens

> : plus grande concentration à effet létal nul
----- : zone de létalité intermédiaire
< : plus petite concentration à effet létal total
——— : zone de létalité totale

} Observées expérimentalement

▽ : CL 50 (constante) calculée

- classe III : Produits peu toxiques : 2 < log (CL 50) < 3
  . zirame (fongicide carbamate), CL 50 = 168 ppm
  . chlorpyriphos (insecticide organo-phosphoré), CL 50 = 205 ppm
  . thirame (fongicide carbamate), CL 50 = 292 ppm.
- classe IV : Produits très peu toxiques : log (CL 50) > 3
  . trifluraline (herbicide, toluidine), CL 50 = 1 480 ppm
  . chlortoluron (herbicide, urée substituée), CL 50 = 6 100 ppm.

Notons quelques observations à propos de ces résultats : la toxicité particulièrement élevée des pyréthrines et du bénomyl.

L'ensemble des insecticides a une toxicité très élevée bien qu'ils se présentent sous forme de microgranulés à faible teneur en matière active (2 à 5 %). Une comparaison des toxicités de ces microgranulés amène à la conclusion de l'effet le moins toxique pour le chlorpyriphos-éthyl.

Les fongicides (excepté le bénomyl) apparaissent moins toxiques que les insecticides mais cette différence reste faible, le moins toxique étant le thirame avec une CL 50 de 292 ppm donc pas très éloignée de la toxicité des insecticides de la classe II.

Le cas du bénomyl pose un problème. En effet, le produit toxique pour les lombriciens n'est pas le bénomyl lui-même, mais un de ses produits de dégradation : le carbendazime dont la toxicité pour les lombriciens est très élevée (Prasad et Moody, 1974). Aussi lorsqu'on prolonge l'expérience on obtient une toxicité très élevée (CL 50 à 21 jours = 1,4 ppm) : toxicité bien supérieure aux doses appliquées au champ si l'on prend comme hypothèse que l'application se fait uniformément et que le produit diffuse sur le premier centimètre du sol. Dans ce cas, 1 kg de matière active à l'hectare donne une concentration de 8,3 ppm (Fayolle, 1979).

La nature chimique de la molécule influe sur la toxicité. Carbamates et organo-phosphorés étant les plus toxiques. Courvoisier donne pour le triallate, herbicide carbamate, une CL 50 de 115 ppm, de l'ordre de celle du bénomyl ou du zirame, très éloignée des herbicides issus d'urées substituées ou toluidine.

4.3 Conclusions des tests en milieu "artisol"

Comme nous l'avons vérifié, ce test est reproductible et peut être pratiqué par tout manipulateur et en tout lieu.

Autres avantages : son faible coût, sa mise en oeuvre simple, nécessitant seulement billes de verre, lévilite et eau.

La souche lombricienne utilisée s'obtient facilement en élevage de laboratoire. De plus, l'adaptation de cette souche au milieu d'élevage permet d'obtenir des résultats fiables.

En effet, les mortalités observées durant les essais dans les boîtes témoins :

- essais à 7 jours : 0 % de mortalité sur 60 individus
- essais à 14 jours : 1,8 % de mortalité sur 280 individus
- essais à 21 jours : 0 % de mortalité sur 60 individus.

prouvent que les mortalités observées dans les boîtes contaminées résultent de l'action toxique du traitement.

Tous les animaux utilisés pour les tests ont été pesés avant et après mise en élevage. Une analyse de variance montre que les pertes de poids suite au séjour de deux semaines sans alimentation dans l'artisol ne sont pas significatives (annexe III).

L'élevage sans alimentation durant 14 jours est possible et évite les problèmes de l'apport d'aliments au cours du test, c'est-à-dire les problèmes de contamination de l'aliment, d'ingestion, de développement de moisissures... qui risquent d'introduire un facteur de mortalité incontrôlé.

La durée de 14 jours s'est avérée satisfaisante pour les produits testés ici excepté le bénomyl. Nous avons vu que nous disposions d'un critère physiologique d'appréciation de la durée du test : absence d'animaux "moribonds". Si nous prolongions la durée des tests, le nombre de survivants des boîtes contaminées devrait rester constant. On peut donc qualifier de CL 50 constante la CL 50 calculée à partir des résultats obtenus ; la durée du test ne modifiant plus la valeur de la CL 50 calculée.

Certains points manquent encore de précision.

Les phénomènes d'adsorption des pesticides dans l'artisol restent inconnus. Une étude sur les possibilités d'adsorption du milieu artisol permettrait une interprétation plus juste des toxicités mesurées. Cependant l'homogénéité de l'artisol fait que les différences d'adsorption ne sont fonction que des propriétés des pesticides et non de variations du milieu qui reste constant : la comparabilité des résultats n'est pas remise en cause.

L'apport de produits techniques, où simultanément à l'apport de pesticides (matière active) nous apportons des adjuvants (colorants, stabilisants, émulsifiants..) contenus dans les produits commerciaux, crée une disparité dans l'expression de la toxicité des pesticides. La commission européenne considère que les tests doivent se faire à partir des produits commerciaux, ainsi pour une même matière active il est possible d'obtenir des valeurs de toxicité légèrement différentes selon les spécialités commerciales utilisées : il est important de préciser le produit technique utilisé dans les tests.

Le test de screening (test de laboratoire) porte sur les relations univoques, un produit, un effet et ne permet pas de répondre aux effets complexes du produit dans les agroécosystèmes. Il permet cependant de se faire une opinion sur les inconvénients que peut provoquer l'apport d'une nouvelle molécule dans les terrains agricoles. A partir des toxicités observées au laboratoire et des quantités de pesticide appliquées au champ, il est possible de définir un indice d'appréciation des dangers d'un traitement que nous nommerons : danger potentiel d'un traitement chimique (D) :

$$D = \frac{\text{dose appliquée (en g de matière active/ha)}}{\text{CL 50 constante (en ppm)}}$$

Cet indice appliqué à des produits ayant la même utilisation devient un critère de choix du produit de traitement à utiliser. Par exemple, si l'on applique cet indice pour les traitements insecticides des sols en localisation, on obtient la classification suivante des produits testés en milieu artificiel selon leurs dangers décroissants :

terbufos : 13,8

carbofuran : 10,5

chlormephos : 7,3

chlorpyriphos-éthyl : 2,4

L'utilisation du chlorpyriphos-éthyl minimiserait les dangers vis-à-vis des lombriciens d'un traitement insecticide des sols.

Un indice de ce type, appliqué aux différents traitements phytosanitaires permettrait l'emploi des pesticides les moins géodrilicides et donc la préservation des qualités biologiques des sols par l'intermédiaire des lombriciens.

CONCLUSION

L'étude des relations pesticides-lombriciens nous amène à tenter une quantification des dangers de l'utilisation des pesticides envers les lombriciens.

L'expression d'un tel phénomène apparaît fonction d'un grand nombre de facteurs : nature du sol, conditions climatiques au moment de l'application du pesticide, mode d'apport du pesticide, propriétés de la molécule chimique (solubilité, volatilité, ...), souches lombriciennes en présence et, bien entendu, toxicité proprement dite du pesticide.

Exprimer les dangers au champ à partir d'expériences de terrain s'avère pratiquement impossible compte tenu du nombre de facteurs incontrôlés dans le milieu naturel et des imprécisions des méthodes de prélèvement des lombriciens. Aussi est-on contraint d'estimer chaque paramètre au laboratoire et d'extrapoler sa répercussion dans le milieu naturel. C'est ce que nous avons tenté dans cette étude : exprimer la toxicité de quelques pesticides afin de donner une évaluation de leurs dangers.

L'examen des situations agricoles nous montre la pauvreté en lombriciens des zones de cultures intensives qui subissent des traitements chimiques nombreux et variés. Les pratiques culturales, dont l'apport de pesticides, présentent des dangers pour les lombriciens. Les populations lombriciennes ont presque disparu des zones ainsi cultivées, les animaux les plus touchés étant les anéciques dont le rôle agronomique est primordial. Ceci peut expliquer les problèmes de cultures des terrains visités suite à une imperméabilisation, au compactage et à la battance de ces sols.

Les tests effectués avec le milieu artisol depuis 1979 donnent une évaluation correcte de la toxicité, exprimée par la CL 50, d'environ 25 produits. Ces tests confirment les observations et résultats des études déjà effectués pour ces produits. La reproductibilité et la comparabilité des résultats des tests en artisol permet de classer les pesticides selon leur toxicité, même si la détermination de cette toxicité s'est faite à

des dates et lieux différents.

Nous pouvons conclure ainsi à la toxicité élevée des insecticides et fongicides carbamates et organo-phosphorés.

Bien que le nombre de produits testés dans le milieu artisol reste faible, son admission comme test standard au niveau européen permet d'espérer un développement des connaissances des dangers vis-à-vis des lombriciens, causés par l'application de produits chimiques dans les agroécosystèmes et de limiter ainsi les conséquences dévastatrices pour les populations lombriciennes de l'emploi aveugle de pesticides en agriculture.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABBOTT, W.S., 1925 - Methods of computing effectiveness of an insecticide. J. econom. entomol., 18, 265-267.

A.C.T.A., 1980 - Index phytosanitaire, 1-464.

ANDERLAND, E., & H. ASPOCK, 1962 - Zur Wirkung von Sevin auf Regenwürmer. Anz. Schädlingskunde, 35, 180-182.

ASPOCK, H. & E. ANDERLAND, 1963 - Oekologische Auswirkungen und physiologische Besonderheiten des Pflanzenschutsmittels Sevin (I-Naphthyl-N-methyl carbamat). Z. angew. zool., 50, 343-380.

ATLAVINYTE, O., 1975 - The effect of chemical substances on the activity of Lumbricidae in the process of straw desintegration. Progress in soil zoology, 515-519.

BACHELIER, G., 1963 - La vie animale dans les sols. Ed. O.R.S.T.O.M., Paris, 1-279.

BENZ, G., & A. ALTWEGO, 1975 - Safety of *Bacillus thuringiensis* for earthworms. J. invert. pathol., 26, 125-126.

BEUGNOT, M., 1978 - Recherches sur la dynamique de production des turricules de vers de terre d'une prairie permanente. D.E.S., Fac. sci. vie environ., univ. Dijon, 13 janv. 1978, 1-55.

BHATNAGAR, T., 1975 - Lombriciens et humification : un aspect nouveau de l'incorporation microbienne d'azote induite par les vers de terre. In Kilbertus et al. "Biodégradation et humification", éd. Pierron, Sarreguemines, France, 169-182.

BOUCHE, M.B., 1969 - Comparaison critique de méthodes d'évaluation des populations de Lombricidés. Pedobiologia, 9, 1/2, 26-34.

BOUCHE, M.B., 1972 - Lombriciens de France. Ecologie et systématique. Ed. I.N.R.A., Ann. Zool. - écol. anim., N.S., 72-2, 1-671.

BOUCHE, M.B., 1974 - Le ver de terre : un laboureur biologique. Le Monde, 9 janv. 1974, dossier du Monde des Sciences et Techniques, p. 14.

BOUCHE, M.B., 1977 - Stratégies lombriciennes. In U. Lohm et T. Persson "Soil organisms as components of ecosystems". Proc. 6th. int. coll. soil zool. Ecol. bull. (Stockholm), 25, 122-132.

BOUCHE, M.B., 1978 a - Fonctions des lombriciens. I. Recherches françaises et résultats d'un programme forestier coopératif. (R.C.P.-40). Bull. scient. Bourgogne, 30, 139-228.

BOUCHE, M.B., 1978 b - Production et flux d'énergie des lombrics dans les sites du P.B.I. : Pin du Haras (Borculo). In G. Ricou "Le Haras du Pin", P.B.I., lab. zool., I.N.R.A., Rouen, 4, 74-94.

BOUCHE, M.B., 1979 - Conséquences de l'apport de contaminants sur les lombriciens. I. Problèmes en cause et méthodologie. DocV pédozool., 1, 1, 2-22.

BOUCHE, M.B., 1980 - Valorisation des résidus végétaux directement au terrain : le labour et la fertilisation par les lombriciens, un potentiel à développer. C.R. coll. intern. "Agriculture et énergie", C.E.N.E.C.A., Paris, 1980, 3213, 1-4.

BOUCHE, M.B., & L. FAYOLLE, 1981 - Effets des fongicides sur quelques éléments de la pédofaune : conséquences économiques. Coll. effets non intentionnels fongic., Paris, éd. Soc. fran. phytiatrie-phytopharmacie, 107-121.

BURCHILL, R.T., 1973 - Fungicides are affecting earthworm activity. Commercial grower, January 26, p. 135.

COOK, M.E., & A.A.J. SWAIT, 1975 - Effects of some fungicide treatments on earthworm populations and leaf removal in apple orchards. J. hort. sci., 50, 4, 495-499.

COURVOISIER, C., 1979 - Mise au point d'un test pesticides vis-à-vis des lombriciens. Mémoire-thèse E.N.I.T.A., 1979, 1-105.

CROSSE, J.E., 1974 - Plant pathology - C 757, Rep. E. Malling Res. Stn for 1973-1974, 131-154.

CUENDET, G., 1979 - Etude du comportement alimentaire de la mouette rieuse (*Larus ribibundus* L.) et de son influence sur les peuplements lombriciens. Thèse de doctorat, fac. sci. de l'univ. Lausanne, 1979, 1-111.

DELAMARE-DEBOUTTEVILLE, C., 1963 - Préface. In Bachelier, G., "La vie ani-

male dans les sols", éd. O.R.S.T.O.M., Paris, 7-8.

DEBAUCHE, 1958 - Cité par G. Bachelier, 1963.

DUCHAUFOUR, P., 1965 - Précis de pédologie. Ed. Masson et Cie, Paris, 1-481.

EVANS, A.C., 1948 - Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. II. Some effects of earthworms on soil structure. Ann. appl. biol., 35, 1, 1-13.

EVANS, A.C., & W.J.McL. GUILD, 1947 - Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. I. Biological studies in the field. Ann. appl. biol., 34, 3, 307-330.

EVANS, A.C., & W.J.McL. GUILD, 1948 - Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. V. Field populations. Ann. appl. biol., 35, 4, 485-493.

FAYOLLE, L., 1979 - Conséquences de l'apport de contaminants sur les lombriciens. III. Essais de laboratoire. Doc. Pédozool., 1, 1, 34-65.

FERRIERE, G., L. FAYOLLE & M.B. BOUCHE, sous presse - Un nouvel outil, essentiel pour l'écophysiologie et l'écotoxicologie, l'élevage des lombriciens en sol artificiel. Pedobiologia.

FINLAYSON, D.G., C.J. CAMPBELL & H.A. ROBERTS, 1975 - Herbicides and insecticides : their compatibility and effects on weeds, insects and earthworms in the minicauliflower crop. Ann. appl. biol., 79, 95-108.

HADJIBIROS, K., L. FAYOLLE & M.B. BOUCHE, 1979 - Conséquences de l'apport de contaminants sur les lombriciens. II. Estimation statistique des risques. Doc. pédozool., 1, 1, 23-32.

HEUNGENS, A., 1969 - L'influence de la fumure et des pesticides, aldrine, carbaryl et DBCP sur la faune du sol dans la culture des azalées. Rev. écol. biol. sol, 6, 2, 131-145.

JAMET, P., 1979 - Le comportement des produits agropharmaceutiques dans le sol. Note présentée le 21.3.1979. Laboratoire de phytopharmacie, I.N.R.A., Versailles, 1-23.

JAMET, P., & M.A. PIEDALLU, 1975 - Mouvement du carbofuran dans différents types de sols : étude de l'adsorption et de la désorption du carbofuran. Phytiatrie-phytopharmacie, 24, 279-296.

JAMET, P., & M.A. PIEDALLU, 1978 - Comportement du ^{14}C - terbufos dans le sol. I. Adsorption et migration. II. Dégradation et migration. Phytiatrie-phytopharmacie, 27, 111-136.

JEANSON, C., 1960 - Etude expérimentale de l'action de *Lumbricus herculeus* (Savigny) (Oligochète lombricide) sur la stabilité structurale des terres. C.R. Acad. sci., 250, 3041-3048.

JEANSON, C., 1971 - Etude expérimentale de l'action des vers de terre sur les sols artificiels. In P. Pesson "La vie dans les sols - Aspects nouveaux et études expérimentales", éd. Gauthier-Villars, Paris, 211-277.

KLEIN, E., 1977 - Impact d'insecticides carbamates sur l'activité pédogénétique des lombrics. Mémoire ingénieur 76-77, univ. cath. Louvain, Fac. sci. agron., 1-138.

KRETZSCHMAR, A., 1978 - Quantifications écologiques des galeries de lombriciens. Technique et premières estimations. Pedobiologia, 18, 31-38.

KUBIENA, W.L., 1955 - Animal activity in soils as a decisive factor in establishment of humus forms. In "Soil zoology", ed. Butterworths, London, 73-82.

LAKHANI, K.H., & J.E. SATCHELL, 1970 - Production by *Lumbricus terrestris* L. J. anim. écol., 39, 2, 273-492.

LE NAIL, F., 1977 - Progrès continu. Cultivar, Nov. 1977, 100, 251-253.

LHOSTE, J., 1960 - Les fongicides. Ed. O.R.S.T.O.M., Paris, 1-137.

LOQUET, M., M.B. BOUCHE, T. BHATNAGAR & J. ROUELLE, 1977 - Essai d'estimation de l'influence écologique des lombriciens sur les micro-organismes. Pedobiologia, 17, 6, 400-417.

LOWY, R., 1977 - Emploi des méthodes statistiques en toxicologie nutritionnelle. Cahiers nutr. diét., 11, 37-43.

LOWY, R., sous presse - Evaluation des effets métaboliques des pesticides. C.R. 3ème Symp. "contamination des chaînes biologiques", Paris, C.N.A.M., 22-24 fev. 1978.

MARTIN, N.A., 1975 - Effect of four insecticides on the pasture ecosystem. V. Earthworms (Oligochaeta : Lumbricidae) and arthropoda extracted by wet sieving and salt flotation. N.Z. j. agri. res., 19, 1, 111-115.

NOWAK, E., 1975 - Population density of earthworms and some elements of their production in several grassland environments. Ekol. Polska, 23, 3, 459-491.

PRASAD, R., & R.P. MOODY, 1974 - Translocation of benomyl in elm (*Ulmus americana* L.). IX. Some ecological consequences of the treatments on population dynamics of earthworms (*Lumbricus terrestris* L.). Chem. control res. inst., Canada, dept. environ., CC-X-81, 1-12.

RAMADE, F., 1977 - Ecotoxicologie. Ed. Masson, Paris, 1-205.

RANDELL, R., J.D. BUTLER & T.D. HUGUES, 1972 - The effect of pesticides on thatch accumulation and earthworm populations in Kentucky blue grass turf. Hortsci., 7, 1, 64-65.

RAW, F., 1959 - Estimating earthworm populations by using formalin. Nature, London, 184, 1661-1662.

RUPPEL, R.F., & C.W. LAUGHLIN, 1977 - Toxicity of some soil pesticides to earthworms. J. Kans. entomol. soc., 50, 1, 113-118.

SATCHELL, J.E., 1977 - Earthworms - The trombones of the grave. Closing presidential address. In U. Lohm et T. Persson "Soil organisms as components of ecosystems". Ecol. bull. (Stockholm), 25, 598-603.

SNEDECOR, G.W., & W.G. COCHRAN, 1971 - Méthodes statistiques, A.C.T.A., Paris, 1-649.

SOERENSEN, T., 1948 - Vid. Selsk. Biol. Skr., 5, 4. (cité par Bachelier, G., 1963).

STOCKLI, A., 1949 - Der Einfluss der Mikroflora und Fauna auf die Beschaffenheit des Bodens. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkunde, 45, 47-53.

STRINGER, A., & C.H. LYONS, 1977 - The effect on earthworm populations of methods of spraying benomyl in an apple orchard. Pestic. sci., 8, 6, 647-650.

SYNONDS, B.V., 1975 - Evaluation of potential molluscicides for the control of the field slug *Agriolimax reticulatus* (Müll.). Plant pathol., 24, 1, 1-9.

THOMPSON, A.R., 1970 - Effects of nine insecticides on the numbers and biomass of earthworms in pasture. Bull. environ. contam. toxicol., 5, 6, 577-586.

TOMLIN, A.D., & F.L. GORE, 1974 - Effect of six insecticides and a fungicide on the numbers and biomass of earthworms in pasture. Bull. environ. contam. toxicol., 12, 4, 487-492.

TOURTE, C., 1972 - Insecticides et environnement : résidus et toxicité dans les écosystèmes. Situation actuelle et perspective d'avenir de la lutte contre les insectes, agents et vecteurs de maladies. Thèse, univ. Paris V, fac. médecine Necker - Enfants malades, 1-136.

VAN RHEE, J.A., 1977 - Effects of soil pollution on earthworms. Pedobiologia, 17, 3, 201-208.

VLAYEN, P., 1981 - *Lumbricus herculeus* (Savigny) (Oligochaeta : Lumbricidae). Thèse, univ. cath. Louvain, 278-281.

WALLACE, E.R.G., 1976 - A comparison of the control pF *Pithomyces chartarum* with three fungicides applied at both the pre- and post-danger levels of spores in pasture. N.Z. j. experim. agric., 4, 2, 243-247.

WALTON, W.R., 1933 - The reaction of earthworms to alternating currents of electricity in the soil. Proc. ent. soc. Washington, 35, 2, 24-27.

WRIGHT, N.A., & A. STRINGER, 1973 - The toxicity of thiabendazole, benomyl, methyl benzimidazol-2-yl carbamate and thiophanate-methyl to the earthworm, *Lumbricus terrestris*. Pestic. sci., 4, 3, 431-432.

ZICSI, A., 1969 - Uber die Auswirkung der Nachfrucht und Bodenbearbeintung auf die Aktivität der Regenwürmer. Pedobiologia, 9, 1/2, 141-145.

ANNEXES

I. CALCUL DES COEFFICIENTS DE CORRECTION

- *Station Brethenay*
- *Station Bailly*
- *Station Flavigny*

II. TABLE DES VALEURS "PROBIT"

III. COMPARAISON DES POIDS DES ANIMAUX UTILISES COMME TEMOINS

- *Résultats des pesées*
- *Tableau d'analyse de variance*

IV. ACTION DU BENOMYL SUR LES LOMBRICIENS : PHOTOS

- *Bénomyl (21 jours) - 1 ppm*
- *Bénomyl (21 jours) - 5 ppm*
- *Bénomyl (14 jours) - 100 ppm*
- *Bénomyl (14 jours) - 500 ppm*

ANNEXES

I. CALCUL DES COEFFICIENTS DE CORRECTION (ANIMAUX INDETERMINES) DES BIOMASSES DES POPULATIONS LOMBRICIENNES

Station Brethenay

Parcelle	B.P. population adulte (en g)	B.C. population adulte (en g)
Blé	0,228	0,460
Orge	5,593	6,600
Allée	27,530	37,143
TOTAL	33,351	44,203

$$K = \frac{44,203}{33,351} = 1,33$$

Station Bailly

Parcelle	B.P. population adulte (en g)	B.C. population adulte (en g)
Blé	8,120	17,232
Chanvre	2,411	5,034
TOTAL	10,531	22,266

$$K = \frac{22,266}{10,511} = 2,11$$

Station Flavigny

Parcelle	B.P. population adulte (en g)	B.C. population adulte (en g)
Blé	4,319	4,794
Pâture	51,782	60,950
TOTAL	56,101	65,744

$$K = \frac{65,744}{56,101} = 1,17$$

B.P. : Biomasse Prélevée ; B.C. : Biomasse Corrigée.

II. TABLE DES VALEURS "PROBIT"

%	Probit	%	Probit	%	Probit	%	Probit
0	11,0000	26	5,6433	52	4,9498	78	4,2278
1	7,3263	27	5,6128	53	4,9247	79	4,1936
2	7,0537	28	5,5828	54	4,8996	80	4,1584
3	6,8808	29	5,5534	55	4,8743	81	4,1221
4	6,7507	30	5,5244	56	4,8490	82	4,0846
5	6,6449	31	5,4959	57	4,8236	83	4,0458
6	6,5548	32	5,4677	58	4,7981	84	4,0055
7	6,4758	33	5,4399	59	4,7725	85	3,9636
8	6,4051	34	5,4125	60	4,7464	86	3,9177
9	6,3408	35	5,3853	61	4,7207	87	3,8736
10	6,2816	36	5,3585	62	4,6945	88	3,8250
11	6,2265	37	5,3319	63	4,6681	89	3,7735
12	6,1750	38	5,3055	64	4,6415	90	3,7184
13	6,1264	39	5,2793	65	4,6147	91	3,6592
14	6,0803	40	5,2533	66	4,5875	92	3,5949
15	6,0364	41	5,2275	67	4,5601	93	3,5242
16	5,9945	42	5,2019	68	4,5323	94	3,4452
17	5,9542	43	5,1764	69	4,5041	95	3,3551
18	5,9154	44	5,1510	70	4,4756	96	3,2493
19	5,8779	45	5,1257	71	4,4466	97	3,1192
20	5,8416	46	5,1004	72	4,4172	98	2,9463
21	5,8064	47	5,0753	73	4,3872	99	2,6737
22	5,7722	48	5,0502	74	4,3567	100	- 1,0000
23	5,7388	49	5,0251	75	4,3255		
24	5,7063	50	5,0000	76	4,2937		
25	5,6745	51	4,9749	77	4,2612		

TABLE DES VALEURS "PROBIT"

La valeur des probits correspondant à chaque proportion a été calculée à l'aide d'une calculatrice Programma 652 Olivetti, programmée par Lowy (Laboratoire de biologie du C.N.A.M., Paris).

III. COMPARAISON DES POIDS DES ANIMAUX UTILISES COMME TEMOINS AVANT ET APRES MISE EN ELEVAGE POUR LES TESTS A 14 JOURS

Résultats des pesées

N° Boîte	POIDS MOYEN (g) Avant	Après	Perte de poids (g)
1	0,5320	0,3648	0,1672
13	0,6317	0,5306	0,1011
18	0,3759	0,3079	0,0680
35	0,3879	0,2970	0,0909
36	0,3578	0,3483	0,0095
50	0,2899	0,2257	0,0642
54	0,2992	0,2219	0,0773
68	0,3364	0,2640	0,0724
71	0,2914	0,2435	0,0479
83	0,2045	0,1994	0,0051
93	0,2672	0,2087	0,0585
106	0,2871	0,2547	0,0324
107	0,3108	0,2414	0,0694
124	0,2665	0,2360	0,0305

La perte de poids par animal est de 0,0639 ± 0,0410 g, soit une perte de 18,5 % ± 11,9 %.

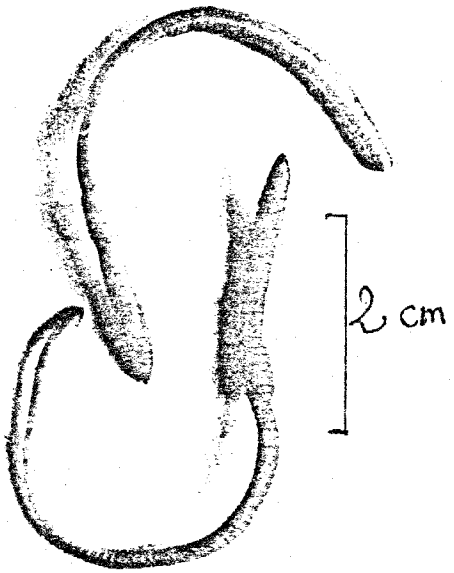
Tableau d'analyse de variance

Source de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne sommes des carrés	F calculé	F théorique
Traitement	0,02857	1	0,02857	2,72	4,24
Résiduelle	0,2639	25	0,0105		
Totale	0,2925	26			

La perte de poids des vers de terre n'est donc pas significative.

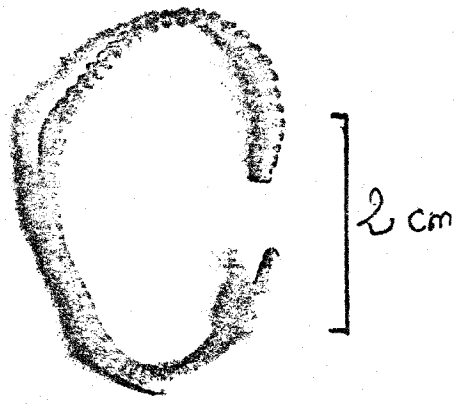
IV. ACTION DU BENOMYL SUR LES LOMBRICIENS : PHOTOS

Photo 1 : Bénomyl (21 j.) 1 ppm



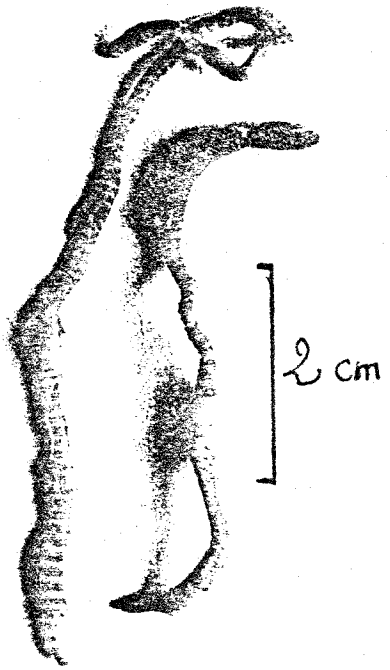
Animaux sains, sans déformations.

Photo 2 : Bénomyl (21 j.) 5 ppm



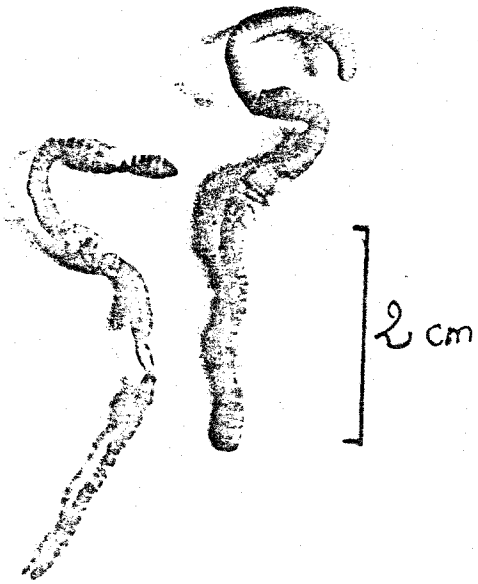
Les animaux présentent quelques déformations dans leur partie postérieure (constrictions).

Photo 3 : Bénomyl (14 j.) 100 ppm



Animaux avec de nombreuses déformations et parties mortes.

Photo 4 : Bénomyl (14 j.) 500 ppm



Animaux avec de nombreuses déformations et parties mortes.