Pub. 188

ACADÉMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

THÈSE

présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc
pour obtenir le diplôme de DOCTORAT

( Spécialité : Physiologie Biologie des Organismes et Populations )
" Science du Sol "

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA MACROPOROSITÉ LOMBRICIENNE DE DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS DE FRANCE

par

Maria Léonor LOPES. ASSAD

Soutenue le 21 Mai 1987 devant le Jury composé de :

| | | |
|---|---|---|
| MM. | SERVAT E. | Président |
| | BOUCHÉ M.B.<br>CHRETIEN J. | Rapporteurs |
| | EUZET L.<br>FAVROT JC.<br>LAVELLE P. | Examinateurs |

Ecole Nationale Supérieure Agronomique
Laboratoire de Science du Sol

ACADÉMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

**THÈSE**

présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc
pour obtenir le diplôme de DOCTORAT

( Spécialité : Physiologie Biologie des Organismes et Populations )
" Science du Sol "

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA MACROPOROSITÉ LOMBRICIENNE DE DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS DE FRANCE

par

**Maria Léonor LOPES. ASSAD**

Soutenue le 21 Mai 1987 devant le Jury composé de :

| | | |
|---|---|---|
| MM. | SERVAT E. | Président |
| | BOUCHÉ M.B.<br>CHRETIEN J. | Rapporteurs |
| | EUZET L.<br>FAVROT JC.<br>LAVELLE P. | Examinateurs |

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

Laboratoire de Science du Sol

Je tiens à remercier ici tous ceux qui, directement ou indirectement, m'ont aidée dans la réalisation de ce travail.

Je pense en premier lieu à Monsieur SERVAT, Professeur à l'ENSAM et Directeur du Laboratoire de Science du Sol de l'INRA - Montpellier, qui a accepté de m'accueillir dans son laboratoire et de diriger cette thèse. Il m'a prodiguée ses encouragements et m'a fait profiter de sa longue expérience.

Mes remerciements vont également à M. FAVROT, directeur de recherches en Science du Sol à l'INRA, qui a eu l'initiative de ce travail et qui, jour après jour, m'a soutenue par ses conseils judicieux et son aide.

Je remercie très vivement M.BOUCHE, directeur du Laboratoire de Zooécologie du Sol de l'INRA au CNRS, par les précieux conseils qu'il m'a apportée sur l'écologie des lombriciens, et M. CHRETIEN, directeur de recherches à l'INRA-Dijon, pour leur participation au jury de cette thèse en qualité de rapporteurs.

Je suis très reconnaissante à Monsieur EUZET, Professeur de Zoologie à l'USTL et M. LAVELLE, Maitre de Conférences à l'Université de Paris-VI, qui ont bien voulu me faire l'honneur de participer à ce jury.

Une thèse est, avant tout, l'aboutissement d'une longue chaine de collaborations et de solidarité. Au cours de ces quatre dernières années, j'ai pu profiter de la patience des uns et de la sympathie de tous, qui m'ont entourée, soit au Laboratoire de Science du Sol du Centre ENSAM-INRA, soit au Laboratoire de Zooécologie du Sol de l'INRA CNRS à Montpellier. Il m'est très agréable de remercier ici tous ces collègues. Je tiens à citer spécialement :

. Régine ALIAGA pour m'avoir appris quelques "secrets" de la taxonomie des lombriciens et qui a fait une bonne partie du travail de dépouillement des espéces prélevées;
. Philipe LAGACHERIE et Marc VOLTZ qui ont bien voulu m'aider en apportant de précieuses corrections sur ce texte;
. MM. R.BOUZIGUES, G. CALOT et B. JAILLARD pour les fréquentes discusions, toujours fructueuses;
. ABDUL-RIDA, J-L. AZNAR et G. LABAU, qui m'ont aidée lors des mesures de densité apparente et des essais au laboratoire;
. Serge CONVENTI et Janette SALZE qui, soit par des conseils techniques, soit par leur soutien moral, ont été les grands amis de tous les jours au Laboratoire de Science du Sol.

J'adresse ici mes sincères remerciements à mes amis Denise JARDOT, Michel VAKSMANN et Anne et Philippe ALBERTINI dont les encouragements m'ont aidée à mener ce travail à son terme.

Je signale que cette thèse a été réalisée grâce au concours matériel du Conselho Nacional de Pesquisa e Tecnologia (CNPq) et du Comité d'Etudes pour la Formation d'Ingénieurs (CEFI).

# R E S U M E

Afin de préciser le rôle de la macroporosité lombricienne dans la dynamique hydrique des sols, une caractérisation détaillée des réseaux des galeries ouverts au passage de l'eau en écoulement gravitaire a été pratiquée dans sept types de sols différents, dont cinq hydromorphes, en utilisant un traceur coloré (bleu de méthylène) .

Dans les sols étudiés, les galeries lombriciennes forment un réseau anastomosé, dont les segments ont en majorité moins de 20 cm de longueur, une faible tortuosité, et sont principalement verticaux. Ces réseaux correspondent à une faible partie de la porosité totale (environ 0.5%), variable selon les horizons.

Ces descriptions ont été accompagnées d'une étude des caractéristiques pédologiques (pH, teneur en matière organique , porosité, organisation structurale) et zoologiques (biomasses lombriciennes et catégories écologiques ) des milieux concernés.

La morphologie et les dimensions de cette macroporosité, dite fonctionelle, aparaissent comme dépendantes des caractéristiques locales. Elles sont liées surtout à l'organisation structurale du sol et aux peuplements de lombriciens (principalement des anéciques et des épianéciques ).

## S U M M A R Y

Detailed characterization of macroporosity opened to gravitational water is made with the purpose of evaluating precisely earthworm channels influence on soil hydric fonctionning. Seven distinct soils (five with an aquic moisture regime) were studied using a colored tracer (methylene blue) .

The results show that eartworms channels are built in an interconnected network. Segments of this network are mostly less than 20 cm long, weakly tortuous, mostly vertical. These networtks represent only a little part of the whole soil porosity (around 0,5 %). The results are very according to the different horizons studied.

Simultaneously we studied several pedological features (pH, organic matter content, porosity, structure) and zoological features (earthworms biomass and ecological category) corresponding to the concerned environments.

Morphology and size of these so-called fonctional macroporosity seem to be dependent on local features, specially soil structure and earthworms population type (mostly anecics and epianecics).

# SOMMAIRE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA MACROPOROSITE LOMBRICIENNE DE DIFFERENTS TYPES DE SOLS DE FRANCE

INTRODUCTION ..... 9

1ère Partie: CADRE GENERAL DE L'ETUDE ..... 11

Chapitre 1: Nature, écologie et rôle des lombriciens dans l'écosystème terrestre ..... 12

Chapitre 2: Macroporosité du sol: définitions et rôle dans les sols ..... 25

Chapitre 3: Méthodes et techniques utilisées pour l'étude de la macroporosité lombricienne ..... 39

2ème Partie: CARACTERISATION DES RESEAUX DE GALERIES COLOREES DE DIFFERENTS TYPES DES SOLS DE FRANCE

Introduction ..... 65

Chapitre 4: La parcelle de Courmemin en Sologne ..... 66

Chapitre 5: La parcelle d'Aimargues en Languedoc ..... 95

Chapitre 6: L'étude sur les parcelles de Bretagne, Bourgogne, Normandie et Marais de l'Ouest ... 115

A) La parcelle de Nouvoitou en Bretagne ..... 115

B) La parcelle de Cîteaux en Bourgogne ..... 129

C) La parcelle du Vieux Pin en Normandie ..... 139

D) La parcelle du polder de Moueze-Brouage dans le Marais de l'Ouest ..... 147

3ème Partie: TYPOLOGIE DES RESEAUX COLORES: RELATIONS AVEC LES CARACTERISTIQUES DES PEUPLEMENTS DE LOMBRICS ET LA NATURE DES SOLS.

Introduction ..... 153

Chapitre 7: Typologie des réseaux ..... 155

Chapitre 8: Relations entre réseaux et populations lombriciennes ..... 161
Chapitre 9: Relations entre la population lombricienne et les caractéristiques des sols ..... 165

Chapitre 10: Relations entre les types de réseaux et les caractéristiques des sols ..... 171

Chapitre 11: Relations entre les réseaux de galeries colorées et la perméabilité des sols ..... 175

Chapitre 12: Ecologie des lombriciens et construction des réseaux ..... 190

CONCLUSION GENERALE ..... 195

BIBLIOGRAPHIE ..... 200

Table de matières ..... 209
Liste des Figures ..... 214
Liste des Tableaux ..... 217

# INTRODUCTION

Parmi les diverses formes de porosité liées à la faune (fourmis, termites, larves d'insectes, lombriciens, etc), nous étudierons essentiellement les galeries dues aux lombriciens ou vers de terre. Ce choix a été guidé par le nombre et la taille de ces galeries, par leurs distribution verticale, et leur caractère anastomosé (LOPES ASSAD, 1984) ainsi que par l'ubiquité de ces animaux.

En effet, les lombriciens représentent une part importante de la biomasse animale du sol (estimée en moyenne à 150 g/m² en milieu tempéré) et leur rôle comme "laboureurs" du sol est déjà reconnu depuis DARWIN (1881). En creusant leurs galeries, non seulement ils ouvrent des macropores plus ou moins continus, mais ils produisent aussi des déjections de terre brassée, provenant de différentes profondeurs. Ces déjections sont redéposées en surface, ou bien réparties sur les parois des galeries, ou encore déposées à l'intérieur de ces galeries, en les obstruant.

De nombreuses études ont déjà montré l'importance des galeries de lombrics dans les différents processus de transferts (solides, solutés, gaz) qui affectent les sols, avec des approches plutôt qualitatives (HOPP et SLATER, 1948; BUNTLEY et al., 1960; BARLEY et al., 1964; JEANSON, 1979; BEZBORODOV et KHALBAYEVA, 1986). En revanche, peu nombreux sont encore les travaux sur les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles de ces galeries, exprimées sous forme quantifiée (KRETZSCHMAR, 1978; DURET, 1983).

Dans le sol, la circulation de l'eau est commandée, entre autres, par la continuité, la taille, la forme et la distribution des pores. L'un des objectifs principaux de ce travail consistera justement à évaluer et prévoir ces paramètres correspondant à la partie du réseau poral crée par les lombriciens qui participe le plus aux processus de circulation de l'eau. En utilisant une technique de coloration des réseaux, nous étudierons essentiellement les galeries colorées de diamètre égal ou supérieur à 2 mm.

En privilégiant l'étude des sols hydromorphes, où la porosité fissurale disparaît souvent à saturation, et en faisant varier certains paramètres pédo-climatiques (texture, période d'étude), mais en restant toutefois sous une même couverture végétale ( prairie naturelle ), les objectifs de ce travail sont multiples. Il s'agit :

- de mettre au point une méthodologie d'étude de la partie de la macroporosité lombricienne accessible

au passage de l'eau, en combinant les techniques de la pédologie et de la zoologie;

- de quantifier les paramètres dimensionnels de ces réseaux de galeries "efficaces" vis-à-vis du passage de l'eau;

- de rechercher les relations existant entre l'organisation verticale de la couverture pédologique, la distribution des galeries et la nature des populations lombriciennes;

- d'estimer l'importance de la porosité lombricienne dans les phénomènes de tranferts hydriques.

Le plan de ce mémoire reflète ces divers objectifs. La première partie est consacrée à la présentation du cadre général de l'étude. Compte-tenu du caractère pluridisciplinaire de ce travail, il nous a semblé utile de réaliser à cette occasion une bibliographie d'une part sur la biologie et le rôle des lombriciens dans les sols, et d'autre part sur la macroporosité du sol, ses différentes approches d'étude et son rôle dans l'écoulement gravitaire de l'eau. Dans un troisième chapitre nous discuterons du choix des parcelles et des variables prises en compte, ainsi que les méthodes de travail utilisées pour les caractériser. Etant donnée son originalité, nous insisterons sur la discussion de la méthodologie utilisée pour l'étude de la macroporosité lombricienne ouverte au passage de l'eau.

Dans la deuxième partie nous présenterons les résultats des observations faites sur les différentes parcelles retenues. Nous décrirons les différents paramètres observés ou mesurés, à l'intérieur de chaque profil et d'un profil à l'autre en vue de dégager des éléments pour la compréhension de la variabilité des réseaux de galeries colorées.

La troisième partie sera consacrée à l'étude des différentes relations observables entre les caractéristiques des réseaux, de la population lombricienne et des sols-hôte. Dans un premier temps nous analyserons la typologie des réseaux obtenue à partir des différents profils étudiés. Ensuite nous discuterons les relations existantes entre la typologie des réseaux et la nature de la population lombricienne, puis entre celles ci et les caractéristiques des sols, pour enfin aboutir aux relations entre les différents réseaux et l'organisation des sols. Un chapitre sera consacré à la discussion de possibles relations entre types de réseaux et la perméabilité des sols. Finalement, à partir de l'ensemble des observations et mesures effectuées dans le cadre de ce travail, nous discuterons la distribution des réseaux de galeries en fonction des caractéristiques des sols et de l'écologie lombricienne.

# 1ERE PARTIE

# CADRE GENERAL DE L'ETUDE

# Chapitre 1 : NATURE, ECOLOGIE ET ROLE DES LOMBRICIENS DANS L'ECOSYSTEME TERRESTRE

A partir des études existantes sur l'action des lombriciens dans le sol, sur la nature et l'importance de leurs activités en fonction des milieux, nous évoquerons brièvement ci-après le rôle des vers de terre dans l'écosystème terrestre afin de dégager les principaux éléments qui nous permettront de comprendre leurs interactions avec le milieu édaphique.

## 1.1. Aspects généraux

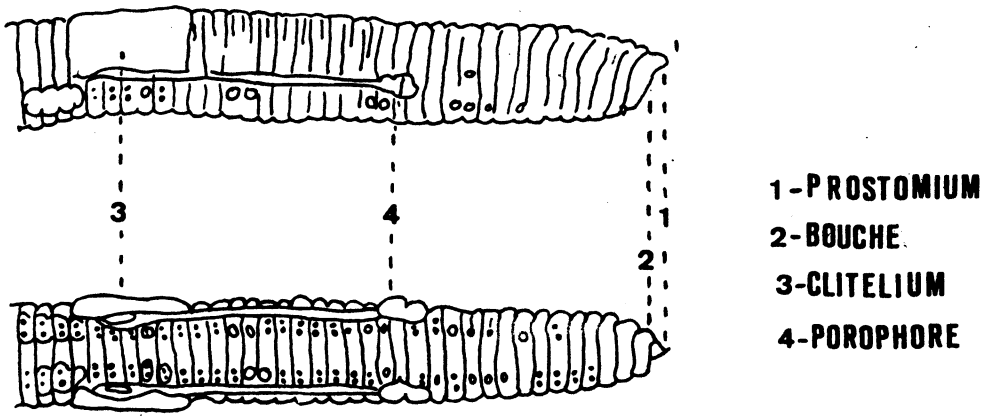
Les vers de terre appartiennent au phylum des Annélides lequel a évolué depuis le Précambrien en constituant trois classes principales: les polychètes, essentiellement marins; les oligochètes, divisés en dulçaquicoles et terricoles; et les achètes, ectoparasites (sangsues).

Se situant dans la classe des Oligochètes terricoles, les lombriciens se divisent en nombreuses familles telles que celles des Megascolecidae tropicaux d'Australie, d'Asie du sud et de l'Inde, des Glosscolecidae de l'Amérique du Sud, etc. Tous les vers de terre étudiés dans ce travail appartiennent à la famille des Lumbricidae, répartie dans la zone paléarctique et à l'est de l'Amérique du Nord.

Les lombrics se caractérisent, du point de vue morphologique, par un corps cylindrique, formé d'une succession de segments semblables - les métamères - compris entre un lobe céphalique ou prostomium et un lobe terminal ou pygidium (figure 1.1).

Les vers de terre sont des animaux hermaphrodites. Leur durée de vie varie selon les espèces. Certaines vivent plus de 10 ans en conditions de laboratoire. A titre d'exemple, BACHELIER (1978) indique: 10 ans et 3 mois pour Allolobophora longa; 4 à 8 ans pour Lumbricus terrestris (espèce prélevée sur la parcelle étudiée en Normandie); 4 à 5 ans pour Eisenia foetida; et quelques mois pour Lumbricus castaneus (espèce prélevée sur la parcelle de Sologne).

Figure 1.1: Schéma des caractères morphologiques d'un ver de terre.




Les vers de terre sont essentiellement saprophages et tirent leur subsistance des aliments tombés sur le sol ou incorporés à celui-ci. Ils entrent dans la catégorie des consommateurs saprolytiques (BOUCHE, 1971).

L'eau est constamment absorbée par la peau des vers de terre, elle est rejetée par les néphridies et par l'intestin. Selon AVEL (1959), la quantité d'eau rejetée par les néphridies atteint 60 % du poids du corps par jour, alors qu'elle n'est que de 30 % chez les poissons d'eau douce.

L'eau correspond à 80 à 85 % du poids du corps des lombrics, tandis que les matières organiques en constituent 14 à 18,5 % et les éléments minéraux 1 à 1,5 % (BACHELIER, 1978).

## 1.2. Relations des vers de terre avec le milieu

L'humidité, la température du sol et la longueur du jour, facteurs du milieu qui conditionent l'activité lombricienne, jouent un rôle important dans les processus de léthargie (arrêt de l'activité motrice). On distingue trois modalités de léthargie:

a) quiescence: léthargie temporaire directement provoquée par un facteur du milieu et dont la manifestation cesse dès que ce facteur disparaît. Selon BOUCHE (1972) il s'agit d'un phénomène général qui peut toucher à peu près tous les lombriciens.

b) diapause: d'après MICHON (1954) cette forme de léthargie est déclenchée par un facteur externe; selon HEIDET et BOUCHE (1986) ce facteur est la photopériode, agissant probablement sur des cellules nerveuses photosensitives et influençant la régulation des anéciques. Lorsque le processus de léthargie est engagé, la levée du facteur externe inducteur ne raccourcit pas sa durée.

c) para-diapause : selon SAUSSEY (1966) c'est une forme de léthargie entrainée par la déshydratation du milieu qui ne modifie que très faiblement la teneur en eau de l'animal.Comme dans la diapause, les animaux s'enroulent dans des logettes individuelles; il y a une régression des caractères sexuels externes glandulaires, et le tube digestif se vide. La para-diapause diffère essentiellement de la diapause par le fait que la suppression du facteur inducteur entraîne la levée de la léthargie.

## 1.3. Classification écologique des lombriciens

Il existe aujourd'hui une grande variété de familles, d'espèces et de sous-espèces de vers de terre, réflétant une évolution très ancienne. Ces différentes lignées traduisent des modes de vie divers et des fonctions multiples dans l'écosystème terrestre, d'où l'intérêt de prendre en compte les catégories écologiques.

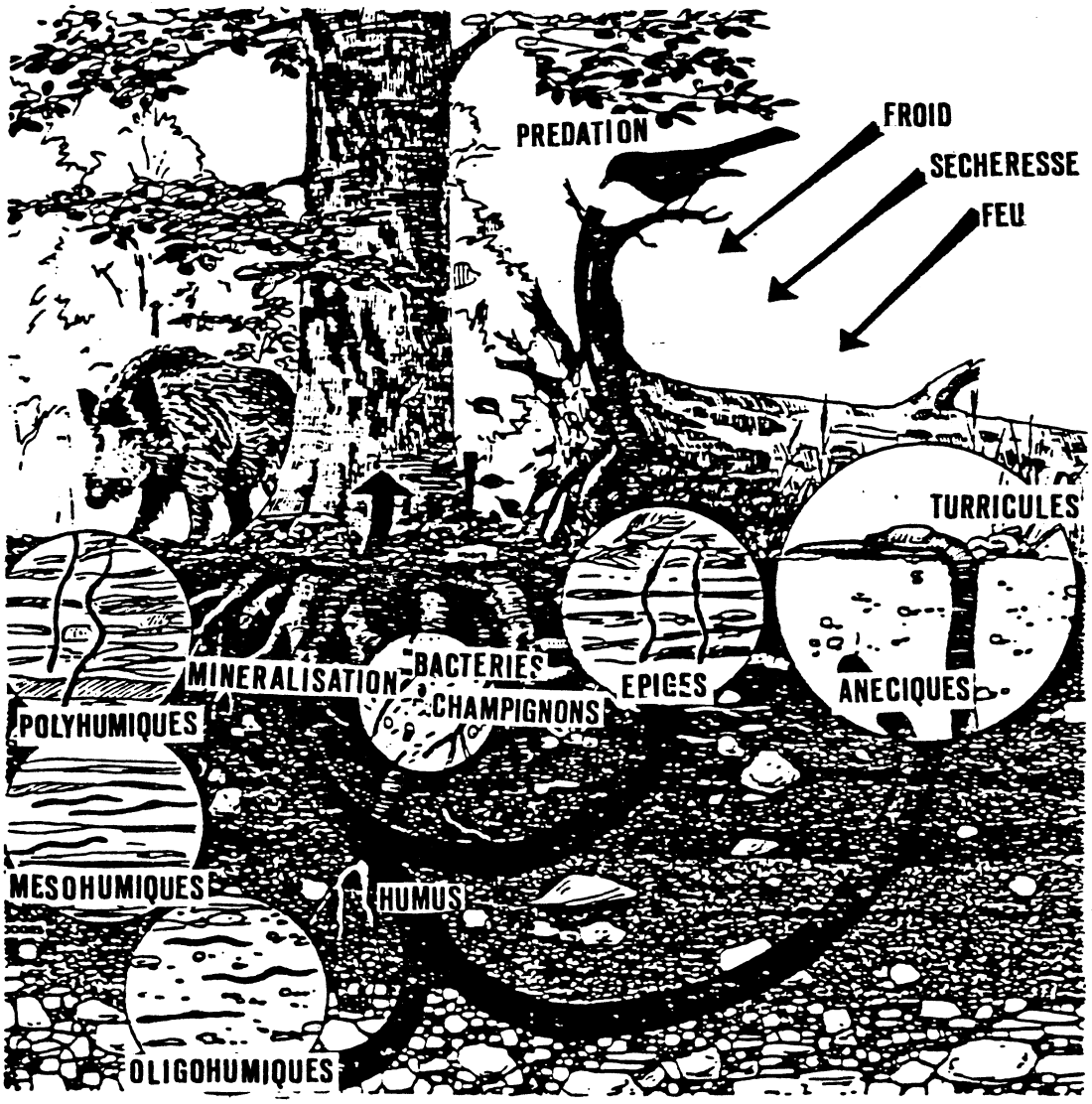
Cette notion de catégorie écologique a été introduite par BOUCHE (1971, 1972). Elle s'appuie sur la morphologie des lombriciens car leurs caractères traduisent une adaptation sélective à leur habitat et à leur mode de vie.

La classification écologique adoptée intègre différents facteurs (figure 1.2):

- la distribution spatiale sur et dans le sol des différentes espèces et sous-espèces;
- la qualité des aliments disponibles;

- l'exposition aux agressions des antagonistes (prédateurs et parasites);
- les conditions de climat (sécheresses, gelées) et de pédoclimat (humidité, température);
- la nécessité de conserver un flux de nourriture assurant la maintenance énergétique;
- la disponibilité en oxygène;
- le taux de reproduction fortement lié aux impacts des agressions des parasites, des prédateurs et des aléas climatiques.

Figure 1.2: Schéma de distribution dans le sol des différentes classes de vers de terre (BOUCHE, 1984).



Ainsi, BOUCHE (op.cit.) distingue trois grandes catégories de vers de terre, les épigés, les endogés et les anéciques.

a) les épigés se caractérisent par leur homochromie diurne et par leurs nombreux cocons résistants à la sécheresse. Ils occupent la surface du sol, dans les accumulations organiques (litière, troncs morts, fèces de bétail, etc); ils sont exposés aux aléas climatiques et aux prédateurs et ont un taux de reproduction très élevé. Ils représentent environ 1 % de la biomasse lombricienne. Comme exemple d'espèces d'épigés prélevées dans le cadre de ce travail nous citons: Lumbricus castaneus castaneus (Savigny, 1826) et Satchellius mammalis (Gats, 1975).

b) les endogés sont des animaux apigmentés résistants à la sécheresse de l'été par quiescence. Ils vivent en permanence dans le sol et se nourrissent essentiellement de matière organique mélangée à la terre. Comme ils sont relativement à l'abri des prédateurs et des contraintes climatiques, leur taux de reproduction est souvent faible. Comme exemple d'espèces endogés prélevées nous citons Allolobophora rosea rosea (Savigny, 1826) et Allolobophora icterica icterica (Savigny, 1826).

Constituant 20 à 50 % de la biomasse lombricienne des sols fertiles en Europe, les endogés forment un groupe relativement hétérogène où l'on peut distinguer trois catégories:

- les oligohumiques qui vivent en profondeur et se nourrissent de terre pauvre en matière organique;

- les mésohumiques qui consomment des sols moyennement riches en matière organique, surtout dans les couches superficielles;

- les polyhumiques qui sont des vers de terre petits et filiformes vivants soit près de la surface, soit le long de racines, et ingérant des particules organiques.

c) les anéciques sont des lombriciens pigmentés, résistant annuellement à la sécheresse par une diapause. Ces gros lombriciens creusent des galeries verticales où ils entraînent les débris organiques du sol dont ils se nourrissent, en les mélangeant à de la terre prise en profondeur.

Dans les sols fertiles d'Europe tempérée, ils représentent 50 à 80 % du poids des lombriciens. En France, les adultes peuvent mesurer de 8 à 110 cm de longueur et les plus gros peuvent vivre plusieurs années. Les anéciques présentent normalement une coloration brune à brune-noirâtre, parfois irisée (mimétisme crépusculaire). En effet, ils sortent de leurs galeries généralement au crépuscule ou à la nuit et leur pigmentation traduit une homochromie nocturne. Ces animaux se maintiennent souvent après un déboisement ou même après un labour.

Comme exemple de lombriciens anéciques, nous avons prélevé: Nicodrilus giardi (Savigny, 1826), sur la parcelle étudiée en Bretagne, et Scheroteca savignyi savignyi (Guerne et Horst, 1893), introduit sur le polder de Moueze Brouage, dans le Marais de l'Ouest.

### 1.3.1. Sous-ensembles de la classification écologique

Selon BOUCHE (1977) les anéciques, les endogés et les épigés constituent trois pôles d'un triangle marquant trois évolutions extrêmes. Beaucoup d'espèces, placées dans des milieux intermédiaires ou possédant une morphologie à évolution "limitée", n'ont atteint séléctivement qu'une position intermédiaire.

Ainsi, parmi les Lumbricus, les petites espèces telles que L. castaneus ont une adaptation d'épigés assez complète, mais les grosses espèces, telles que L. terrestris et L. centralis acquièrent une partie des caractères des anéciques. De même, certains Nicodrilus comme N. caliginosus meridionalis, contituent une transition entre les épiendogés et les anéciques. Enfin, on connaît des formes épigées ayant des caractères endogés (Eisenia foetida) et des épiendogés ayant des caractères d'épigés (Allolobophora chlorotica vert).

Dans notre travail plusieurs espèces prélevées occupent des positions intermédiaires (L. terrestris, A. chlorotica vert, N. meridionalis, etc). Dans la discussion des résultats (2ème partie) elles seront classées dans les grands groupes écologiques (épigés, anéciques et endogés) et dans la discussion des relations sol - population - réseau (3ème partie) nous tiendrons compte de ces positions intermédiaires (épianéciques, endoépigés, euanéciques, etc).

Afin d'orienter les discussions qui suivent, le tableau 1.1 donne les caractéristiques générales des espèces prélevées au cours de ce travail, ainsi que leur nom dans la classification taxonomique et l'abréviation adoptée dans ce texte.

**Tableau 1.1: Espèces prélevées: classification taxonomique, abréviation adoptée et caractéristiques générales**

| Classification taxonomique | Abréviation adoptée | Distribution dans les parcelles etudiées | | | | | | | Classif. écologique | Dimensions des adultes | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SC | CT | NV | NA | AC | VP | MB | | Ø (mm) | L (mm) | Poids (mg) |
| *Allolobophora chlorotica chlorotica typica* ( Savigny, 1826 ) | *A. chl. vert* | | | | + | | + | | epiendogé | 3-7 | 50-80 | 500-700 |
| *Allolobophora chlorotica chlorotica leucotypique* ( Savigny, 1826 ) | *A. chl. alb.* | + | | | | | | | endogé | 3-7 | 50-80 | 500-700 |
| *Allolobophora icterica icterica dicystis* ( Savigny, 1826, Chernosvitov, 1941 ) | *A. icterica* | | | | | + | | | endogé | 3-4 | 70-90 | 700-1200 |
| *" Allolobophora " rosea rosea typica* ( Savigny, 1826 ) (1) | *A. rosea* | + | | + | | + | + | | endogé | 2-3,5 | 40.70 | 150-280 |
| *Lumbricus castaneus castaneus typica* ( Savigny, 1826 ) | *L. castaneus* | + | | + | + | + | | | epigé | 2-2,5 | 35-60 | 140-350 |
| *Lumbricus centralis centralis typica* ( Bouche, 1972 ) | *L. centralis* | + | | | | | | | epianécique | 6-8 | 120-220 | $4\text{-}12 \times 10^3$ |
| *Lumbricus terrestris terrestris typica* ( Linné, 1758, em. Michaelsen, 1900 ) | *L. terrestris* | | | | | | + | | epianécique | 7-9 | 130-250 | $5\text{-}15 \times 10^3$ |
| *Nicodrilus caliginosus paratypicus* ( Savigny, 1826; Bouche, 1972) (2) | *N. caliginosus* | | | | | | + | | endogé | 3,5-4,5 | 60-80 | 180-840 |
| *Nicodrilus caliginosus meridionalis typica* ( Bouche, 1972 ) | *N. meridionalis* | + | | | + | | + | | euanécique | 2,5-4 | 85-110 | 310-950 |
| *Nicodrilus giardi giardi typica* ( Savigny, 1826 ) | *N. giardi* | + | | + | + | | + | | euanécique | 5-7 | 150-250 | 1520-3150 |
| *Nicodrilus nocturnus nocturnus typica* ( Evans, 1946 ) | *N. nocturnus* | | + | | | | + | | euanécique | 4-5 | 90-180 | 1950-2650 |
| *Satchelius mammalis mammalis typica* ( Gats, 1975 ) (3) | *S. mammalis* | + | | | | | | | epigé | 1,5-2 | 32-41 | 87-105 |
| *Scheroteca dugesi mariae* ( nov. subsp. ) (4) | *S. mariae* | | + | | | | | | euanécique | 7-10 | 280-320 | $10,4\text{-}23,9 \times 10^3$ |
| *Scheroteca savigny savigny oligotheca* ( Guerne et Horst, 1893 ) | *S. savigny* | | | | | | | + | euanécique | 7-10 | 400-520 | $14\text{-}17 \times 10^3$ |

## 1.4. Le rôle des vers de terre dans les sols

Etant donné leur importante biomasse (variant en moyenne de 40 g/m² à 200 g/m²) (*) (BOUCHE, 1984) et leur position écologique, les vers de terre jouent un rôle exceptionnel dans les sols. Celui-ci peut se traduire globalement sous deux formes majeures:

- une forme biochimique liée à la dégradation de la matière organique et à la stimulation de l'activité microbiologique. Ceci confère aux vers de terre une fonction importante dans les processus d'humification, de stabilité structurale et dans les cycles des éléments biogènes (N, P, K, S).

- une forme mécanique liée à la construction de galeries et à la production de rejets déposés soit en surface (=turricules), soit dans le sol. Ce rôle peut être considéré comme primordial par ses effets sur le comportement physique des sols.

Presque tout les lombriciens participent de la décomposition de la matière organique du sol. En effet, l'alimentation des vers de terre est assurée par l'ingestion des débris organiques (surtout végétaux), plus ou moins décomposés et mélangés à de la terre. Ce mélange intervient à des degrés différents selon le type écologique. Ainsi, les vers de terre épigés ont une alimentation presque exclusivement organique, tandis que les endogés ont une alimentation plutôt minérale. Les anéciques, travaillent le sol dès la surface et créent des galeries plus ou moins verticales, ils exploitent activement les substrats organiques et minéraux.

Le métabolisme des vers de terre modifie le milieu proprement dit, selon deux mécanismes:

a) enfouissement actif des débris végétaux de la litière dans le sol

ce mécanisme est observable pour les anéciques qui enfouissent au moins une partie de leurs aliments.

b) ingestion et digestion

le mélange de débris organiques et de terre ingéré par

---

(*) déterminée en termes de mph = masse du tube digestif plein et humide

les vers de terre subit, dans leur tube digestif, deux actions:

1- mécanique, par fractionnement des débris organiques et brassage avec les éléments minéraux du sol;

2- chimique et enzymatique par lyse des éléments organiques résultant des secrétions du tube digestif.

Il faut remarquer que cette décomposition-digestion se fait à l'aide d'attaques microbiennes, dans le sol et dans la cavité intestinale. Si la décomposition n'est pas totale, les lombriciens recyclent la matière organique morte en réingérant leurs fèces après une période d'incubation microbienne.

Le rôle mécanique des vers de terre dans le sol a été souvent remarqué depuis plus d'un siècle. Nous devons notamment à HENSEN (1877) et à DARWIN (1881) les premiers travaux sur ce sujet. D'une façon générale cette action se traduit par la production de fèces visibles sous forme de turricules et par la construction de galeries, modifiant la porosité du sol et par conséquent intervenant sur l'aération et sur la circulation de l'eau.

### 1.4.1. La production de déjections

Après passage par le tube digestif, la composition et la quantité de fèces dépendent de plusieurs critères: nature des espèces, importance de la population de lombrics, type de sol et conditions saisonnières.

Il faut cependant distinguer les rejets provenant de déplacements de terre, particulièrement lorsque les animaux creusent de nouvelles galeries, des fèces résultant d'une véritable prise d'alimentation (BOUCHE, 1972).

Les fèces peuvent être rejetées soit en surface, soit dans les fissures du sol, soit dans d'anciennes galeries abandonnées. EVANS (1948) a estimé que dans les sols de pâturage anglais les rejets internes égalent au moins les rejets de surface (tab. 1.2).

### 1.4.2. Les galeries de vers de terre

En général, pour les vers de terre les galeries résultent de deux fonctions: ingestion du sol (alimentation directe) et ouverture de voies de passage. Elles ont une

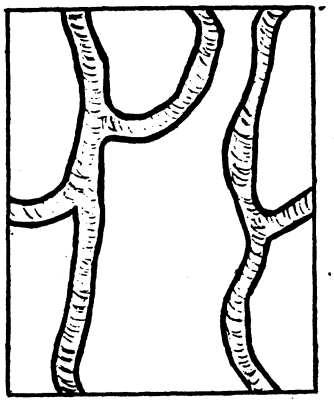
Tableau 1.2: Quantité de rejets produite par différentes espèces de lombrics dans plusieurs régions du monde (d'après LEE, 1985).

| Pays | Végétation | Lombrics | | | Poids de rejets kg/m² | Période de production | Profondeur de production de rejets ( mm ) | Références |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Espèce | Biomasse g/m² | Nombre par m² | | | | |
| Angleterre | prairie | Lumbricidae | - | - | 0,75-1,60 | printemps automne | 2-5 | Darwin, 1881 |
| Soudan | prairie | Non identifiée | - | - | 26,8 | - | - | Beauge, 1912 |
| Allemagne | chênaie | Lumbricidae | - | - | 5,80 | printemps automne | - | Kollmannsperger, 1934 |
| Allemagne | hêtraie | Lumbricidae | - | - | 6,80 | printemps automne | - | Kollmannsperger, 1934 |
| U.R.S.S. | gazon | Lumbricidae | - | 179 | 5,20 | printemps automne | - | Ponomareva, 1953 |
| Cameroun | savane en montagne | Non identifiée | - | - | 21,0 | - | - | Kollmannsperger, 1956 |
| Inde | prairie | Eutyphocus Waltoni<br>Pheretima posthuma | -<br>- | -<br>- | 1,3 | -<br>Juin-Janvier (période humide ) | -<br>- | Roy, 1957 |
| Nigéria | prairie | Hyperiodrilus africanus<br>Eudrilus eugeniae | -<br>- | -<br>- | 17,58 | Saison humide ( 6 mois ) | 15-20 | Madge, 1969 |
| Afrique du Sud | prairie | Microchaetus modestus (dominante ) | - | 61 | 2,85 | été - automne | - | Reinecke et Ryke, 1970 |
| Allemagne | prairie | Lumbricidae | 96,5 | - | 25,75 | printemps automne | - | Graff, 1971 |
| Japon | prairie | Pheretima hupiensiensi<br>Eisenia japonica | 7,6 | 30 | 3,8 | printemps automne | 3,1 | Watanabe, 1975 |
| Nouvelle Zélande | prairie | Aporrectodea caliginosa | - | - | 2,5-3,0 | automne printemps | - | Sharpley et Syers, 1976, 1977 |
| Côte d'Ivoire | a. savane herbacée | Eudrilidae megascolecidae | 39,7 | 202 | 18,9-21,7<br>2,8 | toute l'année | - | |
| | b. savane arbustive | Eudrilidae megascolecidae | 54,4 | 350 | 20,7-27,8<br>7,1 | toute l'année | - | Lavelle, 1978 |
| | c. savane arbustive (protégée contre le feu ) | Eudrilidae megascolecidae | 35,9 | 400 | 23,6-26,6<br>3,0 | toute l'année | - | |

importance variable selon les catégories écologiques. Ainsi, les épigés ont une action mécanique très réduite et creusent peu leur milieu. Les endogés ingèrent le sol et évacuent leur fèces dans leurs terriers. En revanche, les anéciques creusent des galeries qui débouchent normalement à la surface (= voies de passage) et ils sont responsables d'une fraction de la macroporosité du sol.

Ces galeries forment, suivant les conditions de compacité du sol, un réseau plus ou moins anastomosé (fig. 1.3). Elles constituent un milieu aéré, bien drainé qui favorise le développement des racines et des micro-organismes.

Figure 1.3: Schéma d'un réseau de galeries lombriciennes.



Selon LEE (1985) les galeries de lombrics sont de deux types:

- permanentes: elles ont alors une vocation d'abri ouvert en surface, où la nourriture est prise, et elles sont maintenues fonctionnelles par le rejet continu en surface, sous forme de turricules, de matériaux pris à l'intérieur.

- temporaires: il s'agit de galeries créées d'une part pour l'alimentation du ver de terre et d'autre part pour son déplacement quand il recherche des conditions optimales de température et d'humidité.

Voyons de manière plus approfondie les effets physiques des galeries de lombrics sur le fonctionnement du sol.

## 1.5. Caractéristiques principales et rôle des galeries de lombrics

D'après LEE (1985), les aspects essentiels et le rôle des galeries peuvent être résumés de la manière suivante:

a) les galeries sont des chenaux construits plutôt entre les agrégats;

b) elles sont continues dans un plan vertical et parfois horizontal; elles débutent souvent dès la surface et s'étendent jusqu'à des profondeurs de plusieurs dizaines ou centaines de centimètres et/ou sur des distances horizontales similaires;

c) leur diamètre et leur longueur les placent parmi les plus grands pores du sol;

d) leur construction peut apporter une petite mais significative compression des parois de la galerie;

e) le dépôt de matériaux illuviaux sur les parois peut amener des changements dans le comportement physique des sols;

f) à la différence d'autres pores du sol, elles sont créées par les vers de terre avec un mucus riche en protéine qui sert de lubrifiant au passage de l'animal et qui contribue au moins à une stabilisation temporaire de la galerie;

g) les vers de terre qui vivent en permanence dans une galerie peuvent maintenir son intégrité pendant des années en remontant vers la surface les particules de sol qui ont été entrainées dans la galerie. Celle-ci peut aussi rester ouverte longtemps après avoir été abandonnée par les vers de terre qui l'ont construite;

h) dans les sols où il existe une importante population lombricienne, les galeries présentent des intersections fréquentes;

i) les galeries constituent un chemin privilégié pour l'entraînement de l'eau et de grandes particules en grande profondeur;

j) ce sont aussi des voies de pénétration privilégiées pour les racines dans les sols.

Comme les galeries de vers de terre ont un diamètre élevé (de 2 mm à 12 mm, en général) et se développent sur des grandes profondeurs, il est logique de supposer qu'elles jouent un rôle important vis-à-vis des transferts hydriques. Ainsi, de nombreux travaux mettent en évidence le rôle des galeries de lombrics comme voie de passage de l'eau (AUBERTIN, 1971; EHLERS, 1975; BOUMA et al., 1977; SMETTEM et COLLIS-GEORGE, 1985); d'autres essayent de relier la vitesse d'infiltration du sol au nombre de galeries (EDWARDS et al., 1976) ou au nombre de lombriciens (HOPP et SLATER, 1948; STOCKDILL, 1966; CARTER et al., 1982; BEZBORODOV et KHALBAYEVA, 1986).

Mais , étant donné le diamètre relativement grand de ces galeries, certains auteurs (BEVEN et GERMANN, 1980) signalent qu'elles ne seront fonctionnelles qu'après de fortes pluies, ou lors des irrigations, ou encore lorsque le sol est saturé. LEE (1986) supose que les galeries lombriciennes doivent être regardées comme un système additionnel de drainage.

## 1.6. Conclusion

Le réseau de galeries élaboré dépend de la catégorie écologique à laquelle appartient le ver de terre et semble être susceptible de se conserver pendant plusieurs années (BARNES et ELLIS, 1979; EHLERS,1975).

La morphologie des réseaux de galeries est relativement bien connue par des approches qualitatives mais l'unique travail relatif à la description quantitative de ces réseaux (KRETZSCHMAR, 1978 et 1982) n'aborde pas leur rôle dans le sol.

L'étude des galeries fonctionnelles de vers de terre est très complexe car les réseaux varient selon l'espèce, le type de sol, la saison. Nous pensons toutefois que le premier pas à faire est définir les caractéristiques morphologiques des galeries qui participent directement à l'écoulement de l'eau. Ceci procurera des éléments pour établir des liens entre la population lombricienne et les caractérsitiques des sols, objectif recherché dans les chapitres suivants.

# Chapitre 2: MACROPOROSITE DU SOL : définition et rôle dans les sols

## 2.1. Les concepts de porosité du sol

La porosité est couramment définie comme le pourcentage du volume total du sol, representé par les vides et occupé par l'eau et par l'air. Cependant cette définition ne rend pas compte de plusieurs paramètres qui permettent de caractériser la porosité. Il s'agit de la taille, de la forme et de la distribution des pores, paramètres qui jouent un rôle important sur le comportement du sol.

L'espace poral est l'une des conséquences directes de l'arrangement des particules élémentaires du sol (sable, argile, limon) et de leur assemblage en agrégats. Il dépend aussi de l'histoire du sol: action des racines, de la faune du sol, du labour, des paléoclimats et aussi de phénomènes physiques comme le gonflement, le retrait, etc, qui modifient périodiquement l'organisation des particules et des agrégats.

Cet espace poral est divisé en deux grands ensembles: l'espace poral d'origine texturale et l'espace poral d'origine structurale (MONNIER et al., 1973; FIES, 1978; STENGEL, 1979 et 1982).

La porosité texturale résulte de l'arrangement des constituants solides élémentaires du sol. Elle dépend surtout de leurs caractéristiques dimensionnelles.

Selon STENGEL (1979) la porosité texturale est indépendante de l'histoire du matériau. Elle correspond pratiquement à l'arrangement le plus serré possible, dans les conditions de contrainte habituelle des sols, c'est à dire, à un espace poral réduit au minimun. Et comme le signale FAURE (1981), l'arrangement maximal, bien qu'anisotrope à l'échelle des éléments constitutifs, conduit à un assemblage qui peut être considéré comme continu du point de vue mécanique.

La porosité structurale reflète essentiellement l'action de facteurs externes (climatiques, biologiques et mécaniques) exercés sur le matériau originel au cours de son évolution. Elle s'ajoute à la porosité texturale initiale et résulte des diverses actions et contraintes subies par le matériau. Ces contraintes induisent des fissurations, des ruptures, des hétérogénéités, qui donnent naissance à des agrégats et à des mottes de formes

et de tailles variées.

L'espace poral structural est donc formé par des vides de taille plus grande et plus variable que ceux de la porosité texturale. Ils se trouvent soit à l'intérieur de l'agrégat ou de la motte, soit à l'extérieur de ces volumes.

Plus récemment, CHRETIEN (1982, 1986) a introduit la notion de porosité pédologique qui traduit globalement l'ingérence de l'histoire du matériau au sens large; c'est à dire, pédogénétique (altération, transferts, concrétionnement), pédoclimatique (alternance d'humectation-dessiccation, gel), pédobiologique (action de la matière organique, de la faune et des systèmes racinaires) et agronomique (action des techniques culturales).

Toujours selon CHRETIEN (1982, 1986), la porosité pédologique serait aussi obtenue par la différence entre porosité totale et porosité texturale.

La notion de porosité pédologique est très proche de celle de porosité structurale mais, comme le souligne CHRETIEN (1986), sa formulation semble mieux correspondre à une approche globale du sol en tant que système naturel (fig. 2.1).

## 2.2. Classifications de la porosité du sol

SCHUMACHER (1864) cité par BAVER (1938), évoquant le mouvement de l'eau dans le sol, introduit les concepts de porosité capillaire et de porosité non capillaire, pour rendre compte des mécanismes de transferts (gravité,diffusion) dans le sol.

Depuis, plusieurs classifications ont été proposées en associant la taille des pores à la dynamique de l'eau.

En 1981, LUXMOORE, à partir de la notion de diamètre équivalent de pore (1), propose trois classes de porosité, associées à des fonctions spécifiques des pores vis-à-vis des phénomènes physiques d'adsorption de l'eau du sol: flux sous l'action d'un gradient de succion et flux sous l'action d'un gradient gravitationnel (tableau 2.1).

---

(1) Le diamètre équivalent de différents pores consiste à affecter à ces pores un diamètre fictif correspondant à un pore cylindrique qui offre la même force de capillarité.

Figure 2.1: Les différents types de porosité (selon CHRETIEN, 1982, 1986).

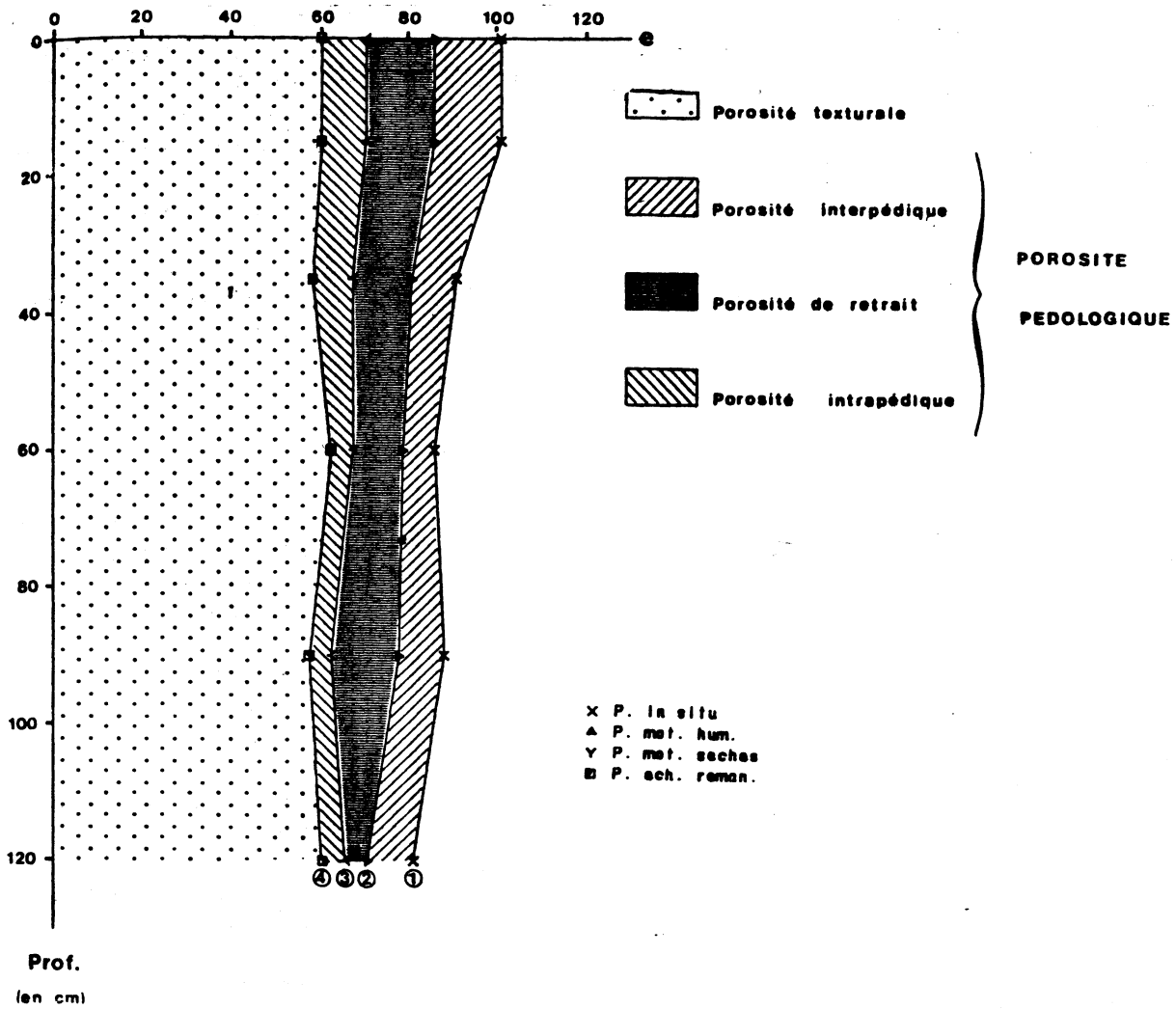



Tableau 2.1: Classes de porosité selon LUXMOORE, (1981).

| Classe de porosité | τ (mbar) | pF | ø (mm) | Phenomène dominant |
|---|---|---|---|---|
| Microporosité | <-300 | >2,5 | <10 | Evapotranspiration.Mouvement de l'eau sous l'action du gradient de succion. |
| Mesoporosité | >-300<br><-3 | <2,5<br>>0,4 | 10 à 1000 | Drainage.Hystérèse.Mouvement sous l'action du gradient gravitationnel. |
| Macroporosité | >-3 | <0,4 | >1000 | Flux d'eau à travers le profil depuis une nappe en surface ou vers une nappe perchée. |
| τ=potentiel hydraulique de l'eau | | | | ø=diamètre équivalent du pore |

Cependant, comme le remarque **BOUMA** (1981), la mesure du diamètre équivalent peut conduire à des erreurs car, suivant les conditions de mesure (point d'application de la pression sur un échantillon donné), le diamètre mesuré varie. En plus, les classifications basées sur la taille des pores ne sont pas toujours fiables, car, à priori, les pores n'ont pas de fonctions spécifiques selon leur taille. En effet, des pores relativement petits peuvent conduire plus de liquide quand ils présentent une importante continuité à travers le profil que des gros pores non continus. Ainsi **BOUMA** (1981) suggère la classification déjà proposée par **BREWER** (1964) et qui prend en compte des aspects purement morphologiques (tableau 2.2).

Tableau 2.2: **Classes de porosité selon BREWER, 1964.**

| Classe | Sous-classe | Limites | Méthodes de mesure |
|---|---|---|---|
| Macropore | grossier | > 5000 µm | à l'oeil nu |
| | moyen | 2000-5000 µm | à l'oeil nu |
| | fin | 1000-2000 µm | à l'oeil nu |
| | très fin | 75 - 1000 µm | microscope et courbe de désorption |
| Mesopore | | 30 - 75 µm | microscope et courbe de désorption |
| Micropore | | 5 - 30 µm | microscope et courbe de désorption |
| Ultra-micropore | | 0,1 - 5 µm | microscope électronique |

D'une façon générale, les pores les plus gros ont entre 1 mm et 1 cm de diamètre. Dans ces cavités le maximun de flux est tellement élevé qu'il ne sera pas facilement atteint pour des intensités normales de pluie. Toutefois, bien que ces gros pores constituent seulement une petite partie de la porosité totale du sol, et même si le flux y existe seulement pendant un laps de temps restreint, ils peuvent avoir une très grande importance en termes de volume d'eau et de solutés transportés.

Une autre définition de la macroporosité peut être tirée de l'application de la Loi de **JURIN**:

$$\Psi = \frac{2 \sigma \cos\alpha}{r \partial g}$$

où: $\Psi$ = tension capillaire

$\sigma$ = tension de surface dans l'interface eau-air

$\alpha$ = angle de raccordement eau-solide, supposé nul dans le cas où le milieu poreux se sature

r = rayon du pore

$\partial$ = densité de l'eau

g = pesanteur

D'après cette équation une augmentation de r implique une diminution de la tension capillaire jusqu'à une valeur R où $\Psi$ devient suffisamment petit par rapport aux forces de gravité exercées sur l'eau dans le pore. Les pores qui ont un rayon égal ou supérieur à R sont conventionnellement appellés macropores.

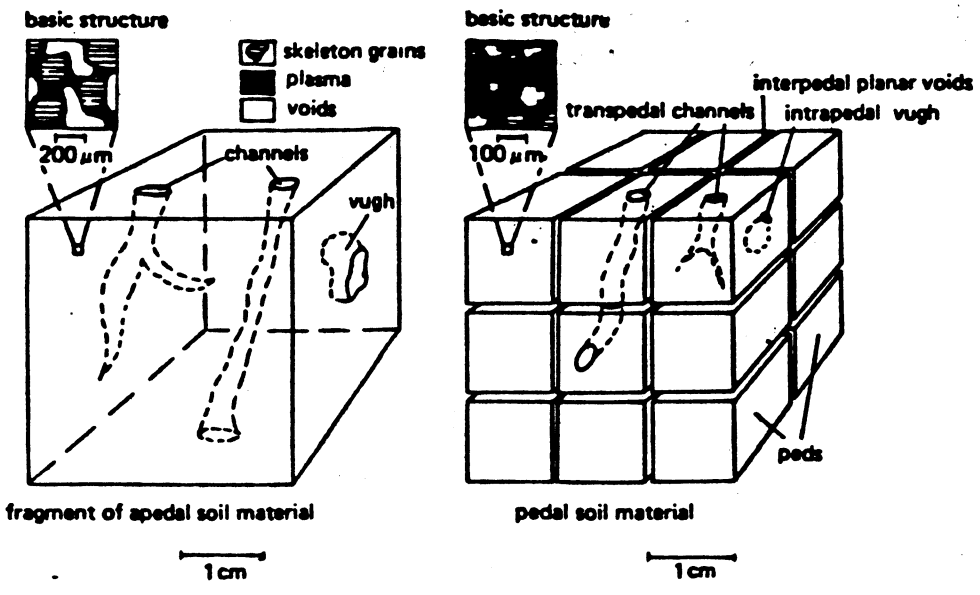
Cependant la définition de la valeur minimale de $\Psi$ reste purement arbitraire. A titre d'exemple, McDONALD (1967) définit comme macropores les pores qui sont drainés à partir de l'application d'une tension équivalente à une colonne d'eau de 60 cm d'hauteur. LUXMOORE (1981) définit les macropores comme ceux où le potentiel hydraulique de l'eau est supérieur à -3 mbar (tableau 2.1). BEVEN et GERMAN (1980) proposent une valeur arbitraire de $\Psi$= -1.0 cm comme la limite entre micropores et macropores, le rayon équivalent moyen du pore devenant égal à 1.5 mm (selon la Loi de JURIN). Par mesure de sécurité ils considèrent comme macropores tous pores de rayon égal ou supérieur à 2.0 mm. Nous adopterons ce dernier seuil dans ce travail pour des raisons techniques qui seront évoquées plus loin (chapitre 3).

## 2.3. La macroporosité du sol

### 2.3.1 La morphologie des macropores du sol

Les pores du sol existent dans quatre positions différentes: entre les agrégats, dans les agrégats, à travers les agrègats et dans un matériel non agrégé (BOUMA, 1982), (figure 2.2).

Figure 2.2: Les différentes positions des pores dans les sols, selon BOUMA, 1982.

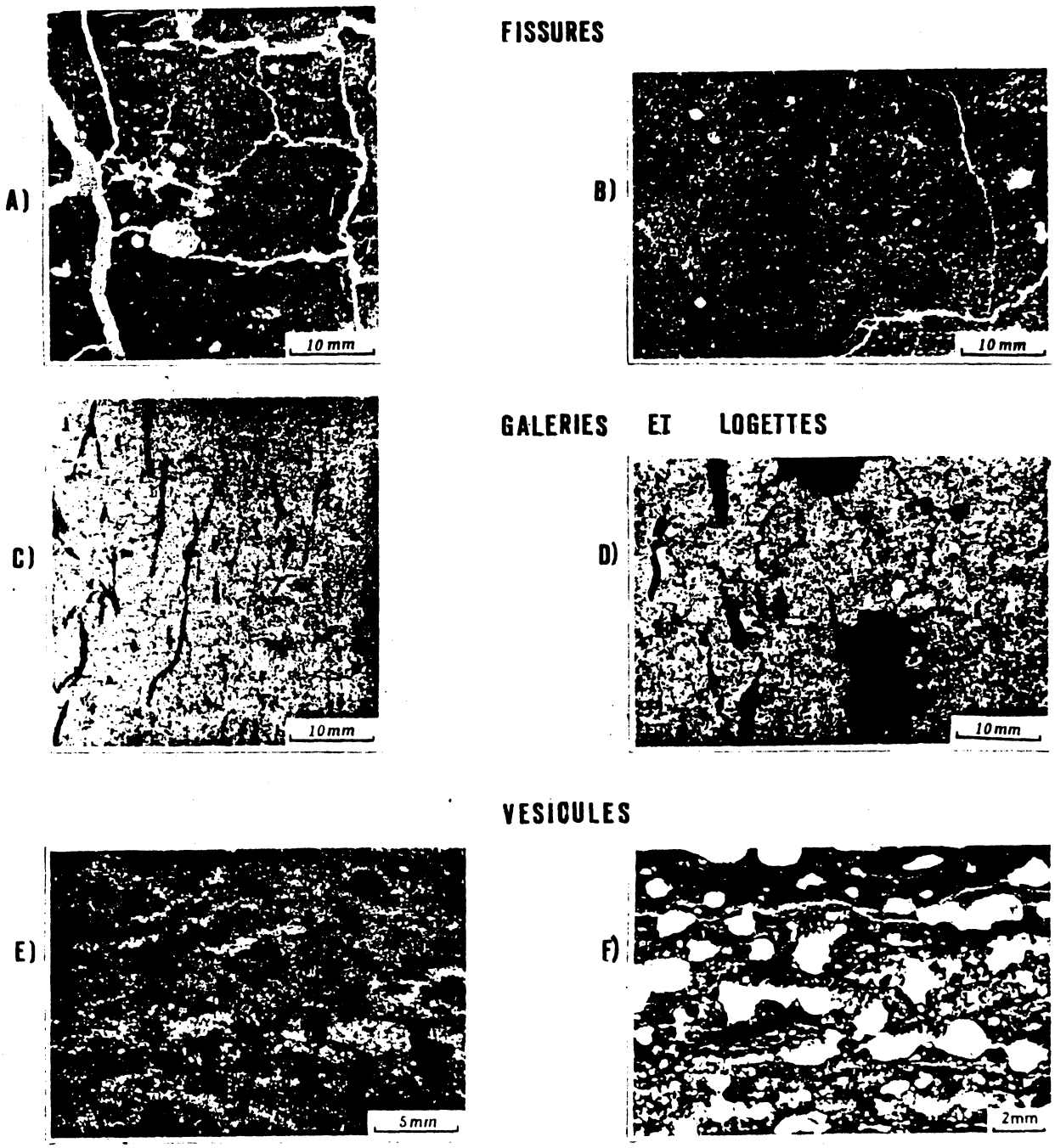



En ce qui concerne la nature des macropores, en reprenant la classification de BREWER (1964) citée par BULLOCK et al (1985) et la typologie des macropores proposée par BEVEN et GERMANN (1980), plusieurs types peuvent être distingués:

a) **fissures ou vides plans** (figures 2.3a et 2.3b) : visibles surtout dans les sols à texture fine, dus aux effets de gonflement et de retrait ou à des expansions et contractions provoquées par le gel. Les fissures sont en général couvertes par des films d'argile, de limon ou de matière organique (cutane), matériaux facilement transportés vers les horizons plus profonds. Les fissures sont sujettes à des variations saisonnières de taille importantes.

b) **trous cylindriques ou galeries** (figure 2.3c): ils sont créés principalement par des animaux ou des racines. Dans des sols non perturbés, comme les sols de forêt, ils peuvent persister pendant une longue période et ne pas dépendre des variations saisonnières. Parfois, ces galeries sont remplies par des débris organiques ou minéraux. Leur orientation spatiale peut avoir de fortes composantes latérales ainsi que verticales;

Figure 2.3: Typologie de macropores selon BULLOCK et al., 1985.



c) logettes ( figure 2.3d): macropores de forme approximativement sphérique, connectés aux galeries, de parois relativement lisses;

d) "vughs" ou vésicules (figure 2.3e et 2.3f): ce sont les vides de caractéristiques intermédiaires entre les fissures et les galeries. Il faut remarquer qu'un pore cylindrique non vertical peut prendre l'apparence d'une vésicule quand il est regardé dans un plan horizontal.

e) conduits du sol: ce sont de très larges macropores (diamètres ≥ 4 cm) qui peuvent conduire latéralement un flux d'eau turbulent .

La différenciation entre galeries et fissures pose parfois des problèmes en morphologie du sol, surtout dans les études micromorphologiques. BULLOCK et al. (1985) proposent quelques caractéristiques permettant leur distinction, à savoir:

- le diamètre plus au moins constant des galeries;
- l'absence de compaction dans les parois des fissures et son éventuelle présence dans les parois des galeries;
- les couches de particules autour des parois de galeries peuvent avoir une épaisseur uniforme tandis que sur les fissures elles n'ont pas la même épaisseur ;
- les changements de direction des fissures se font selon des angles assez marqués; en revanche, les galeries, même si elles changent davantage de direction que les fissures, le font avec des angles plus adoucis.

### 2.3.2. L'origine des macropores

La macroporosité du sol peut avoir deux origines: biologique (action des vers de terre, des fourmis, des termites, des racines, etc) et physique (vides interagrégats, fissures provoquées par la dessiccation du sol, etc).

Bien que certaines fissures de sols très argileux puissent rester ouvertes même après une longue période d'humectation (BEVEN et GERMAN, 1980), les vides interagrégats et les fissures se renferment souvent lors de la réhumectation et du gonflement du sol. La macroporosité biologique en revanche, peut rester ouverte (JONGERIUS, 1957; BREWER, 1964; MONNIER 1965), et former parfois un réseau de galeries fossiles (FONTES, 1984).

Cependant, si les macropores d'origine physique sont directement en rapport avec la structure du sol, les macropores d'origine biologique peuvent exister sur des horizons très compacts, sans rapport avec l'espace poral interagrégat (BEVEN et GERMANN, 1980).

Nombreux sont les travaux qui signalent la présence d'une macroporosité biologique dans les sols (GREEN et ASKEW, 1965; WILLIANS et ALLMAN, 1969; AUBERTIN, 1971; EHLERS, 1975), mais le rôle de ces vides reste encore à préciser.

### 2.3.3 Le flux d'eau dans les macropores

Des expérimentations avec de l'eau colorée ou avec des imprégnations de résines ont été utilisées pour matérialiser les flux d'eau à travers les pores (AUBERTIN, 1971; KISSEL et al, 1973; EHLERS, 1975; GUENNELON et DE COCKBORNE, 1975; BOUMA et al., 1977, 1978, 1979).

Si la possibilité de circulation de l'eau à travers les macropores n'est pas contestée, l'importance relative de ce type de flux au niveau de la réponse hydrologique globale du sol est encore mal connue et discutée. (BEVEN et GERMANN, 1980).

D'après la définition proposée en 2.3 fondée sur l'équation de Jurin, dans les macropores les forces capillaires sont négligeables par rapport aux forces gravitaires.

Selon BEVEN et GERMANN (1981), si l'on admet la Loi de Darcy (2) pour la circulation de l'eau dans les micropores, on peut suggérer deux types de relations entre le flux hydrique dans les macropores et celui dans la matrice du sol:

---

2) La Loi de DARCY (cf. HILLEL, 1978) prévoit que le flux de l'eau dans le sol est proportionnel au gradient de charge hydraulique et à la section au travers de laquelle l'eau circule:

$$q=-KSdH/dx$$

où: q est le volume d'eau écoulé par unité de temps (flux);
K est la conductivité hydraulique;
S la section à travers laquelle l'eau circule;
dH la différence de charge hydraulique;
dx la différence de distance sur laquelle dH est mesurée.

Le signe négatif indique que le flux a lieu dans le sens des potentiels décroissants .

- le flux sera maintenu dans les macropores seulement si les micropores du volume de sol correspondant sont saturés ; (fig. 2.4 a,b).

- le flux passera des micropores vers les macropores seulement si la matrice est saturée. (fig. 2.4 d,e).

Ceci a conduit quelques chercheurs à mettre en cause l'importance du flux dans les macropores vu qu'il dépend de l'existence de conditions de saturation très rares "in situ".

En effet, la majorité des études montrant l'importance du flux dans les macropores a été faite à partir d'essais où l'on appliquait une grande quantité d'eau sur une surface donnée avec des méthodes du type simulateur de pluies ou double-anneau (McDONALD, 1968; RITCHE et al, 1972). Comme cette eau est appliquée en continu, on augmente énormement la probabilité de flux dans les macropores ouverts à une surface essentiellement saturée. Cependant, il existe aussi des travaux mettant en évidence que le flux dans les macropores peut être maintenu dans des conditions non saturées (WHIPKEY, 1967, PILGRIM et al., 1978).

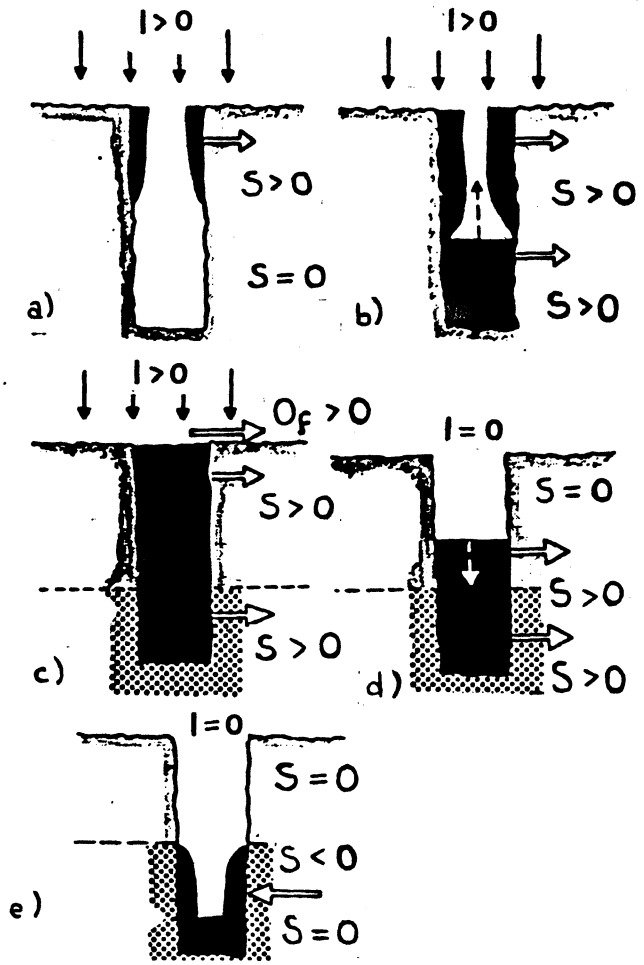
GERMANN et BEVEN (1981) proposent un modèle de flux d'eau en combinant les systèmes de macro et de micropores. La figure 2.4 illustre les différentes phases du flux dans les macropores, en tenant compte de la teneur en eau des micropores.

## 2.4 Les approches d'estimation de la perméabilité du sol à partir de la géométrie de l'espace poral

La perméabilité est une propriété physique caractéristique d'un milieu poreux et il serait raisonnable de supposer qu'elle est une fonction de certaines propriétés mesurables de la géométrie des pores du sol, par exemple, valeurs de porosité, distribution et taille des pores, surface spécifique interne, etc. "Cependant de nombreuses tentatives pour trouver une relation fonctionnelle ne sont couronnées que par des résultats décévants" (HILLEL, 1972).

Les raisons de cette situation sont diverses. Il y a d'abord la difficulté d'isoler l'influence de la porosité du sol sur l'infiltration de l'eau, de l'influence d'autres caractéristiques du sol auxquelles la porosité est plus ou moins liée (texture, structure, etc). Il y a ensuite la variabilité de la porosité dans le temps (le sol étant un milieu déformable) ainsi que des problèmes méthodologiques à surmonter.

**Figure 2.4: Différentes phases du flux de l'eau dans un macropore, selon GERMANN et BEVEN, 1981.**




a) infiltration dans un macropore sec
b) remontée de l'eau (nappe phréatique) dans un macropore
c) macropore saturé, début de ruissellement
d) diminution du niveau de l'eau après arrêt de la précipitation
e) flux de l'eau des micropores vers les macropores, remontée de la nappe phréatique
I: infiltration à partir de la surface
Of: ruissellement de surface S : flux de l'eau
■ : eau dans les macropores

▩ : micropores saturés ▨ : micropores non saturés

Une des méthodes les plus simples est peut être de rechercher une corrélation entre la perméabilité et la porosité (JACOB, 1946; FRANZINI, 1951). Mais, comme le régime d'écoulement dépend fortement de la taille, de la continuité, de la forme et de la tortuosité des pores conducteurs, cette méthode est généralement inefficace à l'exception des cas de comparaison de milieux par ailleurs identiques.

Parmi les théories étudiant la relation entre la perméabilité et la géométrie des milieux poreux, celle de KOZENY-CARMAN (1939) (citée par HILLEL, 1972) est la plus largement évoquée. Cependant, elle n'est pas applicable à des milieux présentant des fissures structurales qui contribuent d'une façon négligeable tant à la porosité qu'à la surface spécifique et qui ont en revanche une influence prépondérante sur la perméabilité (CHILDS et COLLIS-GEORGE, 1950).

Dans d'autres travaux (CHILDS et COLLIS-GEORGE, 1950; MARSHALL, 1958; MILLIGTON et QUIRK, 1959) l'évaluation de la perméabilité se fait à partir de la distribution des tailles des pores. Cependant, comme l'écoulement à travers un pore irrégulier est limité par des "étranglements" le long de son passage, il est nécessaire aussi d'évaluer le nombre et la dimension de ces étranglements ainsi que les interconnections entre les pores de grandeurs différentes.

L'estimation de la perméabilité du sol à partir de l'étude de la porosité se fait actuellement selon des lignes d'investigation différentes et non contradictoires:

a) une approche morphométrique : elle consiste à distinguer les pores fonctionnels des autres, en général, à partir de l'observation de lames minces (BOUMA et ANDERSON , 1973; DENNING et al. 1974; BOUMA et DENNING, 1979; BOUMA et al. 1977; ANDERSON et BOUMA, 1977). Les pores fonctionnels sont identifiés par des techniques de coloration. A partir de la morphologie du pore et de sa taille on définit des classes d'aptitude à la circulation de l'eau, par des modèles d'interaction entre les pores. Toutefois, ces calculs sont basés sur des observations bidimensionnelles (2-D) alors que l'écoulement est tridimensionnel (3-D).

Le passage entre 2-D et 3-D peut se faire par des méthodes stéréologiques, où des modèles mathématiques permettent d'estimer les caractéristiques tridimensionnelles des classes de pores (canaux, fissures, pores d'arrangement, etc). Mais, comme le signale RINGROSE-VOASE (1984), ces modèles stéréologiques ne rendent pas compte de la tortuosité, de la variation

de diamètres le long des chenaux, ou des connections entre les pores.

b) une approche morphologique faite à partir de l'étude de la structure et des caractéristiques du sol facilement déterminées sur le terrain (O'NEAL, 1952; McKEAGUE et al.; 1982;1986). McKEAGUE et al. proposent en effet une classification permettant d'associer à un horizon ou à un profil des classes de conductivités hydrauliques, horizontale et verticale, en milieu saturé ainsi que des classes de porosité en air et eau disponible. Chaque classe de conductivité hydraulique est choisie en fonction de paramètres tels que la structure, la texture, la présence de biopores. Ces classes, définies par NOWLAND (1981) (tableau 2.3.) correspondent à trois ou quatre morphologies de la structure et de la porosité du sol.

Tableau 2.3: Classes de conductivité hydraulique de sols proposée par NOWLAND, 1981.

| Classes | Sous-classe | Conductivité hydraulique à saturation | |
|---|---|---|---|
| | | cm/h | m/j |
| H élevé | H1 très rapide | H1 > 50 | H1 > 12 |
| | H2 rapide | 16,7 < H2 < 50 | 4 < H2 < 12 |
| M moyen | M1 modérément rapide | 4,2 < M1 <16,7 | 1 < M1 < 4 |
| | M2 modéré | 1,7 < M2 < 4,2 | 0,4 < M2 < 1 |
| | M3 modérément lent | 0,42 < M3 < 1,7 | 0,1 < M3 < 0,4 |
| L bas | L1 lent | 0,17 < L1 < 0,42 | 0,04< L1 < 0,1 |
| | L2 très lent | 0,017< L2 < 0,17 | 0,004<L2 < 0,04 |
| | L3 extrêmement lent | L3 < 0,017 | L3 < 0,004 |

## 2.5. Conclusion

Les diverses techniques d'étude de la porosité du sol se heurtent à des problèmes méthodologiques, vu la difficulté pour mettre en évidence la taille et la fonction des différents types de pores. Néanmoins, les gros pores du sol sont plus facilement visibles, et la quantification de ceux qui sont ouverts au flux de l'eau en régime permanent est envisageable par des techniques de coloration.

Dans ce travail, nous allons quantifier la macroporosité lombricienne ouverte au passage de l'eau à une échelle macroscopique, en utilisant des techniques de coloration et en associant les approches morphologiques et morphométriques. L'objectif est de contribuer à une meilleure connaissance de la morphologie et du rôle de ces pores. Voyons maintenant les techniques utilisées.

# Chapitre 3: METHODES ET TECHNIQUES UTILISEES

## 3.1. Objectifs et principaux axes d'étude

L'objectif de notre travail est de rechercher des éléments chiffrés pouvant situer l'origine, l'importance et le rôle des galeries lombriciennes dans les sols. Ceci implique la connaissance d'un certain nombre de paramètres caractérisant le sol, la population lombricienne et les réseaux de galeries.

A partir de ces trois grands groupes de paramètres, notre but est de répondre à des questions "simples", telles que:

- comment se distribuent les galeries de vers de terre dans un profil de sol, notamment en milieu hydromorphe?
- quelle est la variabilité de leurs caractéristiques?
- quelles sont les relations entre les caractéristiques des réseaux et celles du sol, principalement la texture, la densité apparente, les discontinuités entre les horizons?
- existe-t-il une relation entre les caractéristiques des réseaux ouverts au passage de l'eau et la perméabilité du sol?

Il y avait deux voies extrêmes pour conduire cette étude:

- une voie consistant à multiplier les sites d'observation en se limitant à chaque fois à l'étude d'un seul profil coloré;
- une voie inverse conduisant à ne retenir qu'un seul site, avec des investigations extrêmement nombreuses et repétées à des intervalles de temps rapprochés.

Nous avons en fait retenu une approche intermédiaire, en réalisant l'analyse assez approfondie de quelques milieux contrastés, avec des observations périodiques. Cette voie nous semble préférable car elle permet de connaitre et de faire varier suffisamment les paramètres pédologiques et écologiques pour dégager des tendances relationnelles entre sol, réseau et population lombricienne.

Le travail entrepris s'est voulu dès l'origine pluridisciplinaire, afin d'allier les approches de la pédologie, de la zoologie et de l'écologie. En effet, l'objectif recherché

impliquait ce choix puisqu'on ne peut caractériser des réseaux de galeries de lombrics sans les relier d'une part aux populations responsables de cette action et sans tenir compte, d'autre part, des caractéristiques des sols bénéficiant de cette action.

Ceci nous a conduit vers trois axes d'investigations:

- la caractérisation de la population lombricienne;
- la caractérisation du sol aux plans morphologique, physico-chimique et hydrodynamique;
- la caractérisation du réseau de galeries de lombrics accessibles au passage de l'eau.

Avant de discuter chacune de ces orientations, voyons d'abord les critères adoptés pour le choix des sites d'observation.

## 3.2. Choix des sites d'étude

Les sites ont été choisies en fonction de plusieurs critères pédo-climatiques. Le premier était que la porosité biologique joue un rôle important, au moins pendant certaines saisons, par rapport aux autres formes de porosité (fissurale notamment). Ceci a conduit à privilégier les sols hydromorphes (1) dans les quels, à priori, la saturation prolongée des horizons favorise les phénomènes de gonflement. Il s'agit alors d'évaluer la contribution des macropores lombriciens sur les transferts hydriques en période humide. A titre de référence, nous avons retenu aussi deux sols non hydromorphes.

Le second critère était de disposer de sols représentant une gamme relativement variée quant à leur constitution (texture), leur organisation interne (discontinuités structurales plus au moins nettes et plus ou moins profondes) et leur fonctionnement hydrique.

---

(1) sols hydromorphes: sols dont les caractéristiques sont dues à une évolution dominée par l'excès d'eau en raison d'un engorge - ment temporaire ou permanent d'une partie ou de la totalité du profil. Cet excès d'eau peut être dû soit à la présence de la nappe phréatique, soit au manque d'infiltration des eaux pluviales provoquant une nappe perchée ou un engorgement de surface. (LOZET et MATHIEU, 1986)

Ces sols devaient être enfin assez représentatifs de ceux rencontrés en France et constituer des situations suffisamment variées quant aux populations lombriciennes.

Les premiers éléments ont conduit à retenir des sols limoneux, limono-sableux, sableux et argileux, relevant de types pédologiques contrastés (sols alluviaux, planosols, sols lessivés à pseudogley), situés dans des régions naturelles aussi différentes que le Languedoc, la Sologne, la Bourgogne, la Bretagne, etc.

A une échelle plus fine, le choix des parcelles d'observation a été envisagé à partir d'autres critères. Sur un plan pratique les parcelles devaient d'abord être facilement accessibles, permettre l'ouverture de plusieurs profils et disposer de points d'eau.

Elles devaient ensuite être représentatives du type de sol choisi et des conditions agro-climatiques de la région.

Par ailleurs, il était intéressant de travailler sur des parcelles disposant déjà de réferences, soit sur les sols, soit sur la population lombricienne, soit sur le comportement hydrodynamique.

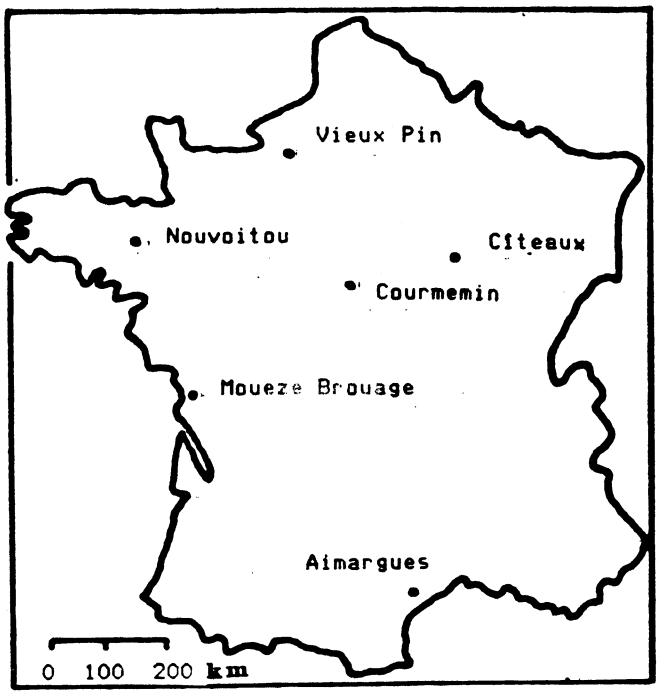
Enfin, en vue d'éliminer l'influence de pratiques agricoles, les études ont été faites sur des prairies permanentes ou semi-permanentes.

Partant de ces conditions imposées, nous avons retenu finalement six parcelles, situées à Courmemin (Loir et Cher)en Sologne, à Aimargues (Gard) en Languedoc, à Nouvoitou (Ille et Vilaine) en Bretagne, à Cîteaux (Côte d'Or) en Bourgogne, au Pin au Haras (Orne) en Normandie et à Moueze Brouage (Charente Maritime) dans le Marais de l'Ouest (figure 3.1).

Parmi ces sites, deux ont fait l'objet d'une étude plus détaillée, sous forme de plusieurs profils décrits. Il s'agit des parcelles de Courmemin en Sologne et d'Aimargues en Languedoc. Les résultats des mesures faites sur ces deux sites seront discutés séparément dans le but de mettre en évidence des variations intra-parcellaires.

Sur les quatre autres sites (Nouvoitou, Cîteaux, Pin au Haras et Moueze Brouage), le nombre de profils étudiés a été plus faible mais suffisant pour mettre en évidence des réseaux variés de galeries lombriciennes et conduire des comparaisons inter-parcellaires.

Figure 3.1: Localisation des parcelles étudiées.




## 3.3. Caractérisation de la population lombricienne

Il existe de nombreuses manières d'évaluer l'importance et les caractéristiques de la population lombricienne d'un site donné. Un choix a été fait quant aux paramètres essentiels à analyser. Ces derniers ont été la biomasse et le nombre total d'individus prélevés, la biomasse et le nombre d'individus par stade de développement (adultes, sub-adultes et juvéniles) et la biomasse et le nombre d'individus par catégorie écologique (épigés, endogés et anéciques).

En outre, pour chaque point de prélèvement, l'humidité et la température du sol à 20 cm de profondeur ont été mesurées.

### a) justification

Ces paramètres, traditionnellement utilisés en écologie lombricienne, ont été retenus car ils conviennent bien à la recherche de relations entre type de population, nature des

réseaux de galeries et caractéristiques du sol.

En outre, les diverses mesures correspondantes (dénombrement, identification taxonomique, pesée, etc) sont de mise en oeuvre relativement aisée.

Les mesures de l'humidité et de la température du sol à 20 cm de profondeur permettent d'évaluer l'influence des conditions pédo-climatiques sur l'activité lombricienne.

Toutefois, ces detérminations permettent de caractériser la population présente au moment même de la mesure. Il s'agit donc, d'une donnée temporelle ponctuelle qui est pourtant rapprochée ensuite de données relatives aux réseaux, dont les caractéristiques sont la résultante d'actions plus étalées dans le temps.

b) technique

La technique consiste à faire d'abord un prélèvement de lombrics selon la méthode au "formol" (RAW, 1959; SATCHELL,1963). Cette méthode a été adaptée à la taille de notre surface de travail. Elle comprend l'arrosage de la surface du sol occupée par les anneaux utilisés pour la mesure de vitesse d'infiltration, avec 20 litres de solution, en 4 fois toutes les 10 minutes. Les 20 litres reçoivent chaque fois une dose de formol (50, 50, 100, 100 cm3) et la collecte des vers de terre s'effectue à la surface pendant 40 minutes, dès le premier arrosage.

Sur les échantillons de lombrics on réalise ensuite au laboratoire , une pesée, un dénombrement, puis diverses déterminations: identification des espèces, des catégories écologiques et du stade de développement (juvéniles, adultes) des individus.

c) discussion

La méthode au formol (dite méthode éthologique, BOUCHE, 1972) est la seule technique compatible avec le protocole de travail adoptée car elle est non destructive. Elle s'appuie sur l'aptitude des lombriciens à remonter en surface (où ils sont collectés) sous l'effet d'une solution diluée de formol.

Cependant cette aptitude varie en fonction des modes de

vie (= catégorie écologique), des espèces, des conditions environnementales et physiologiques du moment (BOUCHE,1972). En d'autres termes, certaines catégories (comme les épigés) sont généralement bien collectées alors que quelques espèces d'endogés ne sont jamais récoltées.

Pour cette raison, BOUCHE (1975) propose l'utilisation de deux coefficients de correction de la biomasse prélevée par la méthode éthologique:

- un coefficient de sensibilité (Si) propre à chaque espèce;
- un coefficient de mobilité (Mi) qui tient compte de l'activité de l'espèce au moment du prélèvement.

Le coefficient Mi reflète les conditions de régulation physiologique de l'animal, comme la régulation hormonale de l'activité en fonction de la photopériode et des conditions d'environnement (froid, sécheresse,etc), éléments qui peuvent inhiber plus ou moins, voire totalement, cette activité. HEIDET (à paraître) et HEIDET et BOUCHE (sous presse) ont réinterprété quantitativement ces rapports et élaboré une formulation numérique de ces coefficients Si et Mi pour Nicodrilus longus.

BOUCHE (1975) propose comme facteurs de correction (Si+ Mi): 1,11 pour la biomasse des épigés, 1,18 pour celle des épianéciques, 2 pour celle des anéciques et 2,5 pour les endogés. Plus récemment, une étude approfondie de la biomasse prélevée sur la parcelle de Cîteaux (GARDNER et BOUCHE, 1984) indique que la méthode au formol prélève seulement 34,5 % des anéciques; 14,6 % des endogés et 41,5 % des épigés, lorsqu'on la compare avec la méthode physico-éthologique (2).

Nous avons appliqué ces facteurs de correction aux données quantitatives de biomasses prélevées par la méthode au formol, en retenant les valeurs proposées en fonction de la catégorie écologique, de l'époque de prélèvement et des conditions pédoclimatiques au moment de la mesure.

---

(2) La méthode physico-éthologique [BOUCHE, 1972] consiste à arroser le sol selon la méthode du prélèvement au formol puis à effectuer la collecte des animaux et enfin à prélever un échantillon de sol, à l'emplacement préalablement formolé, jusqu'à une profondeur de 20 cm. Elle associe donc la méthode au formol, qui fait remonter la faune profonde dans les couches superficielles, à la méthode de lavage-tamisage (méthode physique) qui donne la totalité de vers de terre de petite taille, de cocons et des autres animaux de la faune endogée.

Par rapport aux chiffres indiqués il est donc raisonnable de négliger les pertes pour les épigés et les épianéciques et de multiplier par 2 la biomasse des anéciques et par 3 celle des endogés. Ces facteurs de correction seront appliqués sur les profils étudiés dans des conditions pédoclimatiques favorables (hors des périodes de diapause). Les valeurs de biomasse obtenues seront celles utilisées pour la discussion des relations entre population lombricienne, réseaux de galeries et caractéristiques des sols (3ème partie).

## 3.4. Caractérisation des sols

La caractérisation des sols, qui peut prendre diverses formes (FAVROT, 1983; Mac KEAGUE et al., 1984), a combiné plusieurs techniques, de terrain et de laboratoire.

Parmi les diverses critères de caractérisation des sols, nous avons retenu en effet ceux qui nous ont paru les mieux adaptés à l'identification et à la compréhension des relations sols - réseaux - populations.

A cet égard, outre la description detaillée du profil pédologique représentatif de chaque site (suivant les paramètres habituels de profondeur des horizons, de texture, de couleur, de tâches d'hydromorphie, d'état d'humidité, de structure, de profondeur d'enracinement, etc), nous avons choisi des critères relatifs au comportement hydrodynamique, à l'espace poral et au contexte physico-chimique.

### 3.4.1. Mesure de la vitesse d'infiltration

La mesure de la vitesse d'infiltration permet une évaluation globale de la perméabilité (3), qui constitui un important paramètre de caractérization du comportement hydrodynamique du sol.

---

(3) Le terme **perméabilité** indique "la propriété du sol qui traduit la facilité plus ou moins grande avec laquelle s'effectue le cheminement de l'eau dans le sol" (CLOZET et MATHIEU, 1986). L'emploi du terme **perméabilité** a été dans le passé une source de confusion car il a souvent été utilisé comme synonyme de conductivité hydraulique (HILLEL, 1974). En effet, la perméabilité (K) est une grandeur de dimension $L^2$ et indique le flux de l'eau dans le sol. Lorsqu'on exprime cette grandeur selon un gradient de temps, nous avons un terme de vitesse, couramment désigné par vitesse d'infiltration. La conductivité hydraulique (K) est une grandeur de dimensions LT-1 pouvant être représentée par: $K = kf$ et $f = \delta g/v$

où f est la fluidité (L-1T-1);
$\delta$ est la densité du fluide;
g est l'accélération de la pesanteur;
v est la viscosité.

a) justification

Ce paramètre est pris en compte pour deux raisons principales:

- d'une part il constitue un moyen de caractérisation du comportement hydrodynamique du sol en état saturé où les macropores ont une importance considérable;

- d'autre part, la technique utilisée permet de faire, tout de suite après cette détermination, le marquage des galeries par le bleu de méthylène (voir §3.3). En effet, l'application du colorant se fait lorsque l'écoulement de l'eau est soumis à un gradient hydraulique qui s'approche le plus possible du gradient de potentiel gravitaire, c'est à dire, lorsqu'on atteint une vitesse d'infiltration constante (4).

b) technique

La mesure de la vitesse d'infiltration a été faite par la méthode du double-anneau de Muntz. Cette technique consiste à mesurer la quantité d'eau infiltrée, sous charge constante, à travers une surface parfaitement connue (0,2 m²), et sous forme de filets liquides verticaux.

Afin de disposer d'une aire de mesure suffisamment grande (voir discussion § 3.5.2), l'anneau central a été choisi avec un diamètre de 50 cm et l'anneau de garde avec un diamètre double.

Pour assurer une alimentation en eau constante, et donc une charge pratiquement constante, l'apport d'eau se fait à l'aide d'un vase de Mariotte.

---

(4) La vitesse d'infiltration constante (ou finale) est largement utilisée comme caractéristique de l'infiltration dans le sol. Elle a une valeur proche mais inférieure à celle de la conductivité hydraulique, puisque le potentiel hydraulique s'approche du potentiel gravitationnel (MARSHALL, 1979).

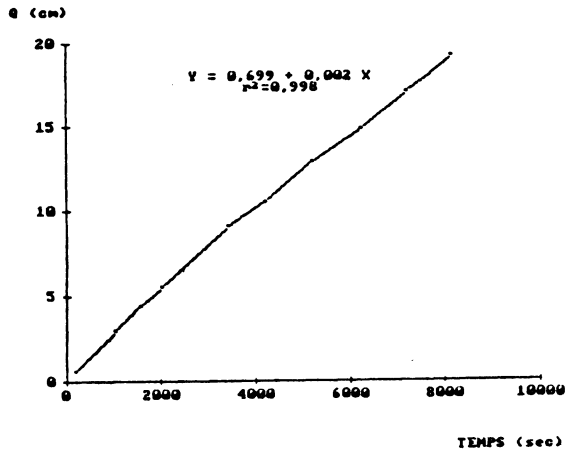
c) discussion et interprétation des résultats

La méthode du double-anneau de Muntz est largement connue et utilisée sur le terrain. Elle est souvent employée pour la mesure ponctuelle de la vitesse d'infiltration, bien qu'elle soit contestée par certains auteurs (KUTILEK et al., 1986; ZABEK, 1986), à cause des assez grandes variations constatées dans les résultats.

Ces derniers suivent une courbe d'équation générale du type I = f(t) , où I est le volume cumulé de l'eau infiltrée et t le temps depuis le début de la mesure d'infiltration.

La valeur de la vitesse d'infiltration est déduite en prenant la pente de la courbe lorsque celle-ci s'assimile à une droite (figure 3.2).

Figure 3.2: Courbe du type I = f(t) pour la détermination de la valeur de vitesse d'infiltration en régime permanent.



### 3.4.2. Mesure de la densité apparente sur mottes et sur agrégats

L'objectif de ces mesures de densité apparente est de caractériser finement la porosité du sol en place (porosité totale, structurale et d'agrégat) afin de pouvoir situer la partie occupée par la porosité lombricienne.

Il fallait donc rechercher des méthodes susceptibles de caractériser la porosité d'échantillons de sols non remaniés depuis les plus grosses unités structurales (mottes de plusieurs centaines de cm3) jusqu'aux agrégats composant l'organisation fine du sol (porosité texturale; cf. FIES et STENGEL, 1981).

La quantification de la porosité du sol est couramment faite à partir de la détermination de la densité apparente et du rapport entre celle-ci et la densité réelle.

a) justification

Parmi les techniques de mesure de la densité apparente du sol les plus courantes (technique du cylindre, densitomètre à membrane, techniques gammamétriques, etc), nous avons utilisé celle dite à la paraffine (in AL ADDAN, 1984) et la technique du pétrole (in FIES, 1978), car elles nous permettaient d'atteindre, de façon aisée, cette condition préalable: la caractérisation de la densité apparente des échantillons de sol non remanié de taille variée, afin de rendre compte de différents types de porosité.

b) technique

- technique de la paraffine

Cette technique est appliquée sur des mottes de volume variant de quelques centaines de cm3 à quelques dizaines de cm3.

Elle consiste à enrober des éléments structuraux non remaniés, extraits du profil, en les plongeant dans un bain de paraffine proche du point de fusion (58·C). Ensuite, au laboratoire, on mesure leur volume par immersion dans l'eau (poussée d'Archimède). Connaissant le poids et la densité de la paraffine déposée sur la motte, on en déduit le volume total de la motte. Afin, de calculer sa teneur en eau et sa densité apparente sèche, on extrait un échantillon de terre de la motte

et on le passe à l'étuve à 110 °C (≈ pF 7).

Dans le cas de grosses mottes (volume de quelques centaines de cm3), après une première phase de mesure, on dégage des éléments structuraux plus petits (quelques dizaines de cm3) et on répete l'opération d'enrobage par la paraffine, de mesure du volume par la poussée d'Archimède, etc.

- technique du pétrole

Cette technique est utilisée pour de petits agglomérats terreux de taille comprise entre 2 et 3 mm. Elle consiste à saturer sous vide les échantillons dans du pétrole, pendant quelques heures, à les essuyer avec du papier filtre, puis à déterminer leur volume par poussée hydrostatique dans du pétrole. Le pétrole a la propriété de pénétrer rapidement dans l'espace poral accessible sans faire varier le volume de l'échantillon.

c) discussion

- technique de la paraffine

Bien qu'il s'agisse d'une technique fiable, basée sur des principes simples, il existe quelques sources d'erreurs:

- sur la détermination exacte du volume (et du poids), car la précision de la mesure décroit avec le volume de sol considéré;
- une sur-estimation du volume est possible (MAERTENS, 1965) lorsque les échantillons sont trempés dans la paraffine chaude, car il y a dégagement de vapeur d'eau qui reste entre la motte et la paraffine;
- au moment du prélèvement: dans les sols sableux le prélèvement de grosses mottes à structure naturelle intacte est très difficile, ce qui peut entraîner une mauvaise estimation de la densité.

- technique du pétrole

Cette technique exige une manipulation délicate, vue la petite taille des agglomérats (2-3 mm). Cependant, dans le cadre de ce travail, les résultats obtenus sur plusieurs répétitions

présentaient des écarts-types ramenés à la moyenne toujours inférieurs à 4 % et en général au tour de 2 % .

Ceci nous permet d'obtenir une fiabilité satisfaisante, les principales sources d'erreur de mesure ayant pu être surmontées. Ces sources d'erreur sont notamment une surestimation du volume de l'agglomérat par ressuyage insuffisant ou une sous-estimation de celui-ci par ressuyage excessif.

### 3.4.3. Analyses physico-chimique

Sur les différents horizons des profils ouverts sur une parcelle considérée, nous avons retenu les analyses suivantes:

- granulométrie en 5 fractions: argile ( < 2 µm), limon fin (2 µm - 20 µm), limon grossier (20 µm - 50 µm), sable fin (0,05 mm - 0,2 mm), sable grossier (0,2 mm - 2mm);
- carbone organique par la méthode Anne;
- teneur en azote total par la méthode Kjeldahl;
- pH eau

Des protocoles analytiques "classiques" ont été utilisés. (cf. HERMANN, 1980).

#### a) justification

Ces paramètres, outre la caractérisation fine des sols étudiés, doivent apporter des éléments qui puissent expliquer la répartition des lombriciens dans les différentes parcelles étudiées.

Les nombreuses espèces de vers de terre ont en effet des exigences différentes en termes écologiques. Les caractéristiques chimiques du sol qui interviennent en premier lieu sont: la teneur en matière organique, le pH et le rapport C/N (BOUCHE 1972).

La granulométrie est retenue ici dans le but de vérifier les éventuelles relations entre la texture du sol et les différents types de réseaux de galeries lombriciennes.

## 3.5. Caractérisation du réseau de galeries accessibles au passage de l'eau

Dans un volume de sol donné il existe un système de galeries plus ou moins interconnectées. A partir de techniques de coloration en phase d'écoulement gravitaire, nous avons mis en évidence un réseau de galeries dit réseau fonctionnel (5).

Ce réseau fonctionnel constitue une partie plus ou moins importante du réseau total et sa morphologie est caractérisée par la forme générale des galeries, leur distribution dans le sol, leur tortuosité, leur diamètre, leur longueur et les interconnections entre les galeries.

Avant de discuter des techniques de coloration et de description du réseau dit fonctionnel, il nous faut souligner ce qui a été considéré comme une galerie lombricienne.

### 3.5.1. Notion de galerie lombricienne

Les galeries sont de gros pores dont le diamètre est en général supérieur à 0,1 mm. Dans les parcelles étudiées, ces galeries avaient essentiellement deux origines: soit dues à la faune du sol (principalement les vers de terre), soit à la pénétration de racines.

Dans ce travail, toutes les galeries mesurées avaient un diamètre supérieur à 2,0 mm. Et, bien que sur le terrain il n'est pas toujours possible de préciser l'origine exacte de tous les pores, il est logique de se demander quelle est la part due aux racines.

La description des réseaux de galeries colorées a été éfectuée sur des parcelles occupées par des prairies permanentes, où les racines ont généralement un diamètre

---

(5) Remarque: le terme fonctionnel est utilisé ici dans le but de simplifier la rédaction et de préciser le type de pore étudié. Cependant cela implique une certaine inexactitude. En effet, au sens strict , tous les pores ont une fonction dans les sols, vis-à-vis soit de l'eau, soit de l'air, soit de la pénétration des racines, etc. Nous considérons ici le terme fonctionnel que vis-à-vis de l'écoulement gravitaire de l'eau. Ainsi, chaque fois que nous utiliserons l'expression réseau fonctionnel ou galerie fonctionnelle, il s'agira de galeries ou de réseaux colorés ouverts au passage de l'eau en écoulement gravitaire.

inférieur à 1,0 mm. Les macropores colorés et mesurés sont donc vraisemblablement des galeries de lombrics dont le diamètre se situe en général entre 2,0 et 12 mm.

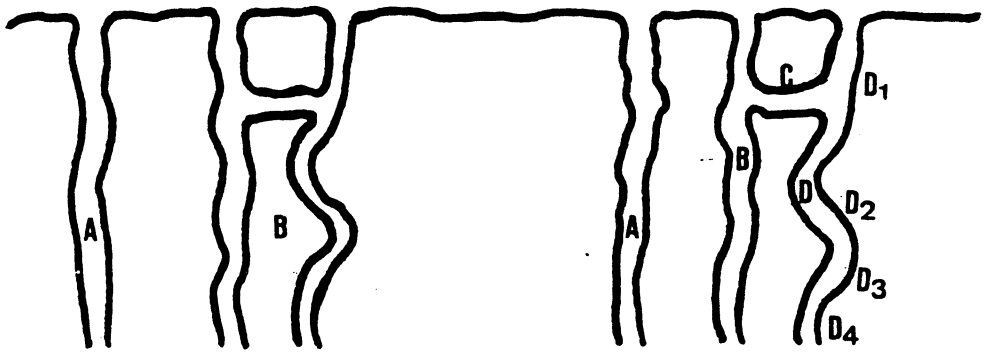
Un autre point à souligner est la notion même de galerie utilisée dans ce travail. l y a en effet deux définitions posssibles d'une galerie (cf. fig. 3.3):

- l'une, plus "écologique", considérant comme galerie l'ensemble des conduits connectés en eux, constituant l'habitat d'un ver de terre;

- l'autre, plus "hydrodynamique", restreignant le terme galerie à celui de conduit continu présentant des faibles changements d'orientation et dans lequel il n'y a qu'une direction de transfert des fluides. C'est celle qui a été retenue dans ce travail.

Une galerie au sens écologique peut donc compendre plusieurs galeries au sens hydrodynamique.

Figure 3.3: Notion de galerie lombricienne.




2 galeries (A et B) au sens écologique.

4 galeries (A,B,C,D) au sens hydrodynamique, chacune faisant l'objet de mesures (longueur, diamètre, tortuosité, etc). La galerie D comprend 4 segments (D1,D2,D3,D4) présentant chacun une orientation propre.La galerie C sert de connection entre les galeries B et D. Un réseau sera d'autant plus ramifié qu'il comprendra de galeries du type C. Au sens écologique B, C et D constituent des segments de galeries.

Sur la majorité des galeries mesurées, le diamètre était pratiquement constant et, parfois, on pouvait observer la présence d'annélations visibles à l'oeil, dues au passage des vers de terre. En outre, le tracé de ces galeries et l'absence de traces de résidus racinaires contribuent à confirmer que les réseaux colorés observés sont essentiellement d'origine lombricienne.

Il faut aussi souligner que, surtout dans les 20 premiers centimètres du sol, certaines galeries de diamètre supérieur à 2,0 mm contenaient parfois des racines, ce qui laissait un doute quant à leur origine. Nous avons considéré celles ci comme des galeries lombriciennes, au vu de leur diamètre élévé et de leur tracé uniforme. En outre, comme ce remplissage se faisait en bordure de la galerie, nous avons considéré que la présence de racines a été posterièure à la galerie creusée par des lombriciens.

La caractérisation du réseau de galeries accessibles au passage de l'eau comprend trois étapes:

- la coloration du réseau;
- la description détaillée du réseau sur le terrain;
- l'étude des échantillons non remaniés en stéréoscopie, au laboratoire.

### 3.5.2. Coloration du réseau fonctionnel

#### a) justification

La coloration du réseau, opération faite à la fin de la mesure de la vitesse d'infiltration, permet de mettre en évidence les pores accessibles au passage de l'eau en écoulement gravitaire (à saturation).

Le colorant utilisé est le bleu de méthylène. Plusieurs raisons ont guidé ce choix: il est soluble dans l'eau; il est visible directement (contrairement à des colorants fluorescents, comme la fluoresceine et la pyranine); il est relativement stable sous la lumière naturelle; il présente une faible adsorption par le sol et un faible coefficient de diffusion, propriétés qui minimisent le déplacement du colorant depuis la voie de transmission (DURET, 1983).

Ces propriétés confèrent au bleu de méthylène un fort pouvoir de coloration, surtout pour les pores de taille égale ou supérieure à 2,0 mm (SMETTEM et COLLIS-GEORGE, 1985). Rappelons que certains auteurs (BEVEN et GERMANN, 1980) considèrent la valeur de 2,0 mm comme le seuil inférieur du diamètre des macropores.

b) technique

La coloration du réseau fonctionnel se fait par l'application de 50 litres d'une solution de 0,1 % de bleu de méthylène. Le colorant est appliqué à la fin de la mesure de vitesse d'infiltration, à l'intérieur de l'anneau central. Afin de laisser le temps nécessaire à une bonne infiltration du colorant sur toute la longueur du réseau fonctionnel, l'ouverture du profil coloré, ne se fait que 12 heures au moins après l'application du colorant.

c) discussion

La coloration du réseau fonctionnel par le bleu de méthylène a permis la mise en évidence des galeries ouvertes au passage de l'eau en écoulement gravitaire, sur tout le volume de sol échantillonné (jusqu'à 1 m de profondeur). Toutefois, sur les 10 premiers centimètres de profondeur, la diffusion du bleu de méthylène sur toute la masse du sol rendait parfois difficile l'identification des galeries colorées.

On avait l'option de négliger ces 10 premiers centimètres. Mais la présence d'un grand nombre de galeries parfois obstruées dans cette couche, pouvait conduire des erreurs importantes d'évaluation. Ainsi, nous avons conservé cette couche, tout en sachant qu'il pouvait y avoir une sous ou sur -estimation du réseau coloré.

3.5.3. Description du réseau de galeries fonctionnelles

L'objectif à cette étape du protocole, est de caractériser le réseau de galeries fonctionnelles correspondant au volume de sol concerné par la mesure de la vitesse d'infiltration. Il est donc nécessaire de repérer et de mesurer toutes les galeries colorées par le bleu de méthylène, situées à l'intérieur du volume de sol pris comme référence.

L'unité d'échantillonnage est un cylindre de sol

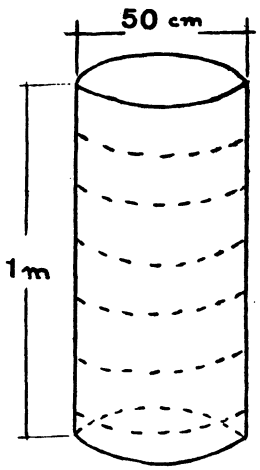
(figure 3.4) dont la hauteur est égale à 1 m et la base ≈ 0,2 m² (aire de l'anneau central utilisé pour la mesure de vitesse d'infiltration). Bien que ce cylindre contienne des galeries dont les extrémités se trouvent à l'extérieur de ce volume, nous n'avons décrit que les galeries situées à l'intérieur de ce volume de référence de 196 litres( = 0,196 m²x 1m). Cela afin de garder toujours la même unité de volume de sol échantillonné.

a) technique

La technique utilisée consiste à repérer et à caractériser toutes les galeries colorées qui se trouvent à l'intérieur du volume de référence.

Pour cela, 12 heures après la coloration par le bleu de méthylène, une fosse de 1,0 m x 0,8 m x 1,2 m est ouverte tangentiellement à la bordure de l'anneau central, en vue de la description morphologique du profil pédologique et de la caractérisation du réseau de galeries colorées.

Figure 3.4: Schéma de l'unité d'échantillonnage.




Le cheminement de chaque galerie colorée (numérotée) est suivi en découpant progressivement le cylindre de sol (figure 3.4), chaque galerie est identifiée et repérée en utilisant un "catheter" (ø = 1,5 mm). Sa position spatiale à l'intérieur du cylindre est notée selon les axes x et y et selon la profondeur z. Le diamètre est aussi mesuré de façon à permettre une

estimation du volume des galeries. Pour fixer les coordonnées en x et y, un cadre en bois formant un quadrillage de 50 cm de côté est placé en surface. Le sol est découpé petit à petit, dans les sens vertical et horizontal, jusqu'à 1 m de profondeur.

Le pas des mesures est de 5 cm pour les 20 premiers centimètres et de 10 cm au delà de cette profondeur. Mais, pour tenir compte de la tortuosité et des constrictions/élargissements au long de leurs parcours, toutes les galeries sont repérées, à chaque changement de cheminement ou de diamètre.

b) traitement des données

Le traitement des données consiste principalement à quantifier la longueur et le volume des galeries colorées à l'échelle des réseaux (profils). En outre, les données relevées permettent de déterminer certains paramètres comme la longueur et le volume des galeries par horizon pédologique, leurs sections efficaces par section horizontale de sol, leurs tortuosités, leur profondeurs de pénétration, leurs diamètres moyen et la distance moyenne entre galeries voisines. Cette étude de terrain apporte aussi une appréciation qualitative de certains paramètres tels que: l'intensité des ramifications, le taux de galeries non colorées par rapport aux galeries colorées, la présence de tâches de diffusion du colorant utilisé sur la paroi de la galerie, les caractéristiques morphologiques de cette paroi (présence ou absence d'annélations dues au passage des vers de terre) et la forme des galeries.

Pour représenter la forme et surtout la distribution de galeries colorées dans le profil, nous avons conçu un programme informatique de reconstitution graphique des réseaux à partir des données collectées sur le terrain.

- Etude de la longueur et du volume des réseaux de galeries fonctionnelles

Cette étude vise d'une part à déterminer la longueur et le volume de chaque galerie colorée mesurée à l'intérieur du cylindre de référence, et d'autre part à quantifier la longueur et le volume total des réseaux fonctionnels de chaque profil étudié.

La technique de description adoptée amène à considérer la longueur totale d'une galerie comme la somme des longueurs de chaque segment de galerie, un segment de galerie constituant la

partie située entre deux points repérés en x, y et z à l'intérieur du cylindre de référence (figure 3.4).

Ainsi, à partir des coordonnées spatiales x et y et de la profondeur z la longueur Lg de chaque galerie est définie par:

$$(1) \quad Lg = \sum_{i=1}^{n} l_i = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}$$

De même, le volume Vg de chaque galerie est égal à la somme des volumes de chaque segment de galerie, et se définit par:

$$(2) \quad Vg = \sum_{i=1}^{n} v = \sum_{i=1}^{n} (l_i \times d_i^2 \ \pi/4)$$

Comme par convention, le diamètre (d) d'un segment est constant (ou du moins ses variations ne sont pas perceptibles à l'oeil), nous avons considéré que chaque segment de galerie avait un diamètre (d) égal à la moyenne des diamètres de ses deux extrémités.

La longueur totale de chaque réseau est donc égale à la somme des longueurs de chaque galerie, de même que le volume total est égal à la somme des volumes de chaque galerie.

- Etude du diamètre moyen des galeries

Les observations de terrain ont mis en évidence la faible variabilité du diamètre d'une galerie le long de son parcours, sauf lorsqu'il existe à son extremité une logette de diapause. Ces observations coincident d'ailleurs avec des études faites auparavant. En effet, BULLOCK et al. (1985) indiquent la faible variation du diamètre comme un des paramètres pour la différenciation entre galeries et fissures, dans les études micromorphologiques (cf. § 2.3.1).

Aussi pour faciliter les calculs et les comparaisons, dans ce travail, le diamètre moyen d'une galerie donnée a été considéré comme égal au diamètre de la galerie de rayon constant ayant le même volume et la même longueur que la galerie réelle (c'est à dire, mesurée). Le diamètre moyen peut donc s'évaluer par le rapport entre le volume et la longueur totale. Comme

dans le calcul du volume on intègre les variations éventueles de mesure du diamètre, l'erreur commise devient négligeable (1/10mm). Le calcul du diamètre moyen (dg) devient donc:

$$(3) \quad dg = \sqrt{(Vg / Lg) \times (4 / \pi)}$$

- Etude de la tortuosité des galeries fonctionnelles

Cette étude est faite pour deux raisons principales: il s'agit d'abord de quantifier un paramètre important vis-à-vis du comportement hydrodynamique des sols;il peut également constituer un élément de plus pour la comparaison entre réseaux différents.

La tortuosité ($\tau$) d'une galerie est définie par le rapport entre la longueur réelle de la galerie (Lg) et la distance en ligne droite entre les deux extrémités de son trajet (L').

$$(4) \quad \tau = \frac{Lg}{L'}$$

Selon DE COCKBORNE (1980) la tortuosité des pores du sol a une valeur supérieure ou égale à 1, pouvant atteindre 6.

- Etude de la distribution des galeries situées à l'intérieur des horizons pédologiques

Cette étude vise à déterminer la partie du réseau de galeries correspondant à chaque horizon pédologique. Comme les points de mesures sur les galeries ne coincident pas toujours avec les limites des horizons, nous avons estimé les coordonnées de chaque galerie pour les valeurs de profondeur définies comme limite des horizons.

Cette estimation est faite par l'interpolation de coordonnées x et y, en fonction de la profondeur de l'horizon (cf. figure 3.5).

Pour cette opération, deux cas de figures ont été considérés:

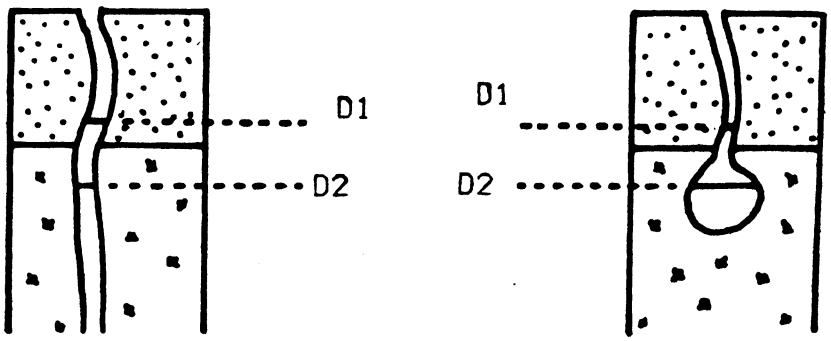
1·) une limite d'horizon coupe la galerie à un niveau où

les diamètres ne varient pas ou varient peu (figure 3.5 a).
L'estimation du diamètre se fait en prenant la moyenne des deux diamètres adjacents (en-dessus et au-dessous);

2·) une limite d'horizon coupe la galerie à un niveau où le diamètre suivant correspond à une logette (figure 3.5 b)
L'estimation de diamètre se fait en prenant la valeur en-dessus, c'est à dire la valeur la plus petite, car nous supposons que le diamètre de cette galerie reste constant jusqu'à l'entrée de la logette.

Après la définition des coordonnées et du diamètre de chaque galerie en fonction des limites des horizons, le calcul de leur longueur et de leur volume par horizon pédologique est fait comme indiqué en (1) et (2).

Figure 3.5: Calcul des coordonnées et du diamètre des galeries correspondant aux limites des horizons.




$$D = \frac{D1 + D2}{2} \qquad D = D1$$

- Etude de la section efficace de galerie par section horizontale du cylindre de sol de référence

L'objectif de cette étude est de déterminer la section développée par les galeries fonctionnelles à différentes profondeurs du sol. Ce calcul est fait par couche de 10 cm et

consiste à déterminer la somme des diamètres des galeries qui traversent cette couche. Compte tenu de la difficulté de repérage des galeries situées dans les 10 premiers centimètres du sol, le calcul n'a été fait qu'à partir de 10 cm de profondeur.

- Etude de la distance moyenne entre galeries voisines

La distance moyenne entre galeries voisines peut nous renseigner sur leurs rôles vis-à-vis de l'infiltration de l'eau et de la réhuméctation du sol.

Ce calcul a été effectué, pour chaque couche de 10 cm d'épaisseur (en éliminant les 10 premiers centimètres de sol).

En l'absence de références sur la distribution des réseaux de galeries lombriciennes nous nous appuyerons sur celles relatives aux racines . Pour celles-ci la distribution spatiale est supposée régulière ou aléatoire. Les calculs effectués à partir de plusieurs types de motifs géométriques réguliers et pour une disposition de type aléatoire aboutissent à des résultats proches les uns des autres (TARDIEU et MANICHON, 1986). Nous adopterons la formule proposée par TAYLOR et KEPPLER, 1975), qui considèrent que la distribution est aléatoire.

Ainsi, la distance moyenne entre galeries fonctionnelles voisines ($\partial$) est définie par:

$$(5) \quad \partial = (\gamma)^{1/2}$$

où $\gamma$ est la longueur de galeries par unité de volume.

c) discussion

Deux conditions devaient être respectées pour conduire notre travail de caractérisation des galeries: opérer sur un volume de sol suffisant au regard des dimensions des pores observés; et mesurer avec précision les paramètres retenus (diamètre, coordonnées spatiales x, y et z).

Pour le premier point, notre volume de référence de 0,2 m3 répond aux impératifs éxigés. Il respecte en particulier les recommandations faites par BOUMA (1985) selon lesquelles le volume élémentaire représentatif pour l'étude de macropores

continus doit être au moins de 0,1 m3 (tableau 3.1).

Tableau 3.1: Volumes hypothétiques élémentaires représentatifs d'échantillons de sols en fonction de la texture et de la structure des sols, selon BOUMA, 1985.

| Classe | Texture | Structure | REV (*) hypothétique ($cm^3$) |
|---|---|---|---|
| a | sableuse | sans peds | $10^2$ |
| b | limoneuse | peds petits | $10^3$ |
| c | argileuse | peds moyens macropores continus | $10^4$ |
| d | argileuse | peds larges macropores continus | $10^5$ |

(*) REV - representative elementary volumes of samples

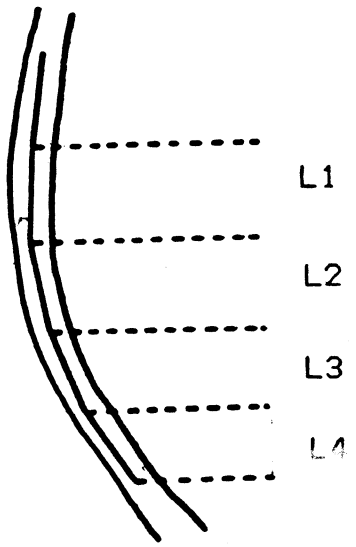
Pour le deuxième point, malgré la minutie apportée aux observations, la caractérisation des réseaux de galeries sur le terrain n'échappe pas à certaines approximations.

Ainsi, la mesure du réseau coloré comporte différentes sources d'erreur par rapport au réseau de galeries fonctionnelles existantes dans le sol, dit réseau fonctionnel réel. Ces erreurs sont difficiles à quantifier et ont différentes causes:

a) en conditions de terrain il est parfois difficile de différencier l'origine biologique d'une galerie (racines, vers de terre, fourmis, etc);

b) la technique de mesure, par la position des différents points de la galerie selon un plan tridimensionnel (x,y,z), présente l'avantage de la situer dans un volume de sol donné, par rapport aux autres galeries. Cependant, leurs longueurs et par conséquent les volumes calculés seront plus ou moins précis en fonction du nombre de points considérés (figure 3.6).

Figure 3.6: **Détermination de la longueur totale d'une galerie en fonction de sa position spatiale.**




$$Lg = L1 + L2 + ... + Ln$$

plus grand est le nombre de points repérés plus on s'approche de la valeur réelle de la longueur totale de la galerie.

c) la mesure du diamètre des galeries s'avère le point le plus difficile, surtout pour les chenaux les plus fins. Cette mesure intervient directement dans l'évaluation du volume, et il est certain que l'estimation de celui-ci comporte un risque d'erreur que nous estimons voisin de 10%.

d) les galeries colorées situées en dehors du volume de sol considéré comme référence (0,2 m3) font partie du réseau fonctionnel réel pour l'écoulement de l'eau appliquée en surface. Cependant, vu la nécessité d'homogénéiser le volume de référence, ces galeries n'ont pas été comptabilisées.

### 3.5.4.Etude des échantillons non remaniés en stéréoscopie

Sur les profils de Sologne et de Bourgogne nous avons prélevé des blocs de sol non remanié afin d'effectuer des observations à la loupe binoculaire stéréoscopique. L'objectif de cette étude était de préciser, de façon plus fine, les caractéristiques des réseaux colorés, notamment des parois des galeries, et de mettre en évidence la présence de galeries non colorées, formées souvent d'anciennes galeries fermées par des coprolithes.

Ainsi, à différentes profondeurs, nous avons prélevé des échantillons de 11x16x7cm, maintenus à l'humidité naturelle. Une

fois au laboratoire, ces échantillons ont été observés à la loupe binoculaire stéréoscopique Mild-5. Etant donné la grande taille des galeries, les observations ont été faites avec un taux d'agrandissement de 6,4x. Pour atteindre le détail des parois, un coefficient plus élévé a été utilisé.

## 3.6. Conclusion

Le traitement et l'interprétation des données acquises s'appuieront sur deux approches:

- l'utilisation de paramètres statistiques descriptifs (moyenne arithmétique, écart-type, variance) pour définir la variabilité des différents paramètres à l'intérieur de chaque profil;

- l'utilisation de droites de régression pour dégager la façon dont varie en moyenne les caractéristiques des réseaux (variables dépendantes) en fonction des différents paramètres du sol et de la population lombricienne .

Sur certains sites (Sologne et Languedoc) l'étude de plusieurs profils permettra d'évaluer la variabilité intra-parcellaire des réseaux de galeries fonctionnelles, alors que la comparaison des 24 profils étudiés apportera des informations sur les variations inter-parcellaires.

Voyons maintenant les résultats obtenus sur chacune des parcelles choisies.

# 2ème Partie: CARACTERISATION DES RESEAUX DE GALERIES COLOREES DE DIFFERENTS TYPES DE SOLS DE FRANCE

## Introduction

La deuxième partie de ce travail sera consacrée à une présentation de l'ensemble des observations et mesures faites sur le terrain et au laboratoire, en vue de caractériser les sols, les populations lombriciennes et les réseaux de galeries colorées rencontrés dans les 24 profils étudiés, répartis dans 6 milieux différents.

Elle comprendra aussi une première discussion des résultats afin de fournir des éléments permettant de dégager plus tard des relations entre les caractéristiques des sols, la nature des populations lombriciennes et les traits essentiels des réseaux de galeries.

Dans un premier temps (chapitre 4) nous discuterons les observations faites sur le planosol de Sologne, sol hydromorphe, pauvre du point de vue chimique et de la population lombricienne, où sept profils ont été étudiés, à des époques différentes.

Ensuite (chapitre 5) seront analysées les observations faites sur un sol alluvial calcaire du Languedoc. Il représente un milieu sain, sans contraintes majeures pour l'installation d'une population de vers de terre; nous y avons étudié huit profils.

Les résultats des réseaux étudiés sur ces deux parcelles seront discutés en termes de variabilités intra- et inter-profils.

Finalement (chapitre 6) nous présenterons les résultats obtenus sur quatre autres milieux (Bretagne, Bourgogne, Normandie et Marais de l'Ouest), pour lesquels le nombre de profils colorés a été plus faible, mais suffisant pour dégager divers types de porosité lombricienne.

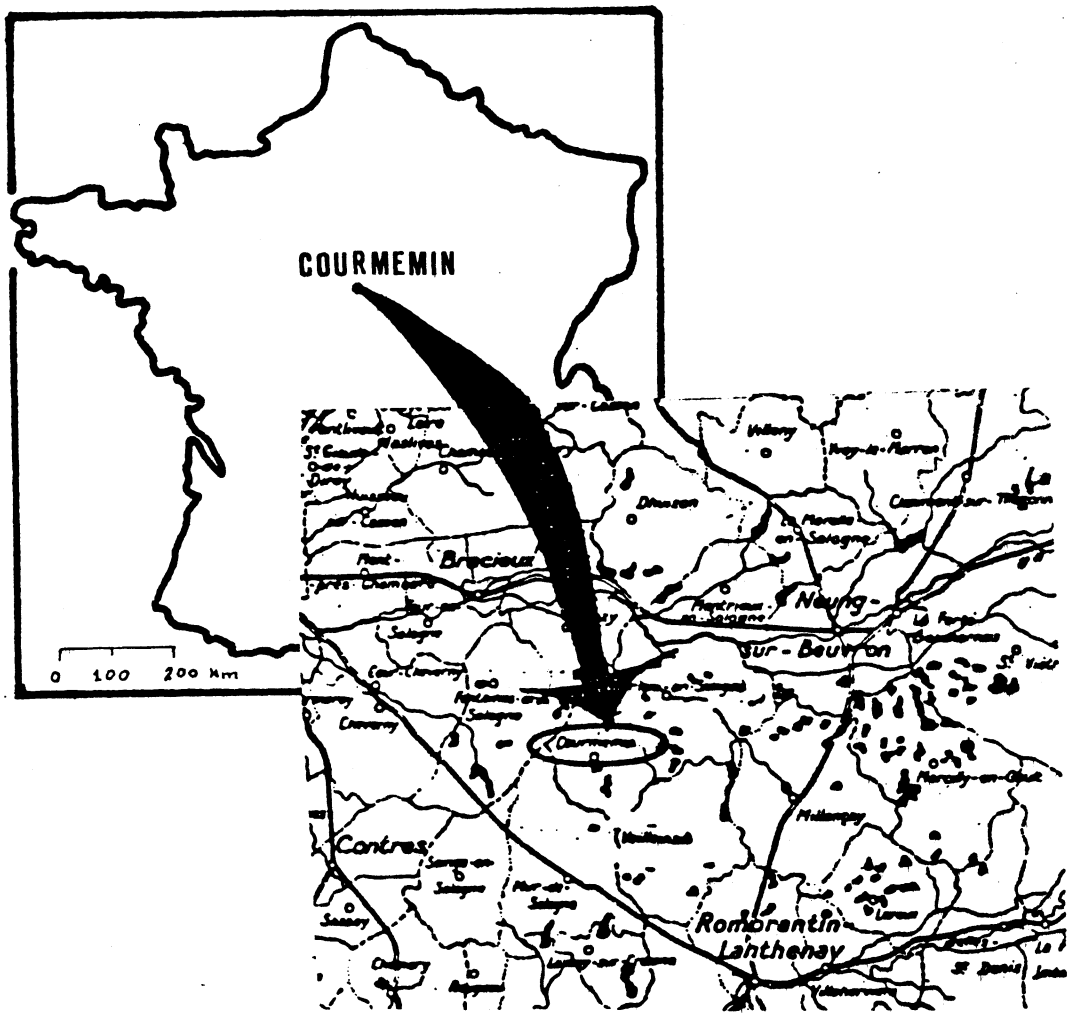
Pour chaque site, après la présentation du milieu, nous discuterons successivement les caractéristiques des sols, les caractéristiques de la population lombricienne et celles des réseaux de galeries colorées.

# Chapitre 4: La parcelle de Courmemin en Sologne

## 4.1 Présentation du milieu et choix de la parcelle

La parcelle étudiée en Sologne se situe dans la commune de Courmemin (Loir-et-Cher) [fig.4.1]. C'est une prairie naturelle de 4 ha environ, paturée par du bétail. La dernière mise en culture (maïs - fourrage) date de 1968. Cette prairie subit un engorgement généralisé pendant plusieurs mois de l'année (environ 3 mois), par suite de la formation d'une nappe perchée temporaire.

Figure 4.1.: Localisation de la parcelle de Sologne.



La parcelle est plane, d'altitude moyenne 130 m, et s'inscrit parfaitement dans la topographie régionale avec ses microcuvettes.

Le climat de la région est de tendance océanique atténuée et de type semi-tempéré. Le caractère océanique s'exprime par la dominance des vents de Sud-Ouest et d'Ouest; cependant, compte-tenu de l'éloignement de la côte Atlantique (250 km) cette influence est atténuée.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 682 mm. Les pluies sont bien réparties tout au long de l'année avec un maximun durant les mois de mai (63 mm) et de décembre (66 mm) et un minimun, durant les mois d'avril (48 mm) et de juillet (49 mm). L'écart entre le mois le plus pluvieux et le moins pluvieux ne dépasse pas 18mm.

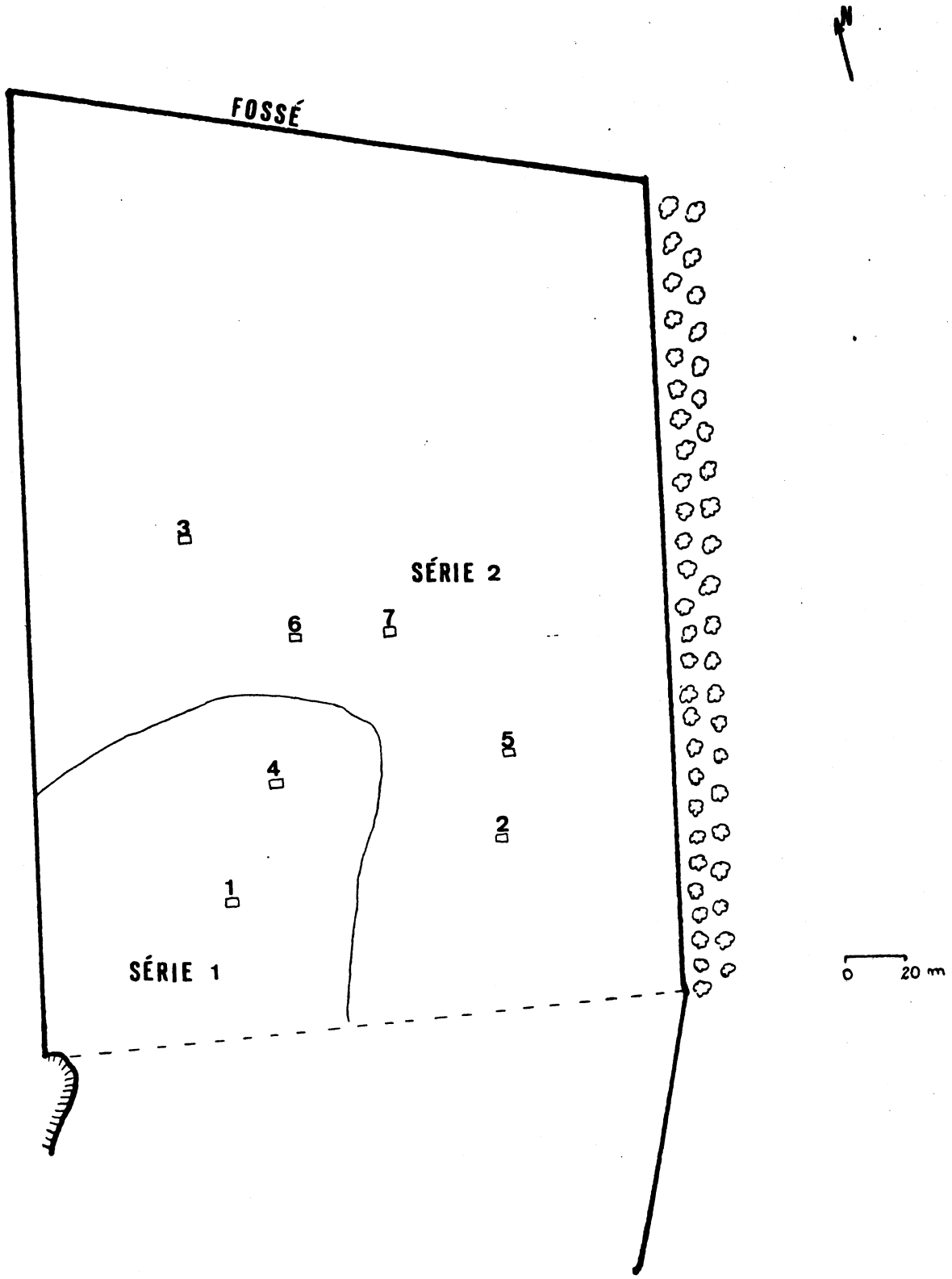
La température moyenne est de 10·7 C , avec un écart de 14·9 C entre le mois le plus chaud (juillet) et le mois le plus froid (janvier) .

La parcelle de Sologne a été choisie car elle présente des sols soumis à un engorgement temporaire, donc inscrits dans la gamme des sols hydromorphes. En outre, elle représente le pôle sableux du spectre granulométrique et elle a fait l'objet d'une étude approfondie sur le comportement hydrodynamique des sols (thèse d'A. GONZALEZ, 1985).

La couverture pédologique de cette parcelle est considérée comme bien représentative du paysage naturel. Il s'agit en effet de deux planosols typiques de Sologne, présentant un horizon A sablo-graveleuex (A1 sablo-humifère) sur un horizon Btg argilo-sableux (FAVROT,1972).

Sur cette parcelle sept profils ont été ouverts et décrits. La figure 4.2 illustre la position de ces différents profils sur la parcelle.

Figure 4.2.: Localisation des différents profils étudiés sur la parcelle de Sologne.



## 4.2. Les sols de la parcelle

Une étude cartographique à l'échelle du 1/1000 de la parcelle, faite par J.-M. BAILLON (DDA de Loir-et-Cher) et B. VINCENT (CEMAGREF - Antony), à partir de 28 sondages à la tarière, a mis en évidence la présence de deux séries de sols [fig. 4.2]:

1- un planosol (grossier) à horizon E graveleux (série 1), avec un horizon Btg, argilo-sableux, de couleur rouge orangé; sur cette série nous avons étudié deux profils, 1 SC et 4 SC;

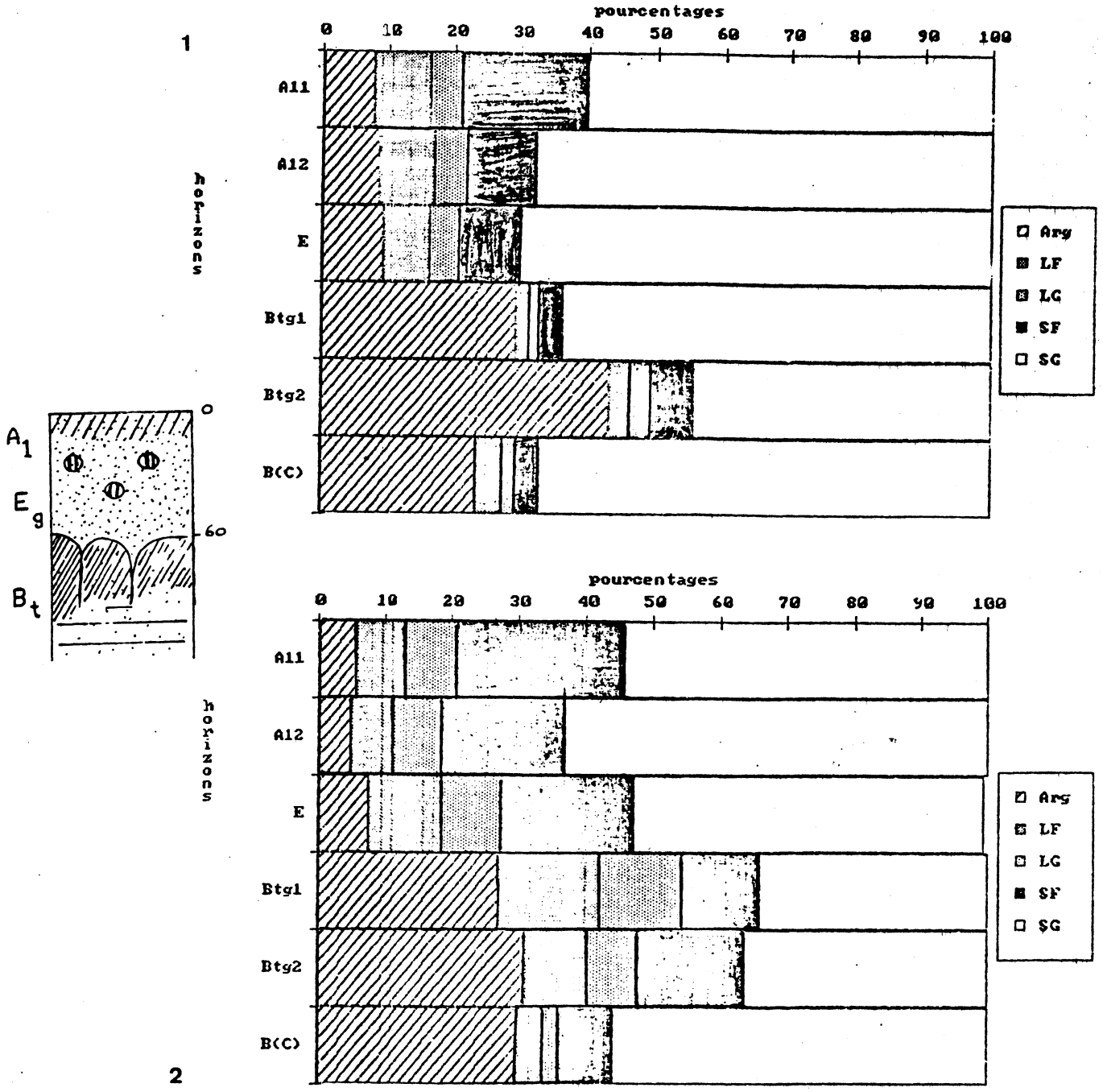
2- un planosol à horizon E sableux (sable-moyen) (série 2) puis un horizon Btg, argilo-sableux, de couleur rouge, glossique (2 SC, 3 SC, 5 SC, 6 SC et 7 SC).

### 4.2.1. étude pédologique des profils

La description morphologique et l'analyse granulométrique de deux profils types - 4 SC (série 1) et 5 SC (série 2) - confirment l'existence de deux séries de planosols à l'intérieur de la parcelle (figure 4.3). En définitive, à l'échelle de 4 ha, si une petite zone présente des sols nettement marqués par la présence d'horizons A et E à sable grossier et graviers, la majorité de la parcelle est constituée par des sols présentant des horizons A et E à sable moyen (serie 2).

On observe sur l'ensemble de la parcelle un contraste brutal entre la teneur en argile des horizons A et E et celle de l'horizon Btg. Cette teneur passe, en effet, de moins de 10 % en surface à plus de 25 %, en profondeur. Toutefois, le profil 3 SC diffère des autres profils par une teneur en limons plus élévée (20 %), indiquant une possible variante dans la série 2.

Figure 4.3.: Granulométrie des profils étudiés en Sologne.



Les horizons sableux de surface sont essentiellement quartzeux, acides et plus ou moins filtrants. Ils présentent un contact brutal avec l'horizon Btg argilo-sableux, très compacté, qui constitue un "plancher" quasi imperméable. La forte différenciation entre horizons est d'ailleurs une caractéristique des planosols (1).

La profondeur d'apparition du plancher imperméable [GONZALEZ (1985)] est relativement homogène, se situant à 70cm +/-10 cm.

La nappe perchée temporaire formée en hiver, subit des fluctuations qui peuvent atteindre parfois la surface en période très humide. Ces phases de saturation en eau ( contrastant avec des périodes de forte dessiccation) donnent à ces profils des signes d'hydromorphie bien visibles in situ: concrétions ferrugineuses et racines gainées dans les horizons A et E, présence de taches rouille et d'un bariolage ocre et gris dans l'horizon Btg.

Les résultats des analyses chimiques des échantillons de terre pour les deux profils types de cette parcelle (4 SC et 5 SC), ainsi que pour deux horizons du profil 3 SC (annexe 2) indiquent que:

a) ces sols sont faiblement acides au sommet du profil et très acides à la base, phénomène probablement dû à la fertilisation;

b) ils sont bien pourvus en matière organique (6,6 % - 4 SC et 2,5 % - 5 SC), avec un rapport C/N voisin de 11 dans l'horizon Ap1 (0 à 8-10cm); cette teneur descend brutalement au dessous et reste pratiquement identique sur tout le profil (entre 0,5% et 0,2 % pour un rapport C/N variant de 5,9 à 8,5) ;

c) la capacité d'échange est faible dans l'horizon A1 et très faible dans l'horizon Eg (elle descend même à 1,5 meq/100g dans le profil 3 SC); elle augmente légèrement dans l'horizon argillique (6,5 à 7,0 meq/100g);

---

(1) Selon DUCHAUFOUR (1977) "le caractère essentiel des planosols réside dans le passage très brutal qui existe dans tous les domaines: couleur, structure et texture, entre l'horizon albique E(A2) ou E(A2g) et l'horizon argillique Bt". Les variations saisonnières du pédoclimat de ces sols sont aussi très importantes et ils passent très rapidement d'une saturation en eau pendant les mois d'hiver-printemps à une dessiccation accentuée en été.

d) le taux de saturation en bases est élevé (70 à 100%).

Ainsi, la rétention des éléments fertilisants est limitée par la faiblesse du complexe absorbant. La matière organique fait aussi défaut au dessous de 10 cm, avec toutefois des entraînements verticaux sous forme d'enduits observables sur les horizons Eg, contrastant avec la matrice fortement décolorée.

A cet égard, l'observation des profils montre le dépôt de matière organique dans d'anciennes galeries de lombrics. Il existe, en effet des conduits "organiques" de diamètre semblable à celui des galeries non colmatées. Ceci indique soit un enfouissement par l'action des vers de terre (matériau présentant des caractéristiques de rejets lombriciens), soit une migration verticale de la matière organique pendant les phases anaérobies.

### 4.2.2. Caractérisation hydrodynamique des sols

La conductivité hydraulique horizontale des sols de la parcelle (GONZALEZ, 1985) a été mesurée selon deux méthodes: celle dite du trou de tarière (Kt) et celle dite des puits et piezomètres (Kp) (tableau 4.1).

Tableau 4.1: Valeurs moyennes de conductivité hydraulique horizontale - parcelle de Courmemin (d'après GONZALEZ, 1985).

| cond.hydr. (m/jour) | nb obs | moy.arit. (m/jour) | σ (m/jour) | moy.log (m/jour) | éc.type log (m/jour) |
|---|---|---|---|---|---|
| Kt | 77 | 2,1 | 0,96 | 1,83 | 0,50 |
| Kp | 6 | 1,7 | 0,28 | - | - |

En considérant les valeurs logarithmiques, procédure la plus courante dans ce type de mesure, on constate donc une variabilité de l'ordre de 48 %, au sein d'une parcelle relativement homogène. On peut donc s'attendre, à priori, à des variations sensibles sur le plan poral.

Le tableau 4.2 rassemble les valeurs de vitesse d'infiltration mesurées sur les sept profils étudiés. La valeur moyenne est de 1,85 m/j, avec un écart-type de 1,13 m/j et

un coefficient de variation de 61 %. Elle est donc proche des valeurs de Kt (1,83 m/j) et Kp (1,7 m/j).

Ainsi, du point de vue hydrodynamique ces sols présentent une conductivité hydraulique assez forte. La topographie du plancher, en forme de dôme, permet la circulation de la nappe. On peut ainsi, dans les années saisonnièrement contrastées, passer assez rapidement d'un engorgement superficiel à un ressuyage rapide, puis à un dessèchement sévère de la couverture sableuse dont la réserve utile en eau est au demeurant très faible.

Tableau 4.2: **Mesures de vitesses d'infiltration par la méthode du double anneau de Muntz faites sur la parcelle de Sologne**

| Profil | date | vit.inf m/j |
|---|---|---|
| série 1 | | |
| 1SC | 05/06/85 | 3,89 |
| 4SC | 16/11/85 | 2,42 |
| série 2 | | |
| 2SC | 09/06/85 | 0,35 |
| 3SC | 15/11/85 | 2,07 |
| 5SC | 17/11/85 | 1,81 |
| 6SC | 19/03/86 | 1,17 |
| 7SC | 06/05/86 | 1,26 |
| moyenne = 1,85 m/j | | |
| écart-type = 1,13 m/j | | |

### 4.2.3. Etude de la densité apparente des sols

La figure 4.4 traduit les variations de la densité apparente, mesurée sur mottes (densité apparente totale) et sur agrégats.

Il y apparaît des écarts anormaux (par rapport aux variations habituelles) pour des mesures réalisées sur des échantillons prélevés en des points rapprochés, appartenant au

même type de sol. Par exemple, pour l'horizon Btg, les chiffres obtenus en densité apparente de mottes varient de 1,4 à 1,8. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées:

- le volume prélevé et trempé dans la paraffine est trop faible;

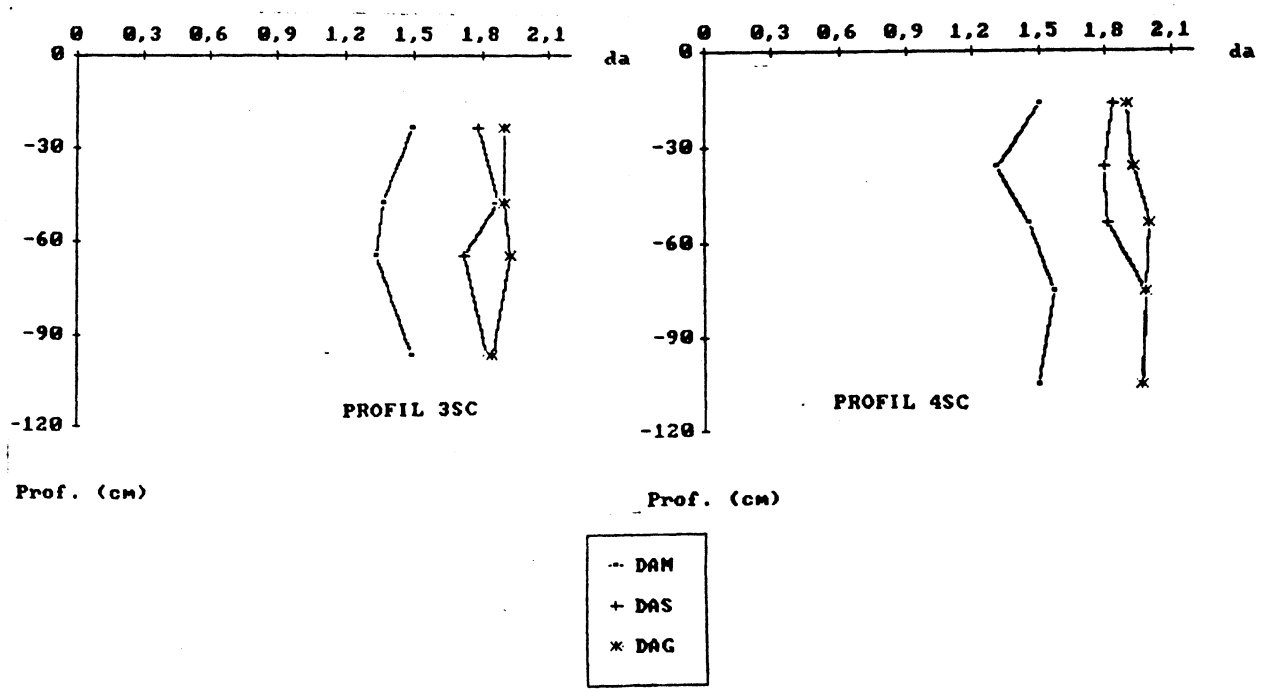
- ces échantillons peuvent être déformés lors de la manipulation, notamment en période humide;

- la mesure de la teneur en eau, pour des raisons d'échantillonnage est peu fiable;

- il y a effectivement de telles variations dans les sols sableux, non signalées à ce jour.

Remarquons toutefois qu'il y a cohérence entre les différents chiffres, pour un même profil, des densités apparentes de mottes et d'agrégats, à l'état humide ou sec.

Figure 4.4: Densité apparente (totale et d'agrégats) mesurée sur la parcelle de Sologne.



## 4.3. Les peuplements des vers de terre

Les prélèvements faits sur la parcelle de Courmemin ont indiqué la présence des espèces suivantes: Lumbricus centralis, Lumbricus castaneus, Nicodrilus giardi ,Nicodrilus caliginosus meridionalis, Allolobophora rosea, Allolobophora chlorotica leucoty et Satchellius mammalis .

Dans leur ensemble, ces diverses espèces sont, selon BOUCHE (1972), adaptées à des milieux plans; elles sont en général neutrophiles et relativement acidotolérantes, et vivent dans des milieux peu organiques. Les individus appartenant à ces espèces ont des caractères d'eubiotiques , c'est à dire, qu'ils vivent dans des milieux à rapport C/N inférieur à 13. C'est donc conforme aux caractéristiques des sols de la parcelle en Sologne .

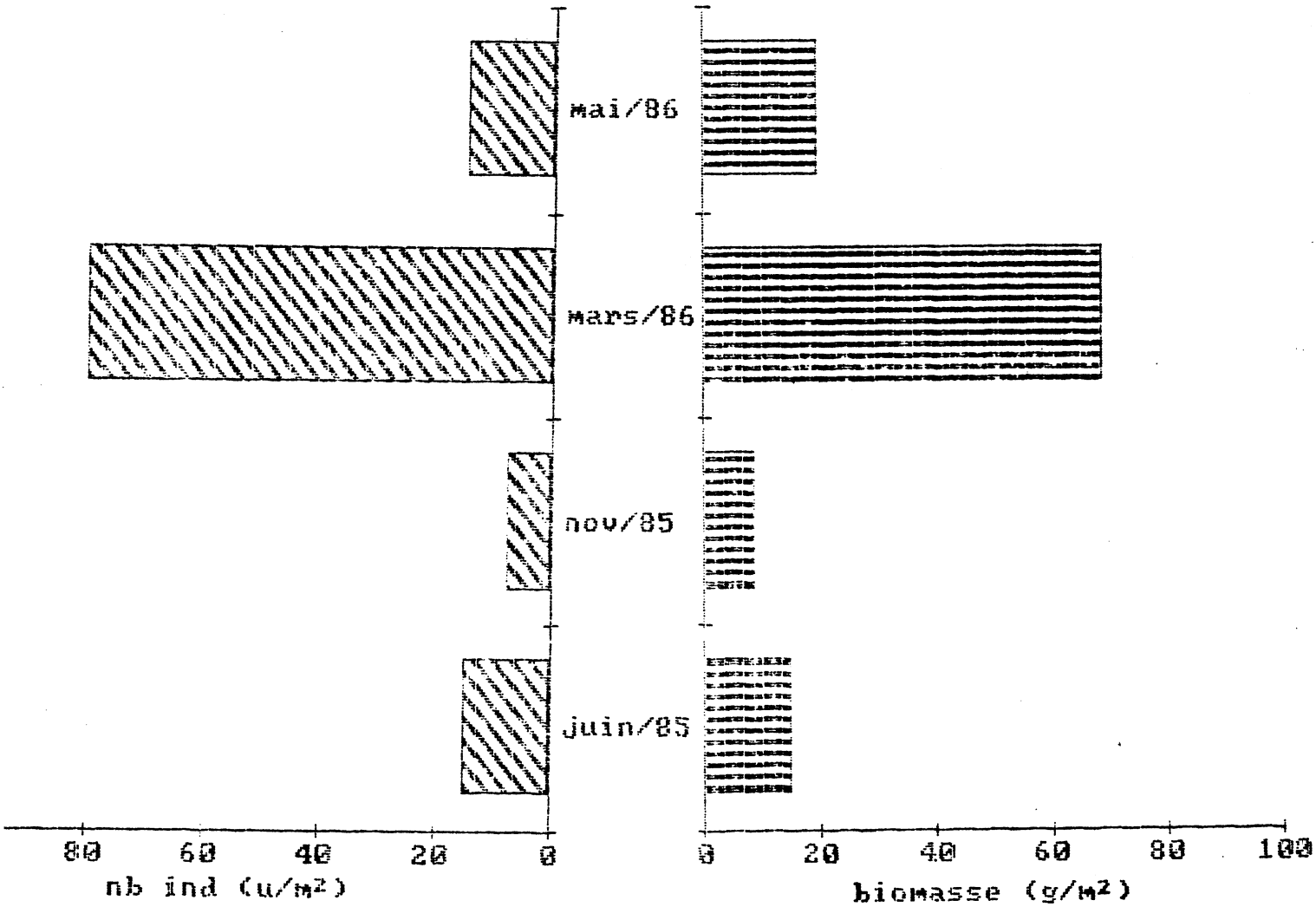
Tableau 4.3: Biomasses prélèvées par profil dans la parcelle de Sologne.

| Profil | date | biomasse g/m² | nb total u/m² | H -20cm (%) | T -20cm (°C) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 SC | juin/85 | 24,5 | 19 | 6,6 | 21 |
| 2 SC | juin/85 | 4,6 | 11 | 10,7 | 21 |
| 3 SC | nov/85 | 7,3 | 10 | 6,6 | 5 |
| 4 SC | nov/85 | 16,0 | 11 | 7,1 | 4 |
| 5 SC | nov/85 | 2,4 | 4 | 5,5 | 5 |
| 6 SC | mars/86 | 68,1 | 80 | 13,5 | 8 |
| 7 SC | mai/86 | 19,4 | 15 | 10,4 | 15,5 |
| moyenne | - | 20,70 | 21,43 | - | - |
| écart-type | - | 22,77 | 26,24 | - | - |

La biomasse moyenne, non corrigée, des vers de terre de la parcelle a été estimée à environ 20,7 g/m², avec un écart-type de 22,7 g/m² et un coefficient de variation entre les différents prélèvements de 110 % (tableau 4.3).

Bien que nous ayons réalisé des prélèvements à différentes époques, nous ne disposons pas d'éléments suffisamment précis pour expliquer ce fort coefficient de variation. En effet il peut y avoir un facteur de variabilité saisonnière mais aussi de variabilité spatiale, car, pour des prélèvements faits à la même époque, nous avons constaté de fortes différences de biomasse d'un profil à l'autre. [figure 4.5].

**Figure 4.5: Nombre d'individus et biomasses prélèvées selon les différentes saisons sur la parcelle de Sologne.**



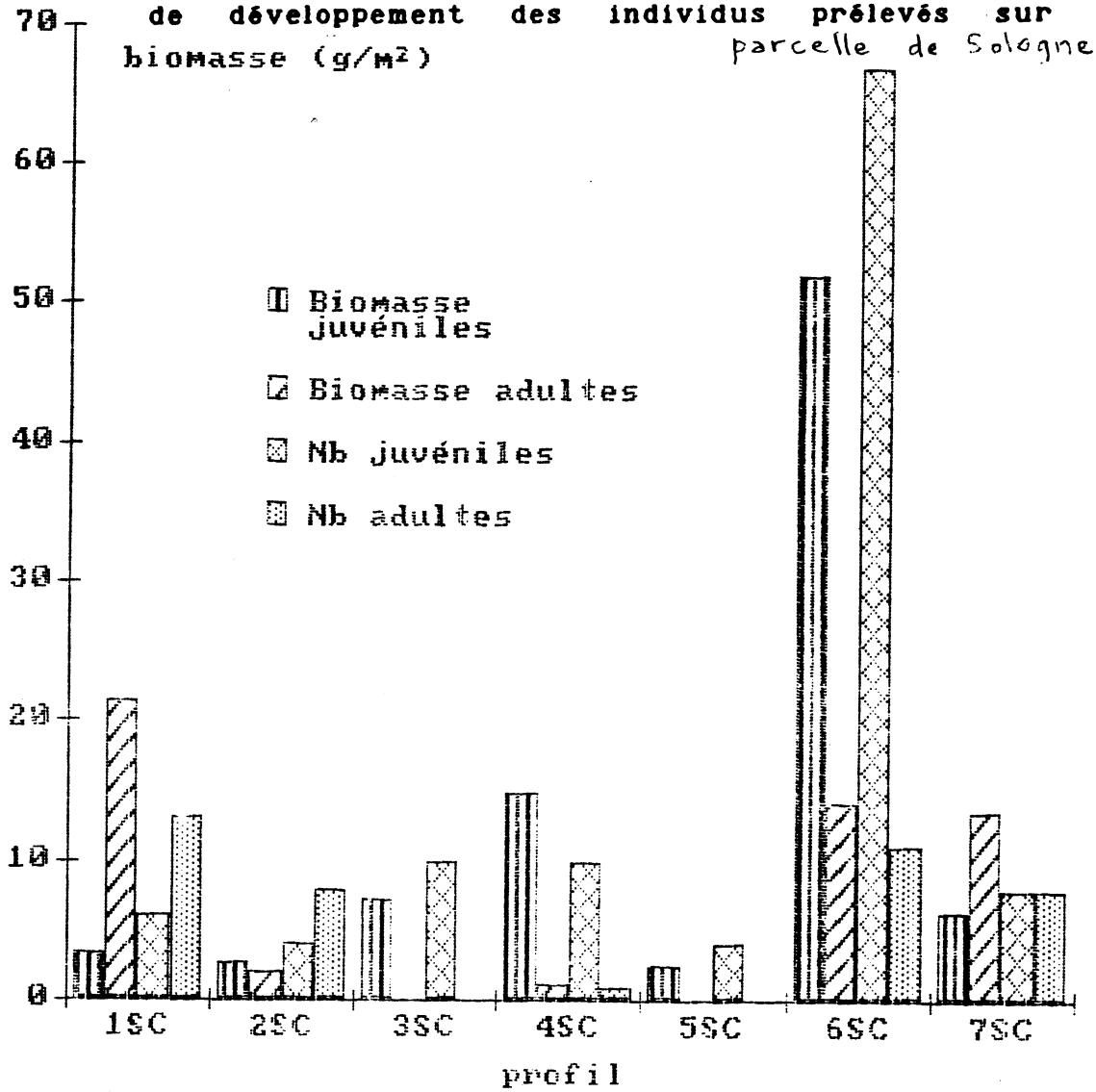
### 4.3.1. étude de la biomasse lombricienne par stade de développement

D'après la figure 4.6 à l'exception des prélèvements faits sur les profils 1 SC et 7 SC, on note une nette dominance des individus juvéniles. Cela peut s'interpréter de deux façons:

1 - ceux ci sont plus sensibles au formol; et/ou

2 - pour les profils 3SC, 4SC et 5SC, les conditions climatiques de l'époque de prélèvement, caractérisées par une forte sécheresse, ont fait que la plupart des adultes étaient encore en léthargie d'été et n'ont pas été prélevés.

Figure 4.6: Nombre et biomasses des vers de terre selon le stade de développement des individus prélevés sur la parcelle de Sologne



Si on analyse le nombre d'individus par stade [figure 4.6], on constate qu'en juin/85 - début de la phase de léthargie d'été - 67 % des animaux étaient des adultes; en novembre/85 - fin de la phase de léthargie pour les conditions de cette année là - entre 90 et 100 % des individus étaient des juvéniles. Pour le profil 6 SC, étudié en mars/86 - donc au début du printemps - 15% à peine étaient des adultes, alors qu'en mai/86 - à la fin de la phase de développement maximal de printemps - on a trouvé 50 % d'adultes.

Malgré le faible nombre d'observations, ces chiffres confirment les tendances indiquées sous prairies permanentes dans les études de variation saisonnière de la population lombricienne (HOPP, 1947; BOUCHE, 1972; KRETZSCHMAR, 1982), à savoir:

- les adultes restent plus longtemps en léthargie que les juvéniles lorsque les conditions pédoclimatiques (humidité et température) ne sont pas convenables;

- les juvéniles, en général de taille plus petite que les adultes, sont plus sensibles aux prélèvements par la méthode au formol.

### 4.3.3. étude de la biomasse lombricienne par catégorie écologique

D'après le tableau 4.4, il y a une absence totale d'épigés et une faible biomasse d'endogés. L'absence des épigés, qui sont essentiellement des animaux d'activité de surface, peut s'expliquer par la teneur moyenne en matière organique des sols de la parcelle. La biomasse d'endogés laisse supposer un faible pourcentage de galeries obstruées (ce qui sera évoqué lors de la discussion sur les caractéristiques des réseaux).

On constate en revanche une nette prédominance d'épianéciques. Rappelons que cette catégorie écologique présente comme particularité un arrêt d'activité par anhydrobiose, c'est à dire, léthargie temporaire accompagnée d'une déshydratation considérable (jusqu'à 27 % parfois, selon MICHON, 1954). Ces animaux épianéciques sont typiques des sols présentant un plancher imperméable qui reste pratiquement humide en période d'été. Les épianéciques construisent des galeries qui atteignent ce plancher humide et, pendant la période d'anhydrobiose, s'enroulent au contact de l'horizon humide.

Dans le profil 6 SC la prédominance des lombriciens anéciques peut s'expliquer par la période même de prélèvement (mars/86) située hors période de diapause et donc très favorable pour la capture des anéciques.

Tableau 4.4: Biomasse des lombriciens prélevés par la méthode au formol, par catégorie écologique, sur la parcelle de Sologne.

| Profil | Biomasse (g/m²) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | épigés | épianéciques | anéciques | endogés | n.i(*) | Total |
| 1 SC | 0 | 24,5 | 0 | 0 | 0 | 24,5 |
| 2 SC | 0 | 3,3 | 1,2 | 0 | 0,1 | 4,6 |
| 3 SC | 0 | 7,2 | 0 | 0 | 0 | 7,2 |
| 4 SC | 0 | 16,0 | 0 | 0 | 0 | 16,0 |
| 5 SC | 0 | 1,6 | 0,8 | 0 | 0 | 2,4 |
| 6 SC | 0 | 14,1 | 47,0 | 4,4 | 2,6 | 68,1 |
| 7 SC | 0 | 15,9 | 3,0 | 0,5 | 0 | 19,4 |

* tronçons de vers de terre, non identifiés

## 4.4. Les réseaux de galeries colorées: résultats obtenus

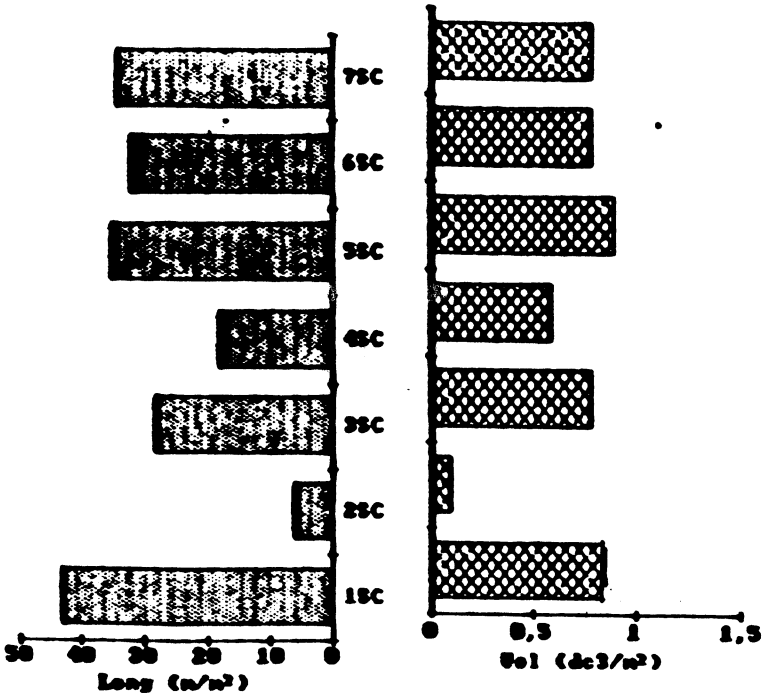
La biomasse prélevée sur la parcelle de Sologne, étant nettement inférieure aux valeurs moyennes observées dans les prairies tempérées, cela devait correspondre à des réseaux peu denses et peu ramifiés. C'est ce qui a été vérifié, en effet, dans ces sols très sableux, à teneur en matière organique relativement faible (tableau 4.5).

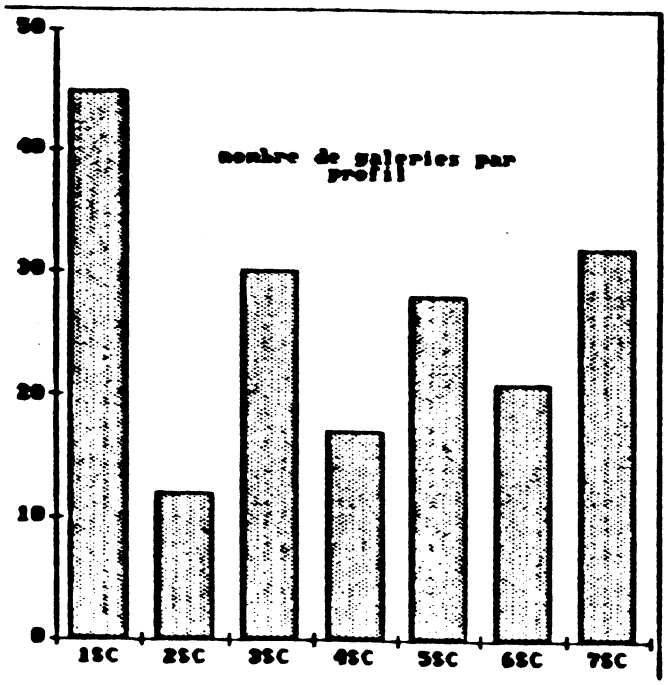
Les données indiquées sur le tableau 4.7 sont le résultat de mesures faites sur une surface de 0,2 m². La figure 4.7 donne les histogrammes de valeurs estimées pour une surface de 1m².

Tableau 4.5: Longueurs et volumes totaux des réseaux de galeries mesurés en Sologne sur une surface de 0,2 m².

| Profil | Nb.gal. | Long.total (cm) | Vol.total (cm3) | Vt/Lt (cm²) |
|---|---|---|---|---|
| série 1 | | | | |
| 1 SC | 45 | 861,5 | 268,6 | 0,31 |
| 4 SC | 17 | 353,1 | 113,1 | 0,32 |
| moyenne | 31 | 607,3 | 190,9 | 0,32 |
| éc.type | 19,8 | 359,5 | 109,9 | 0,007 |
| C.V. % | 63,9 | 59,2 | 57,6 | 2,25 |
| série 2 | | | | |
| 2 SC | 12 | 123,3 | 26,0 | 0,21 |
| 3 SC | 30 | 552,1 | 161,3 | 0,29 |
| 5 SC | 28 | 650,5 | 182,2 | 0,28 |
| 6 SC | 21 | 637,3 | 153,4 | 0,24 |
| 7 SC | 32 | 675,9 | 166,0 | 0,25 |
| moyenne | 25 | 527,8 | 137,8 | 0,25 |
| éc.type | 8,2 | 230,9 | 63,4 | 0,032 |
| C.V. % | 33,2 | 43,7 | 46,0 | 12,6 |
| ensemble | | | | |
| moyenne | 26 | 550,5 | 153,9 | 0,28 |
| éc.type | 10,9 | 243,0 | 73,2 | 0,040 |
| C.V. % | 41,4 | 44,0 | 47,9 | 14,7 |

Figure 4.7: Valeurs des longueurs et des volumes totaux de galeries, par profil, pour $1m^2$ de surface, pour la parcelle de Sologne .(*)




(*) Nota: pour faciliter leur comparaison, les résultats ont été exprimés pour une surface de $1m^2$. Leur expression au niveau de 1 ha, plus suggestive et très employée en écologie des vers de terre, a été évitée compte tenu du trop fort facteur de multiplication (50.000).

### 4.4.1. Morphologie générale des réseaux

De l'analyse des traits généraux des sept profils colorés et de leur comparaison, plusieurs données qualitatives peuvent être dégagées quant aux réseaux de galeries situées en planosols:

- le réseau ne présente pas beaucoup de ramifications;

- le repérage de l'ouverture de galeries en surface, difficile dans d'autres milieux à horizon A1 à structure grumeleuse, est plus facile dans les horizons A1 à structure particulaire de la parcelle de Sologne;

- il y a très peu ou pas de galeries non colorées; approximativement, le rapport nombre de galeries non colorées / nombre de galeries colorées est inférieur à 0,1 (à l'exception du profil 2 SC où il y avait 4 galeries non colorées pour 12 colorées);

- malgré la texture de sable grossier, le bleu de méthylène, diffuse très peu sur les parois des galeries (à l'exception du même profil 2SC où, aux environs de 20 cm de profondeur, le colorant diffuse sur un cercle concentrique à une galerie d'un rayon de 5 cm environ);

- comme dans d'autres milieux, plusieurs galeries étaient remplies par des racines, surtout dans l'horizon A1;

- les parois des galeries ne présentaient pas d'annélations visibles. Ceci a été confirmé par les observations faites sous loupe binoculaire et résulte vraisemblablement de la texture sableuse du matériau. Deux autres constatations ont été faites sous loupe binoculaire:

  a) les parois des galeries présentaient parfois des enduits de coprolithes (rejets de vers de terre), épais d'environ 5 mm et jouant sans doute un rôle important pour la stabilité de la galerie dans ces matériaux sableux;

  b) le sol adjacent aux galeries ne présentait aucune trace de travail par les lombrics. Les traces des rejets de vers de terre étaient donc toujours sur les parois des galeries

Tableau 4.9: Valeurs de tortuosité (σ) des galeries mesurées sur la parcelle de Sologne.

| Profil | Tortuosité (σ) 1<1,25 | 1,25<1,5 | 1,5<2,0 | >2,0 |
|---|---|---|---|---|
| 1 SC | 39 | 3 | 2 | 1 |
| 2 SC | 11 | 1 | 0 | 0 |
| 3 SC | 26 | 2 | 2 | 0 |
| 4 SC | 15 | 2 | 0 | 0 |
| 5 SC | 24 | 2 | 1 | 1 |
| 6 SC | 19 | 1 | 1 | 0 |
| 7 SC | 32 | 0 | 0 | 0 |

d) longueur et nombre de galeries par horizon

La distribution des galeries à l'intérieur des différents horizons pédologiques met en évidence que la grande majorité des réseaux colorés se trouve dans les horizons A et E.

Le nombre de galeries présentes dans les horizons A est toujours supérieur à celui des horizons E, à l'exception du profil 2 SC (fig. 4.12). Cependant la longueur des galeries de l'horizon E peut être supérieure à celle des horizons A (profils 2 SC, 4 SC et 6 SC) (fig.4.13).

Dans l'ensemble, les horizons Btg sont peu pénétrés par les galeries lombriciennes. On y retrouve à la fois un nombre très faible de galeries et des longueurs très faibles. La galerie la plus longue mesurée dans l'horizon Btg faisait à peine 7 cm (profil 7 SC), et restait au sommet de cet horizon (Bt21g).

Figure 4.12: Nombre des galeries colorées par horizon pédologique; parcelle de Sologne.

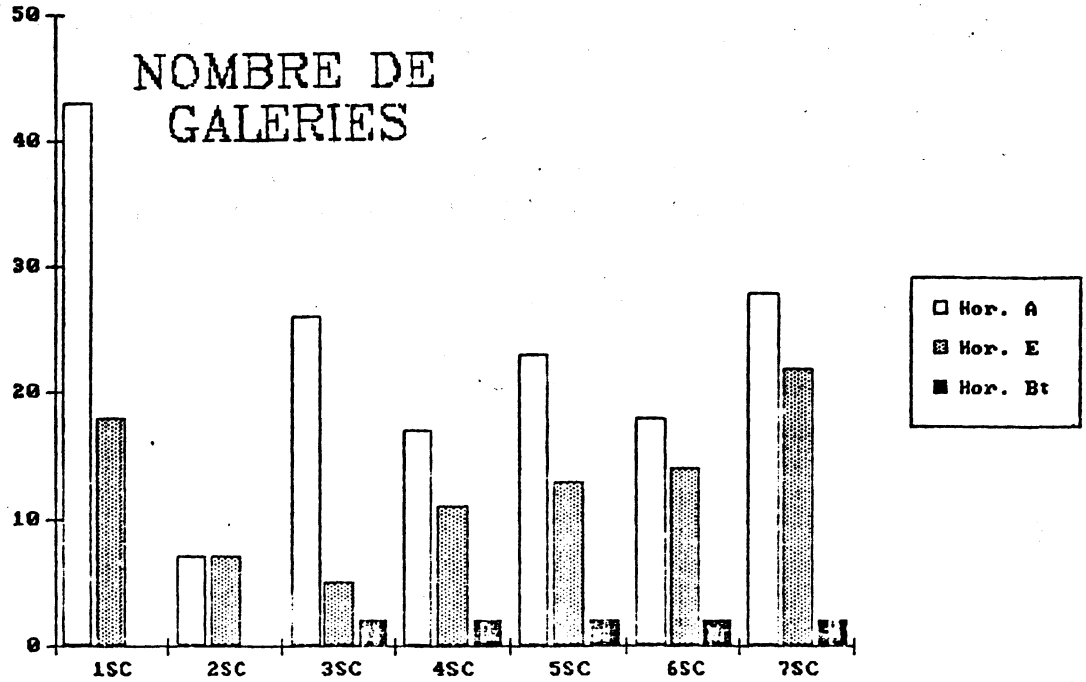
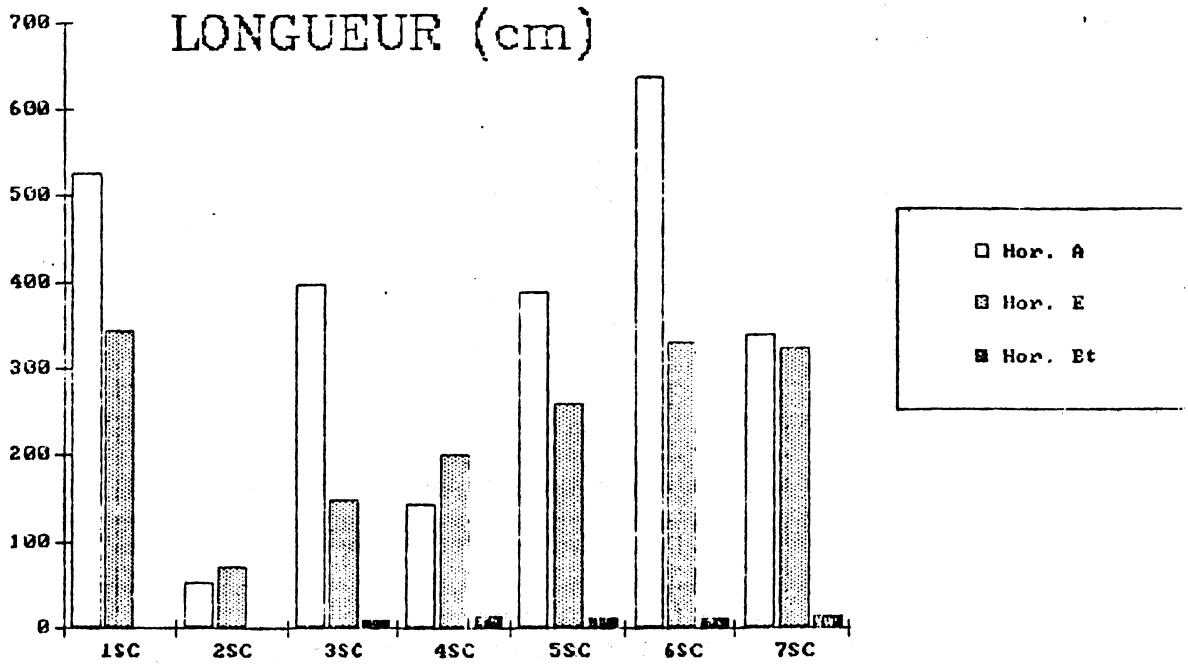


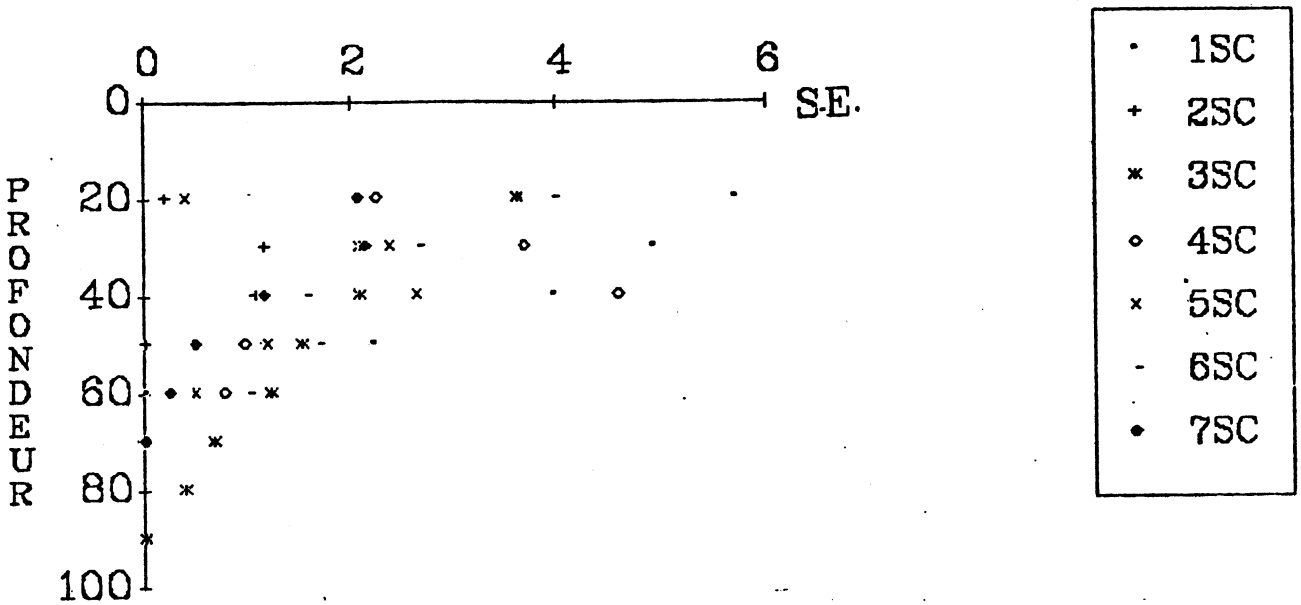

Figure 4.13: Longueur des galeries colorées par horizon pédologique; parcelle de Sologne.



e) section efficace développée par couche de 10 cm de sol

D'une façon générale, la section efficace développée par les galeries dans chaque couche de sol diminue rapidement de la surface vers les couches plus profondes (fig. 4.14).

Figure 4.14: Section efficace des galeries colorées par horizon pédologique; parcelle de Sologne.

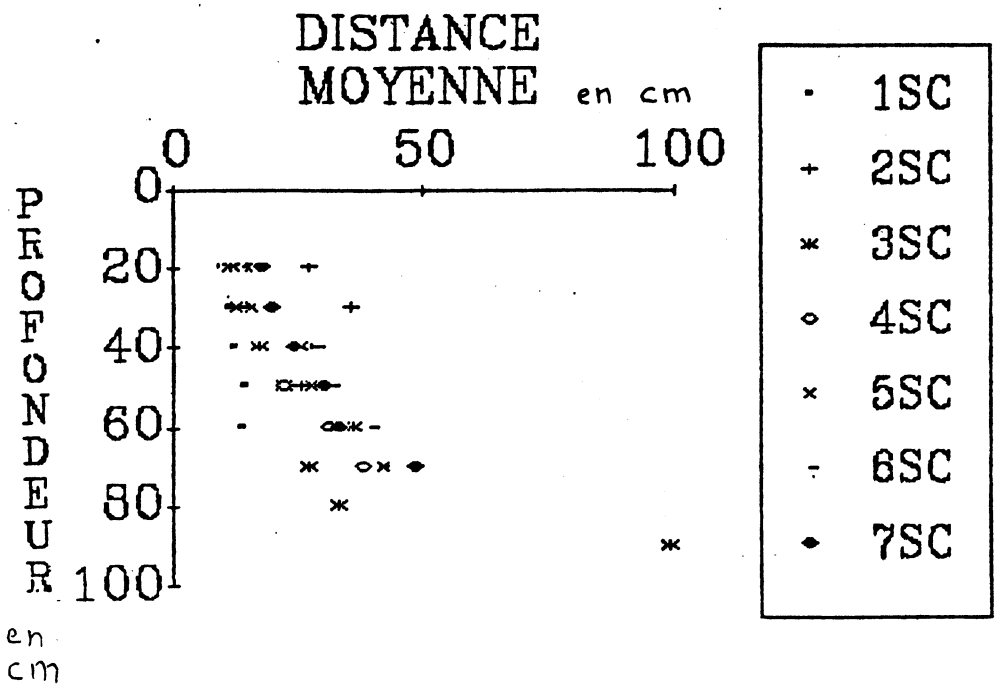



Sur les trois profils mesurés en novembre 85 (3 SC, 4 SC et 5 SC) on observe une augmentation accentuée de cette section efficace à 40 cm de profondeur, ce qui indique la présence des logettes de diapause. Ces logettes sont aussi présentes, mais en nombre plus faible, sur les profils 2 SC (à 40 cm de profondeur) et 6 SC (à 50 cm de profondeur).

f) distance moyenne entre galeries voisines

La distance moyenne entre les galeries colorées est relativement élevée, se situant en général entre 10 et 30 cm, jusqu'à 40cm de profondeur. Puis elle augmente rapidement jusqu'à 60 cm environ, à la base des horizons E (fig. 4.15).

Figure 4.15: Distance moyenne entre galeries colorées mesurées sur la parcelle de Sologne.




## 4.5. Discussion

Bien que les sept profils observés relèvent de deux séries différentes de sols , les résultats obtenus ne révèlent pas de variations des caractéristiques des réseaux qui soient reliables au type de sol.

En effet, sur la série 2 - planosol à horizon E à sable moyen - où nous avons étudié 5 profils, les coefficients de variation observés pour presque tous les paramètres (longueur totale, volume total et diamètre moyen), sont très proches de ceux relatifs à l'ensemble de la parcelle. Seul le nombre de galeries semble varier un peu moins à l'intérieur de la série 2 (33,2 %) que dans l'ensemble de la parcelle (41,4 %).

Il semble que ce soit plutôt le contexte pédoclimatique imposé par les horizons E sablo-graveleux (à faible réserve hydrique) qui expliquent les traits observés.

Les caractéristiques morphologiques des différents réseaux mesurés sont en accord avec la population lombricienne prélèvée. En effet, sur ces profils, on note une prédominance de lombriciens du type épianécique, qui résistent à la sécheresse d'été par la construction de galeries qui atteignent l'horizon

humide du sol(Btg). Cet horizon Btg se maintient relativement humide toute l'année (humidité gravimétrique de 15 % en novembre 85 alors que l'horizon E présentait 4 % ) et les lombriciens épianéciques peuvent rester juste au sommet du Btg où ils y pénétrent très peu.

## 4.6. Conclusion

Sur la parcelle de Courmemin, les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des galeries colorées nous permettent de conclure que:

a) à partir de la distribution des fréquences de longueur de galeries, on peut estimer qu'il existe environ 50 % de probabilité pour qu'une galerie lombricienne fonctionnelle prise au hasard sur cette parcelle ait moins de 20 cm de longueur;

b) la probabilité que cette galerie mesure plus de 50 cm sera de 10 % à peine;

c) les galeries présentent un diamètre moyen de 6 mm, assez constant;

d) bien que nous n'ayons mesuré que les réseaux colorés, nous observons très peu de galeries non colorées, donc non ouvertes au passage de l'eau;

e) les galeries colorées ne traversent pas l'horizon Btg des planosols de la parcelle de Courmemin (correspondant au plancher de la nappe perchée);

f) nous n'avons pas pu dégager de relations nettes entre la variabilité des réseaux et celles des deux séries de sols, bien que quelques tendances puissent être dégagées, surtout par rapport aux conditions pédoclimatiques des sols.

g) les galeries ont un cheminement plutôt vertical et ne présentent pas de tortuosité importante; les déviations sont dues au contournement de quelques grosses racines (de diamètre voisin de 5 mm) ou de graviers quartzeux de 5-8mm de taille;

h) la distance moyenne entre galeries voisines est relativement élevée et varie entre 10 et 30 cm sur les 40 premiers centimètres de profondeur.

# Chapitre 5: La parcelle d'Aimargues en Languedoc

## 5.1. Introduction

L'étude de la parcelle d'Aimargues a débuté en 1984, dans le cadre d'un premier travail (LOPES ASSAD, 1984), ayant pour objectif de vérifier la variabilité spatiale des réseaux de galeries lombriciennes à l'échelle parcellaire, grâce à la méthode de coloration mise au point par DURET (1983).

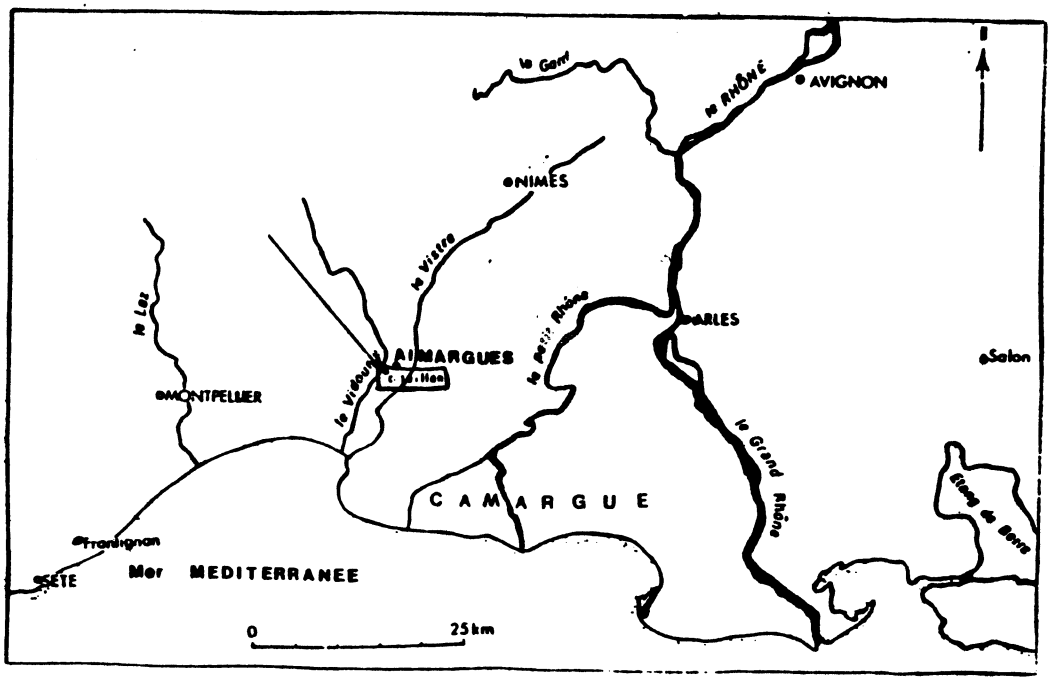
Le choix de cette parcelle a été guidé par les motifs suivants:

- proximité de Montpellier (30 km);
- il s'agit d'une prairie permanente, agée d'au moins 40 ans, considérée comme stable du point de vue écologique;
- la population de vers de terre y est quantitativement importante, et représentative des prairies du Midi de la France;
- elle est très homogène du point de vue pédologique;
- la végétation y a fait l'objet d'une étude phyto-sociologique detaillée (FISCHER, 1984; MESLEARD, 1984), qui montre des variations liées à la microtopographie de la parcelle.

Le sol de cette parcelle présente un très bon drainage naturel et il nous a paru constituer un système de référence de milieu non hydromorphe intéressant, à comparer ensuite aux sols engorgés retenus dans notre étude.

La parcelle appartient au Chateau de Teillan, situé dans la commune d'Aimargues (Gard), à 30 km de Nîmes (figure 5.1). Elle se trouve en rive gauche et en bordure même du Vidourle.

Figure 5.1: Localisation de la parcelle d'Aimargues (Gard) en Languedoc.




La prairie présente une surface totale de 1,8 ha sur laquelle nous avons délimité une zone d'environ 7000 m², homogène du point de vue sol, végétation et microtopographie.

Le climat de la région est du type méditerranéen avec une pluviométrie moyenne un peu supérieure à 700 mm par an. Les pluies tombent surtout en automne et un peu au printemps, avec des orages d'été caractérisés par des pluies intenses et brèves.

La valeur moyenne annuelle des températures est de 13,8·C; les hivers sont doux (température moyenne du mois le plus froid supérieure à 0·C) et les étés très chauds.

La parcelle se situe sur une plaine alluviale très faiblement ondulée, d'altitude moyenne inférieure à 10 m. L'étude

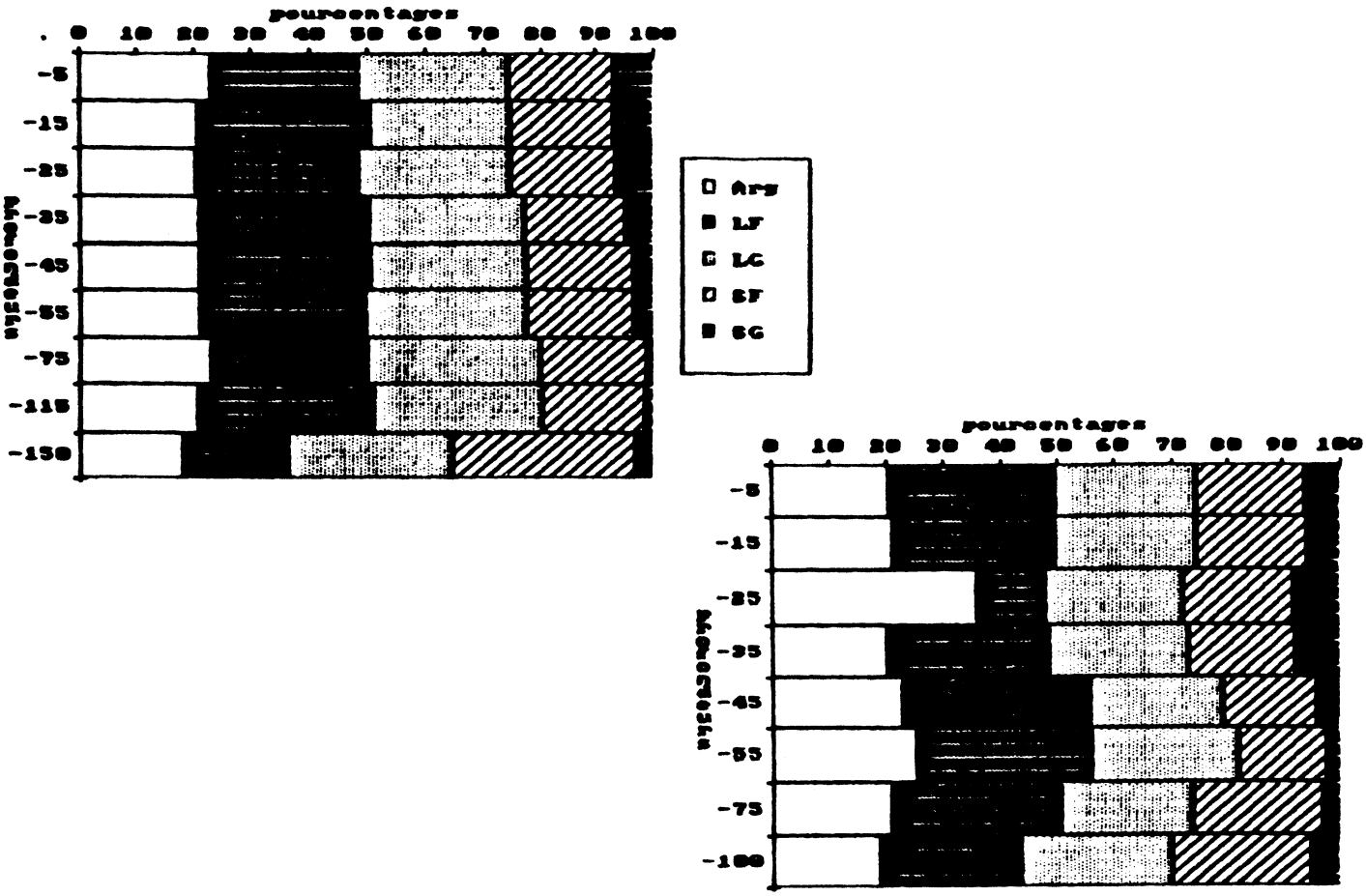
microtopographique de la parcelle révèle une différence de niveau maximale de 70 cm, le microrelief local se caractérisant par la présence de plusieurs microcuvettes.

Sur le site de 7000 m² où ont été placés les profils de description de la macroporosité lombricienne l'étude de la végétation de la prairie (FISCHER, 1984, MESLEARD, 1984) indique la prédominance de l'Agropyrum acutum et Poa pratensis. Nous y trouvons aussi, en moindre nombre, Potentilla reptans, Centaurea aspera et Festuca arundinacea.

## 5.2. Le sol de la parcelle

Le sol est du type alluvial calcaire, de couleur jaunâtre, avec un horizon A de structure grumeleuse et un horizon (B) de structure prismatique peu nette. Sa profondeur est supérieure à 1,50m. La texture est limono-argilo-sableuse sur tout le profil (figure 5.2) puis, au delà de 1,70 m le matériau devient de plus en plus sableux (au moins 40% de sable).

Figure 5.2: Granulométrie des profils de sol étudiés en Languedoc.



Au plan chimique, le sol est riche en calcaire total (37,9% à 42,1%); il est relativement bien pourvu en matière organique (environ 2,2 % sur les 20 premiers centimètres) avec un rapport C/N inférieur à 10. La capacité d'échange est faible et pratiquement constante sur tout le profil. Le complexe absorbant est saturé en cations (présence de carbonates). Le pH est de 8,0 dans l'horizon A et de 8,4 dans l'horizon (B).

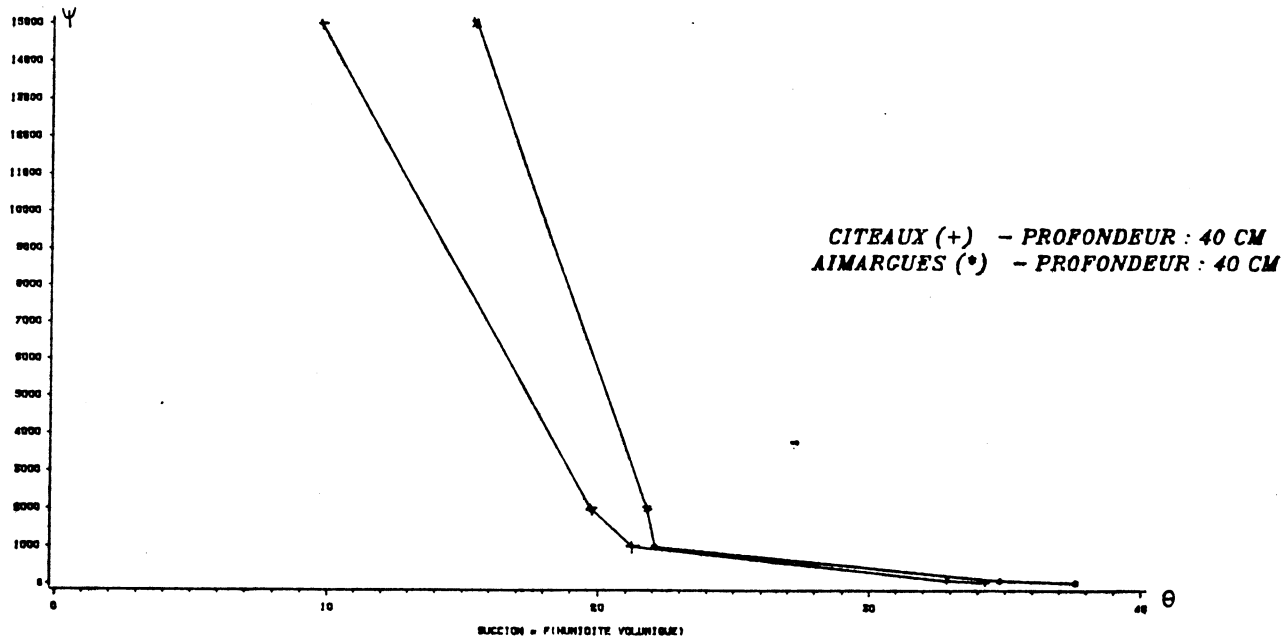
La teneur en cuivre total (entre 67 et 86 ppm sur le 20 premiers centimètres) est élévée et reflète l'usage de traitements phyto-sanitaires avant la mise en prairie. En effet, au début du siècle, cette parcelle était plantée en vigne.

Globalement, l'activité biologique est marquée par la présence d'un système racinaire dense, même à 50 cm de profondeur, et par plusieurs galeries de lombrics visibles parfois à plus d'un mètre.

### 5.2.1. Caractérisation hydrodynamique des sols

D'après DUBOS (1986) la courbe $\Psi(\theta)$ [figure 5.3] d'un échantillon non remanié prélevé à 40 cm de profondeur caractérise un sol ayant une bonne capacité de retention et un bon potentiel de ressuyage. Ces mesures sont conformes au comportement prévisible compte-tenu de la structure et de la texture, sans contrastes majeurs sur tout le profil.

Figure 5.3: Courbe $\Psi(\theta)$ obtenue pour le sol alluvial calcaire de la parcelle du Languedoc (d'après DUBOS, 1986).



La vitesse d'infiltration moyenne des 8 profils étudiés (tableau 5.1) est de 2,9 m/j, elle représente une perméabilité relativement élévée conforme à la nature du sol. L'écart entre les 8 mesures (réalisées sur 0,7 ha) est de 0,9 m/j ce qui donne un coefficient de variation de 31 % (chiffre indicatif compte tenu du nombre limité de points de mesures).

Tableau 5.1: **Valeurs de vitesse d'infiltration obtenues pour le sol alluvial calcaire de la parcelle du Languedoc.**

| Profil | date | vinf (m/j) |
|---|---|---|
| 1 CT | 14/5/84 | 3,37 |
| 2 CT | 23/5/84 | 3,19 |
| 3 CT | 05/6/84 | 2,58 |
| 4 CT | 28/5/84 | 4,41 |
| 5 CT | 07/6/84 | 2,06 |
| 6 CT | 30/5/84 | 3,66 |
| 7 CT | 31/5/84 | 1,57 |
| 8 CT | 12/3/86 | 2,45 |
| moyenne | | 2,90 |
| éc.type | | 0,90 |
| C.V. | | 31 % |

### 5.2.2. étude de la densité apparente

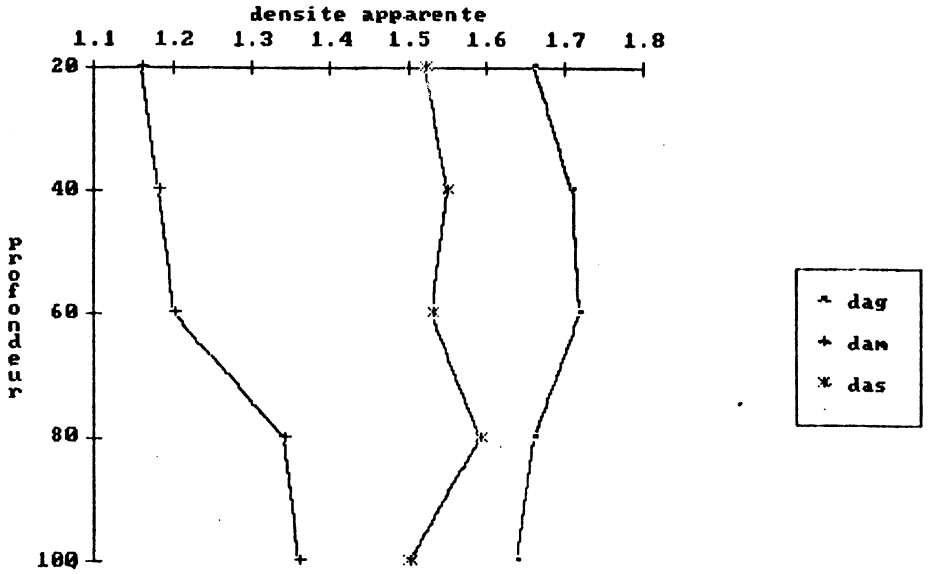
La densité apparente, mesurée sur des mottes, des éléments structuraux et de petits agrégats (fig. 5.4) varie très peu dans les différentes couches de sol considérées.

Une double-sonde gammamétrique LPC-INRA a été aussi utilisée pour mesurer la densité apparente du sol de la parcelle du Languedoc. Deux séries de mesures (LOPES ASSAD, 1984) ont été faites:

- la première constituée par une descente en bordure de l'emplacement de l'anneau externe des sept profils étudiés en 1984. Ces mesures ont été réalisées avant celles de la vitesse d'infiltration; le sol était donc à l'humidité naturelle du jour;

- une deuxième série de mesures a été réalisée au tour de l'emplacement de l'anneau central du profil 3 CT, après l'infiltration du colorant.

Figure 5.4: Densité apparente (de mottes, des éléments structuraux et de petits agrégats) mesurée sur le profil 8 CT de la parcelle du Languedoc.



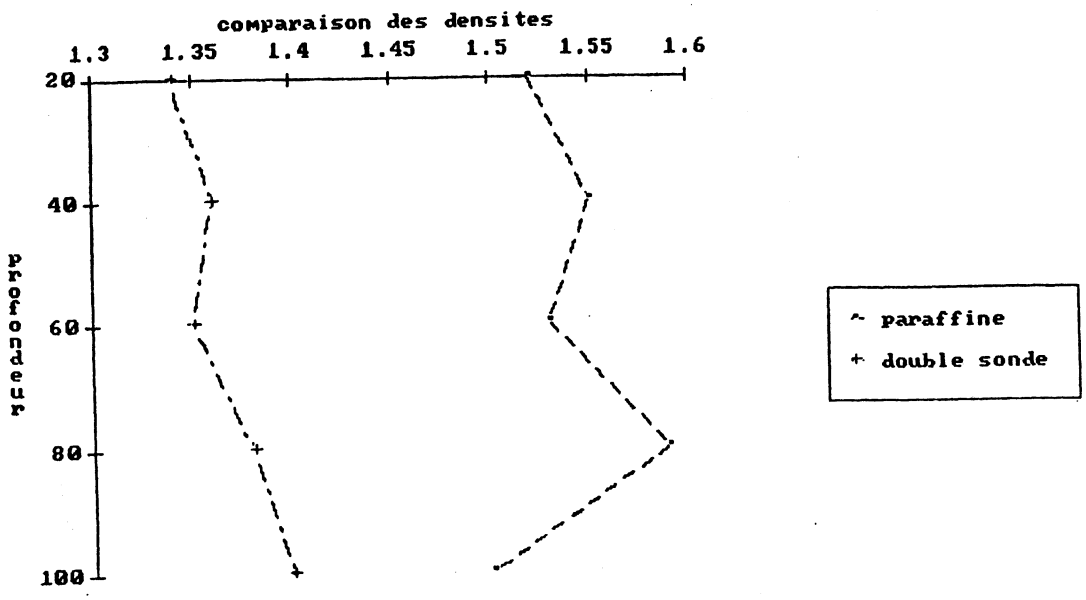

Les résultats obtenus confirment l'homogéinété de la densité apparente sur tout le profil et on constate que ces valeurs sont inférieures à celles obtenues sur les mottes (fig. 5.5).

Etant donné l'homogéinété des caractéristiques pédologiques observées sur cette parcelle, qui nous permet de comparer le profil 8 CT (mesure de da sur mottes) aux profils étudiés en 1984 (mesure de da avec la double-sonde gammamétrique), deux explications peuvent être envisagées:

- l'étalonnage de la double-sonde, n'ayant pas été éffectué sur le sol en question, peut constituer une source d'erreur;

- le volume exploité par cet appareil est supérieur à celui utilisé dans les mesures sur mottes.

Figure 5.5: Comparaison entre les valeurs de densité apparente obtenues avec la double sonde gammamétrique (-+-) et avec la méthode de la paraffine (--) [grosses mottes]; parcelle du Languedoc.




La porosité totale, estimée à partir de la densité apparente de mottes représente entre 39 et 42% du volume du sol (tableau 5.2). La porosité lombricienne se situe, dans ce cas, dans la gamme de porosité représentée par la différence entre la porosité totale et la porosité texturale interagrégat. Ainsi, on peut supposer une diminution de la porosité lombricienne vers les horizons plus profonds, avec une légère augmentation dans la couche de 20 - 40 cm. Cette augmentation peut être due à la présence de logettes de diapause.

Tableau 5.2: **Valeurs de porosité obtenues pour le profil 8 CT. (densité réelle mesurée par la méthode du picnomètre à l'eau in LOPES ASSAD, 1984); parcelle du Languedoc.**

| profondeur | porosité (%) | | |
|---|---|---|---|
| | totale | intra-agrégat (texturale) | structurale totale |
| 0 - 20 cm | 44,1 | 36,4 | 7,7 |
| 20 - 40 cm | 43,0 | 35,0 | 8,0 |
| 40 - 60 cm | 41,8 | 34,6 | 7,2 |
| 60 - 80 cm | 41,1 | 36,9 | 4,2 |
| 80 - 100cm | 43,0 | 37,6 | 5,4 |

Nous pouvons supposer une variation saisonnière de la porosité totale du sol, due à l'action des vers de terre. En effet, le profil 8 CT, étudié dans une période d'activité lombricienne plus favorable que celle des profils étudiés en 1984, présente un réseau de galeries colorées plus important. Mais ceci est à prendre avec précaution car les galeries colorées ne représentent qu'un faible pourcentage de la porosité totale du sol. Nous y reviendrons lors de la discussion des résultats (§ 5.5).

## 5.3. Les peuplements de vers de terre

L'emploi de la méthode au formol en 1984 n'avait pas permis le prélevement de lombrics. En 1986, la même méthode a conduit à une biomasse de 55 g/m² seulement (représentée par un unique individu). Deux explications sont à envisager:

- lors des prélèvements effectués en mai et juin 84, les lombriciens étaient déjà en léthargie d'été;

- les espèces prélevées en Languedoc comportent des individus de taille relativement grande. Dans ce cas, comme il a été déjà souligné, la technique au formol pour ce type de

prélèvement ne semble pas être très efficace.

Afin de vérifier la composition de cette population, en mars 1987 nous avons effectué des prélevements par la méthode physico-éthologique, sur différents points situés à l'intérieur de la zone de 0,7 ha, qui avait fait l'objet d'études de macroporosité lombricienne. Les résultats obtenus seront utilisés comme référence.

Les prélèvements faits par la méthode physico-éthologique ont indiqué la présence de Scheroteca dugesi dugesi variété mariae (espèce nouvelle) et Nicodrilus nocturnus, tous les deux anéciques et quelques individus de Nicodrilus endogé (Ces derniers étant des juvéniles, l'espèce n'a pas été identifiée).

La biomasse lombricienne de la zone étudiée est estimée à 126 g/m², dont 99,8 % constituée par des lombriciens de la catégorie des anéciques. Lors du prélèvement de mars 87, 7 % des individus étaient des adultes et 23,6 % sub-adultes (tab. 5.3).

Tableau 5.3: Nombre d'individus et biomasse lombricienne prélevée sur la parcelle du Languedoc par la méthode physico-éthologique.

| | nombre individus/m² | biomasse (g/m²) |
|---|---|---|
| épigé | 0 | 0 |
| épianéciques | 0 | 0 |
| anéciques | 17,4 | 126 |
| endogé | 1,3 | 0,3 |
| adultes | 10,7 | 89,7 |
| sub-adultes | 4,3 | 29,8 |
| juvéniles | 3,7 | 6,8 |
| Total | 18,7 | 126,3 |

Cette dominance de lombriciens anéciques laisse supposer l'existence de nombreuses galeries et de logettes de diapause.

Il faut ramarquer l'absence totale de lombriciens

[pigés, bien que le sol soit relativement bien pourvu en matière organique (2,2 % jusqu'à 20 cm de profondeur). L'absence de lombriciens épianéciques, reflète les caractéristiques de ce sol qui ne présentent pas de discontinuité structurale, et peut subir un dessèchement en été sur plusieurs dizaines de centimètres.

## 5.4. Les réseaux de galeries colorées: résultats obtenus

Nous avons constaté la présence de nombreuses galeries, de diamètre assez grand (en moyenne 0,8 cm) et descendant dans le profil parfois à plus de 1m de profondeur.

La longueur totale des réseaux pour 0,2 m2 (tab. 5.4) varie de 713 cm à 1126 cm. Ceci donne une longueur moyenne par profil de 885,5 cm, avec un écart-type de 170,4 cm, et un coefficient de variation de 19% .

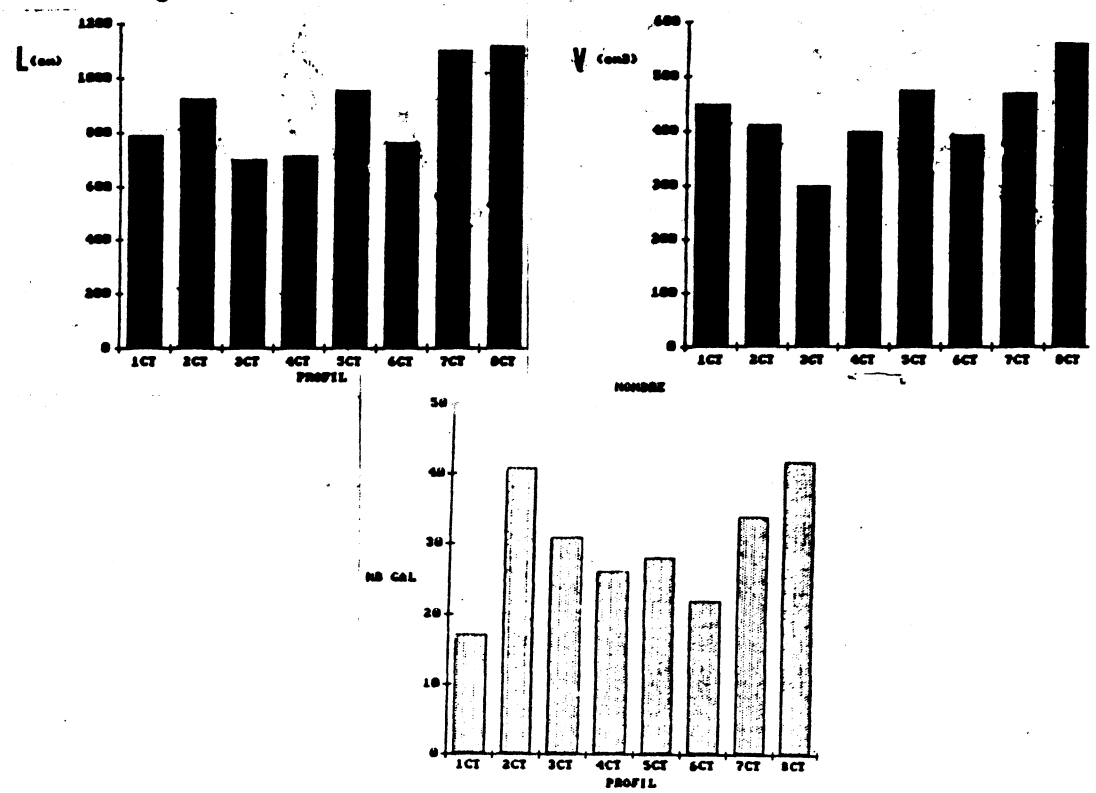
Le nombre de galeries varie entre 17 et 42, soit une moyenne de 30 galeries par profil, avec un écart-type de 9 galeries et un taux de variation de l'ordre de 30% .

Tableau 5.4: Nombre de galeries, longueurs et volumes totaux mesurés sur la parcelle du Languedoc (volume de reférence = 0,2 m3)

| Profil | Nb.gal. | Long.Totale (cm) | Vol.Total (cm3) | Vt/Lt (cm²) |
|---|---|---|---|---|
| 1 CT | 17 | 788,1 | 448,4 | 0,57 |
| 2 CT | 41 | 923,1 | 410,3 | 0,44 |
| 3 CT | 31 | 699,0 | 299,1 | 0,43 |
| 4 CT | 26 | 713,0 | 399,6 | 0,56 |
| 5 CT | 28 | 958,6 | 477,7 | 0,50 |
| 6 CT | 22 | 766,2 | 393,5 | 0,51 |
| 7 CT | 34 | 1109,8 | 472,1 | 0,43 |
| 8 CT | 42 | 1126,0 | 565,2 | 0,50 |
| moyenne | 30 | 885,5 | 433,2 | 0,49 |
| éc.type | 8,7 | 170,4 | 77,8 | 0,06 |
| C.V. % | 29 | 19,2 | 18,0 | 11,3 |

Nota: les valeurs indiquées sur le tableau 5.5 correspondent aux mesures faites sur un volume de 0,2 m3 et la figure 5.6 donne les histogrammes de valeurs estimées pour un volume de 0,1m3.

Figure 5.6: Valeurs de longueur, volume et nombre de galeries colorées estimés pour 0,1m3 de sol, pour la parcelle du Languedoc.




## 5.4.1 Morphologie générale des réseaux

Du point de vue morphologique les réseaux de la parcelle d'Aimargues ont comme caractéristiques principales:

- le faible nombre de ramifications représentées en général par de petites galeries (environ 5 cm) plus ou moins horizontales reliant deux galeries verticales;

- le faible nombre de galeries obstruées; celui ci variait de zéro sur certains profils (par exemple 8 CT) à environ 1/10 des galeries colorées (profil 4 CT);

- nous n'avons pas constaté de formes particulières de galeries;

- les galeries prenaient un cheminement presque toujours vertical;

- les parois de certaines galeries présentaient des annélations, surtout dans le profil 8 CT;

- dans les 20 premiers centimètres de sol plusieurs galeries étaient remplies par des racines.

Il faut souligner que, parfois, sur les 20 premiers centimètres de sol il était difficile de distinguer les galeries lombriciennes. En effet, le bleu de méthylène colorait presque tous les vides inter-agrégats situés dans cette couche et cela a pu contribuer à des erreurs d'appréciation. Ainsi, lors de la discussion sur la longueur et le nombre de galeries par couche, les valeurs obtenues sur les 20 premiers centimètres sont à prendre avec réserves.

### 5.4.2 Caractéristiques dimensionnelles des réseaux

#### a) longueur des galeries

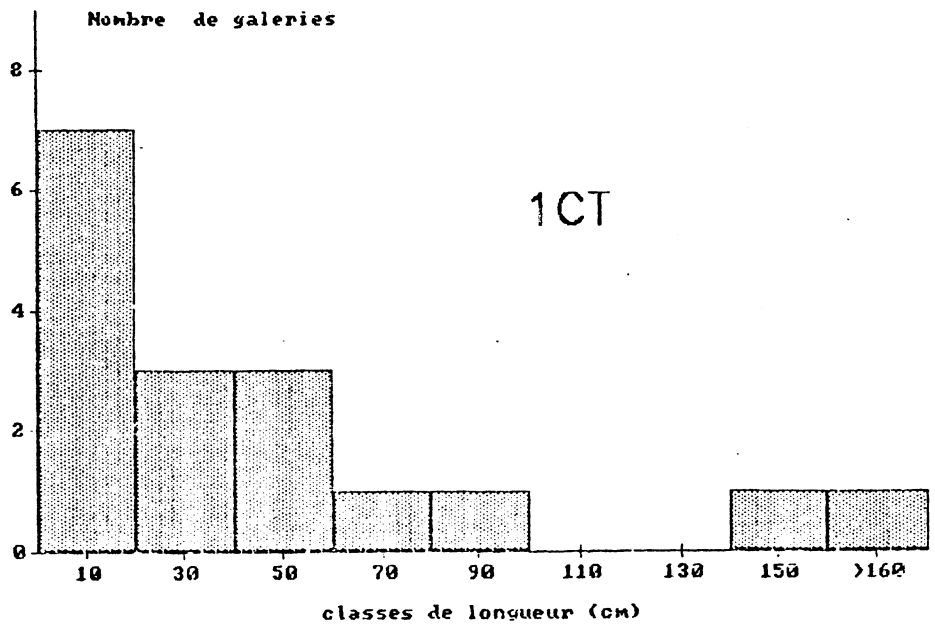
Les histogrammes de distribution des longueurs de galeries, par classe de 10 cm (fig. 5.7) mettent en évidence qui un pourcentage important des galeries colorées ont une longueur inférieure à 20 cm. Toutefois, ici on note que 11 % de galeries ont plus de 60 cm de longueur. A remarquer aussi que la distribution des longueurs varie plus d'un profil à l'autre que sur le site précédent, en Sologne.

La longueur moyenne des galeries (tab. 5.5) est relativement semblable bien que la longueur maximale puisse varier du simple au double (allant de 60,5 cm à 112,9 cm).

Tableau 5.5: Variations de longueurs des galeries à l'intérieur de chaque profil de la parcelle du Languedoc.

| Profil | long.moy (cm) | σ (cm) | val.min (cm) | val.max (cm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 CT | 37,5 | 29,1 | 6,2 | 97,5 |
| 2 CT | 18,6 | 15,9 | 3,2 | 72,3 |
| 3 CT | 22,6 | 19,5 | 4,6 | 92,6 |
| 4 CT | 24,3 | 17,1 | 5,8 | 60,5 |
| 5 CT | 28,9 | 17,0 | 6,6 | 94,4 |
| 6 CT | 32,1 | 20,3 | 5,8 | 73,3 |
| 7 CT | 26,7 | 21,5 | 2,5 | 81,3 |
| 8 CT | 26,8 | 28,2 | 2,0 | 112,9 |

Figure 5.7: Distribution des galeries colorées par classes de longueur totale. Parcelle du Languedoc; volume de référence = 0,2 m3.



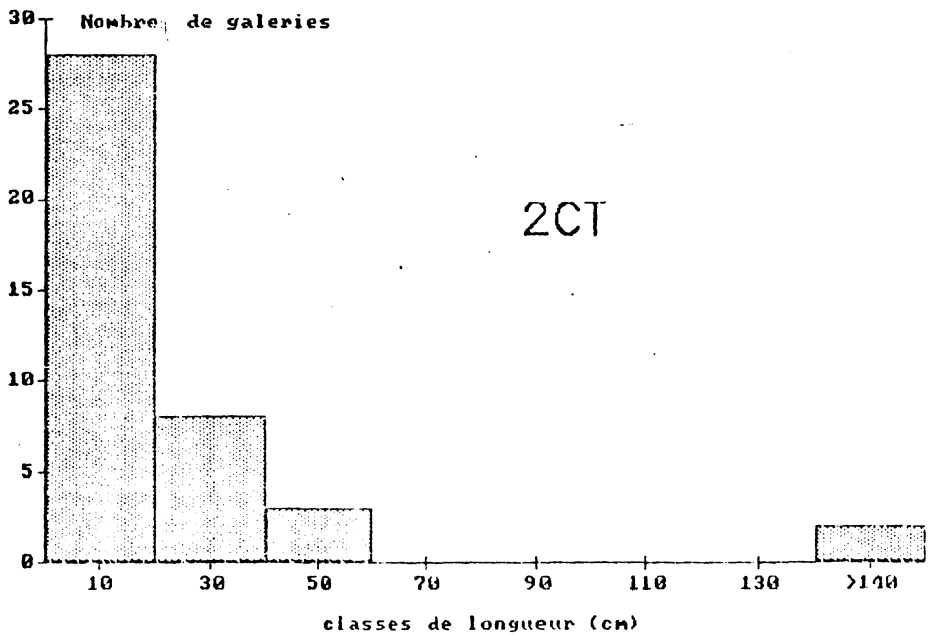
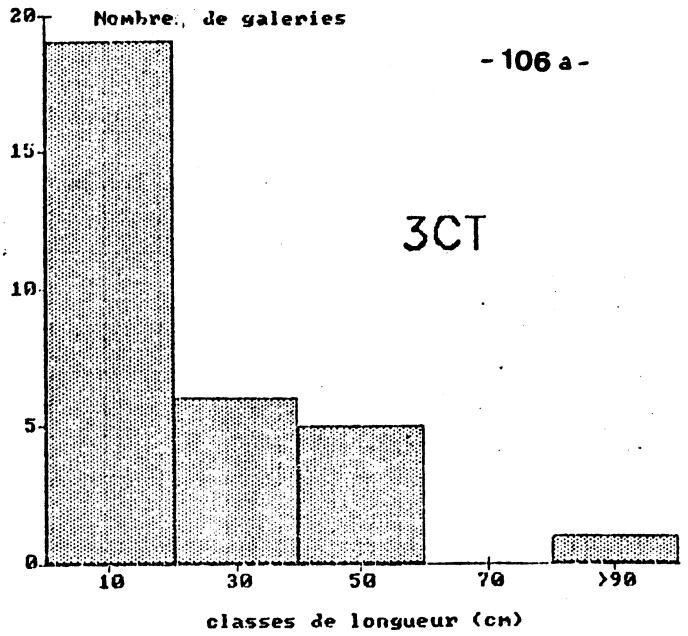
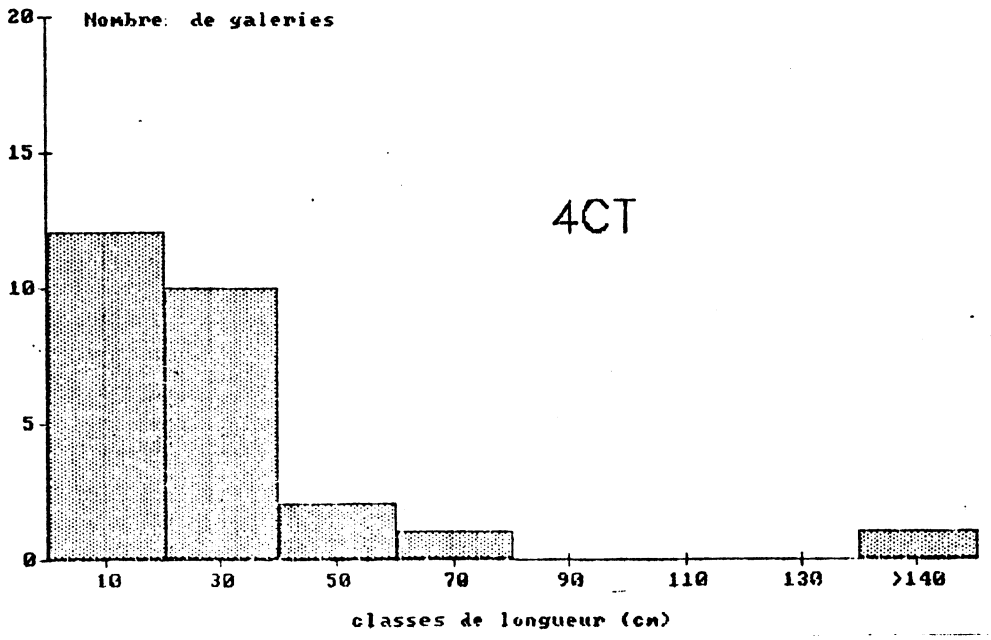



FIGURE 5.7 : CONT.



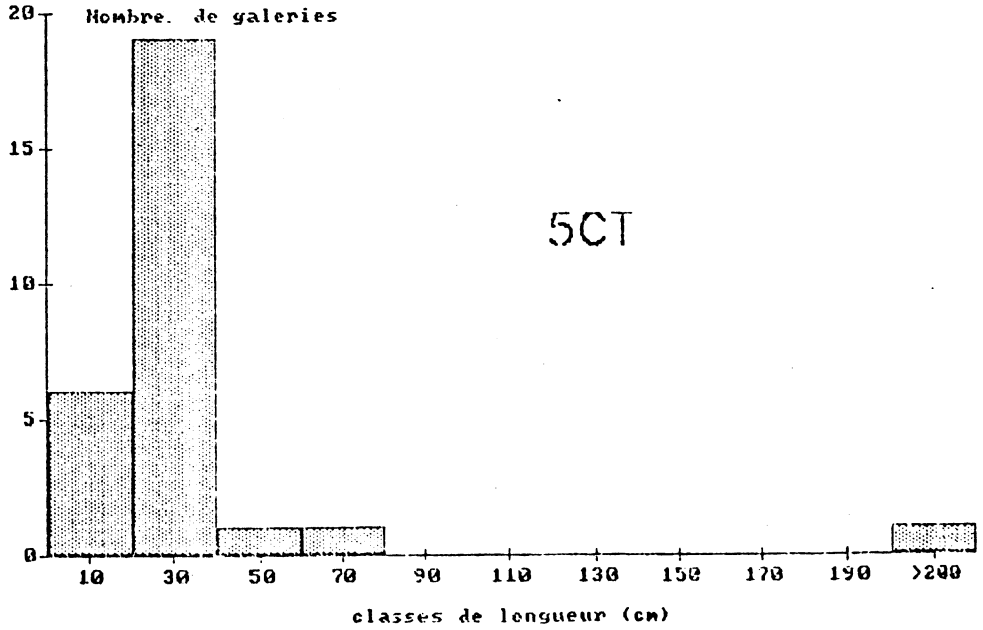
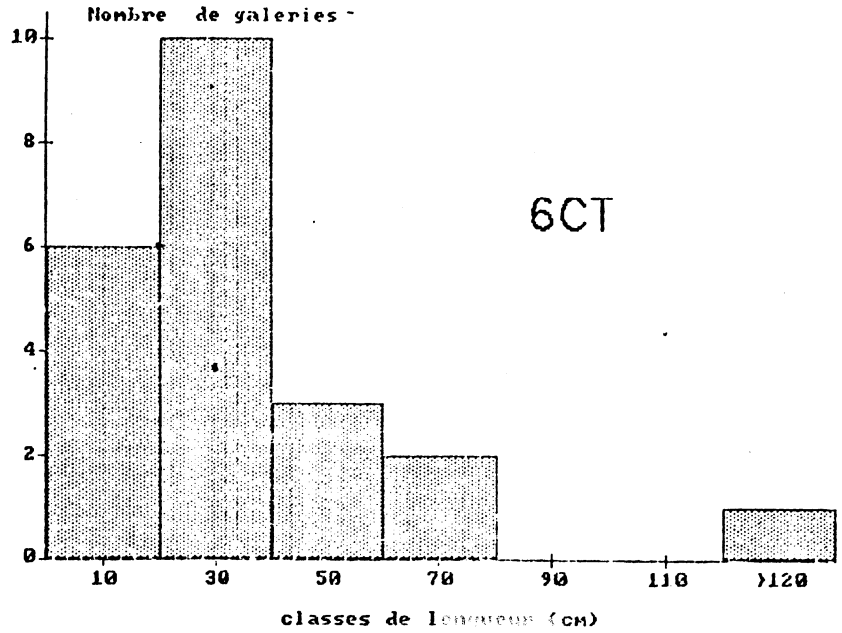
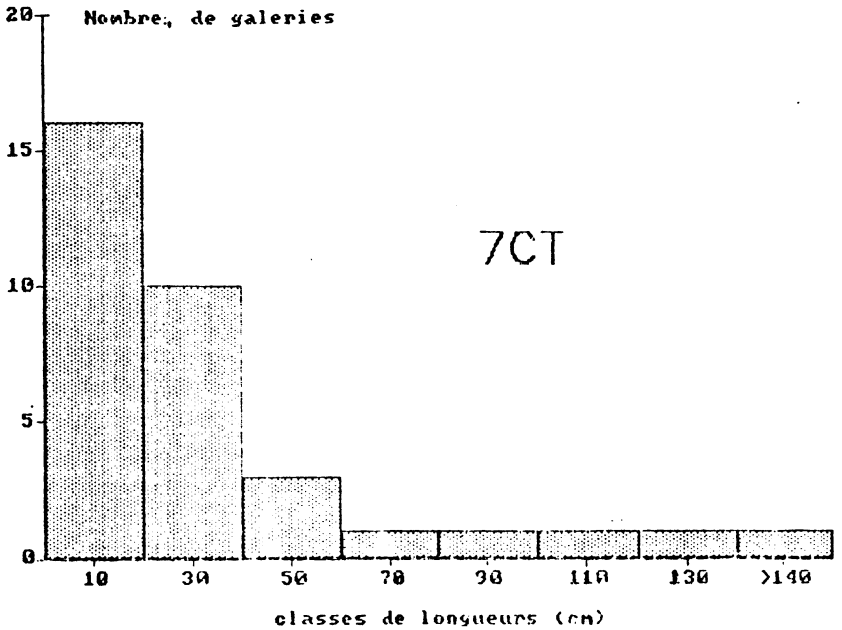
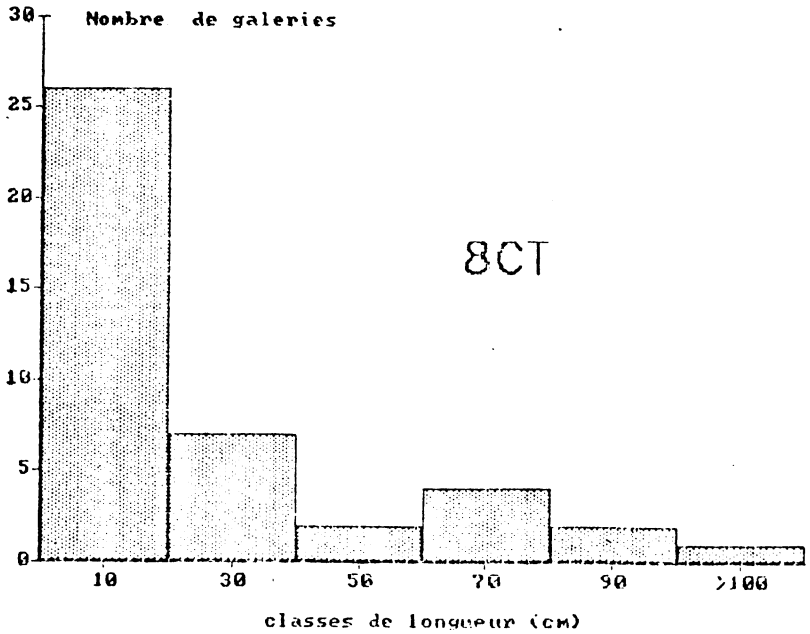



**FIGURE 5.7 : CONT.**



b) diamètre moyen des galeries

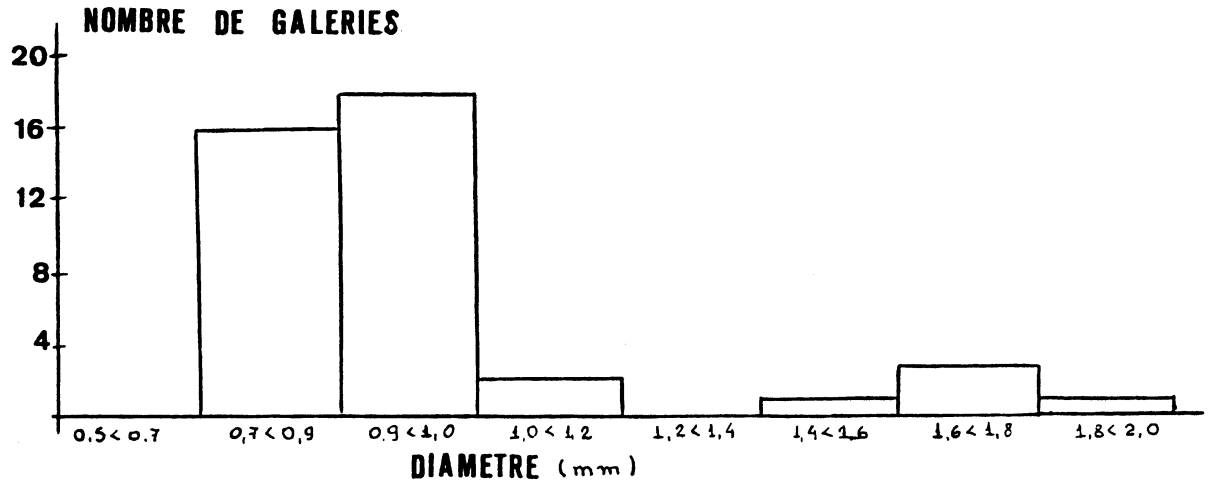
La distribution des galeries selon des classes de diamètre moyen (fig. 5.8) met en évidence que 84 % des galeries ont un diamètre moyen situé entre 0,7 et 1,0 cm tandis que 16 % ont un diamètre supérieur à 1,0 cm. Cette gamme de diamètres correspond en effet au diamètre moyen d'un S. dugesi adulte, l'espèce prédominante sur la parcelle du Languedoc. Mais on constate aussi qu'il existe un nombre relativement important de galeries de diamètre moyen inférieur à 0,6 cm sur presque tous les profils, dues probablement à des individus juvéniles, soit S. dugesi, soit N. nocturnus.

Dans l'ensemble des profils, le diamètre moyen varie de 0,36 cm à 2,0 cm, s'étalant donc sur une gamme de valeurs assez large . Mais on peut constater que la moyenne des diamètres moyens (tableau 5.6) à l'intérieur de chaque profil varie baucoup moins (allant de 0,62 à 0,87 cm). Le diamètre maximal est aussi relativement homogène, à l'exception du profil 8 CT.

Tableau 5.6: Variations du diamètre moyen des galeries colorées à l'intérieur de chaque profil de la parcelle du Languedoc.

| Profil | moyenne (cm) | σ (cm) | val.min. (cm) | val.max. (cm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 CT | 0,87 | 0,09 | 0,70 | 1,10 |
| 2 CT | 0,67 | 0,23 | 0,45 | 1,15 |
| 3 CT | 0,69 | 0,17 | 0,40 | 0,95 |
| 4 CT | 0,71 | 0,21 | 0,40 | 1,07 |
| 5 CT | 0,71 | 0,19 | 0,40 | 1,05 |
| 6 CT | 0,68 | 0,21 | 0,38 | 1,0 |
| 7 CT | 0,62 | 0,17 | 0,40 | 0,95 |
| 8 CT | 0,81 | 0,21 | 0,36 | 2,0 |

Figure 5.8: Distribution des galeries colorées par classes de diamètre moyen. Parcelle du Languedoc, volume de référence = 0,2 m3.



c) tortuosité des galeries

La grande majorité des galeries colorées observées sur la parcelle du Languedoc ont une faible valeur de tortuosité. Parmi les 8 profils étudiés, six ont plus de 92 % de galeries dont la tortuosité est inférieure à 1,25. En outre, sur les profils on note un grand nombre de galeries dont la tortuosité prend une valeur proche de 1,0 (tab. 5.7).

Tableau 5.7: Valeurs de tortuosité (σ) de galeries lombriciennes colorées mésurées sur la parcelle du Languedoc.

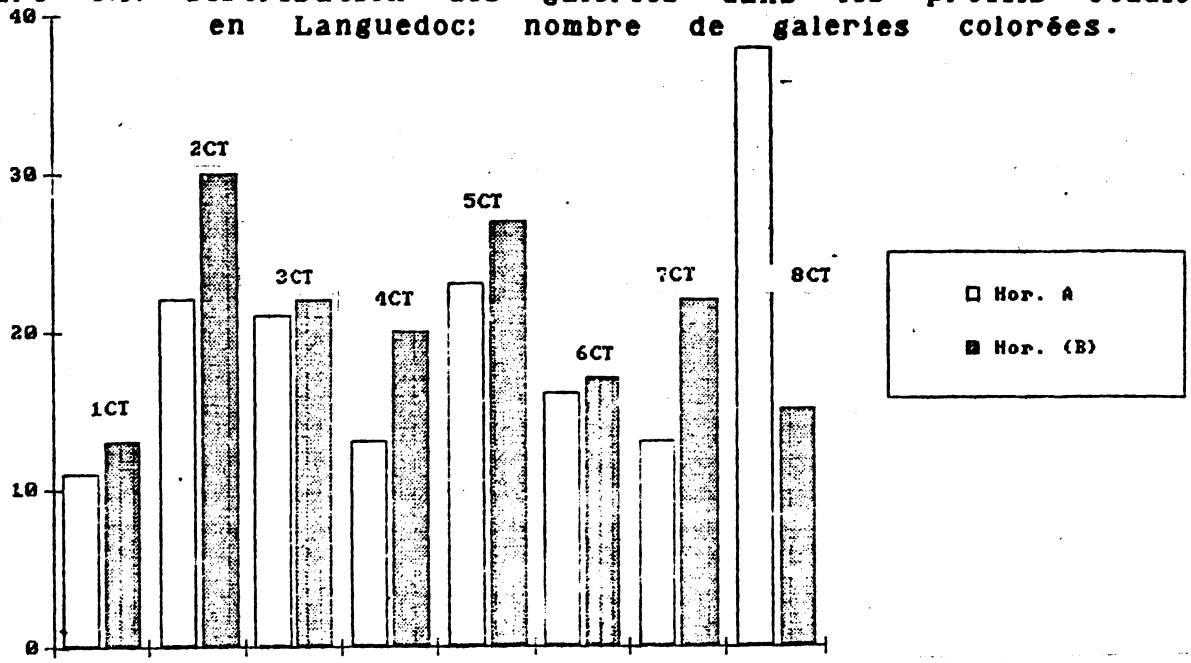
| Profil | Tortuosité (σ) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 < 1,1 | 1,1 < 1,25 | 1,25 < 1,5 | 1,5 < 2,0 | >2,0 |
| 1 CT | 15 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 2 CT | 39 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 CT | 28 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 CT | 17 | 7 | 2 | 0 | 0 |
| 5 CT | 22 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| 6 CT | 18 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| 7 CT | 26 | 3 | 4 | 1 | 0 |
| 8 CT | 32 | 5 | 3 | 2 | 0 |

Cette caractéristique peut avoir un rapport avec la prédominance très marquée de lombriciens du type anécique (99,8 %) et avec l'absence des épigés. En effet, les anéciques, en construisant des galeries entre la surface (prise d'aliments) et les couches profondes (abri des aléas climatiques), ne trouvent pas d'obstacles majeurs (discontinuités, présence de cailloux, de grosses racines, etc) et suivent un déplacement vertical et droit. Il existe quelques galeries horizontales, faisant communiquer parfois deux galeries verticales, mais elles aussi ont une faible tortuosité.

d) distribution des galeries par couche de 20 cm de sol

Sur les huit profils étudiés, on constate que les galeries colorées se concentrent dans les 60 premiers centimètres de sol, et diminuent brusquement après (fig. 5.9).

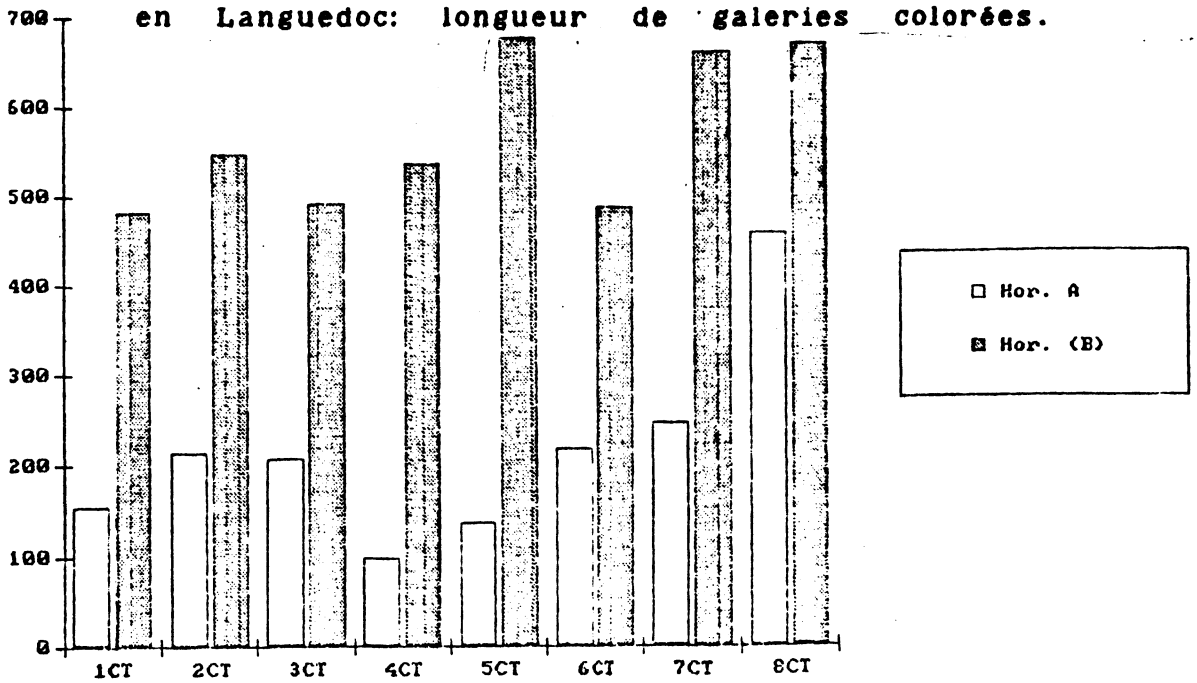
Figure 5.9: Distribution des galeries dans les profils étudiés en Languedoc: nombre de galeries colorées.




On constate que ces sols à structure homogène sur plus de 1 m de profondeur, ont encore quelques galeries colorées dans la couche de 80 - 100 cm, peu nombreuses mais représentant une longueur assez importante.

Il faut remarquer la longueur des galeries colorées mesurées sur les 20 premiers centimètres du profil 8 CT (457,4 cm) [fig. 5.10]. Elle est nettement supérieure à la moyenne de l'ensemble des profils (210,6 cm). Comme ce profil a été le seul étudié hors de la période de diapause des lombriciens, cette longueur élévée indique en effet une activité plus importante dans la couche de surface.

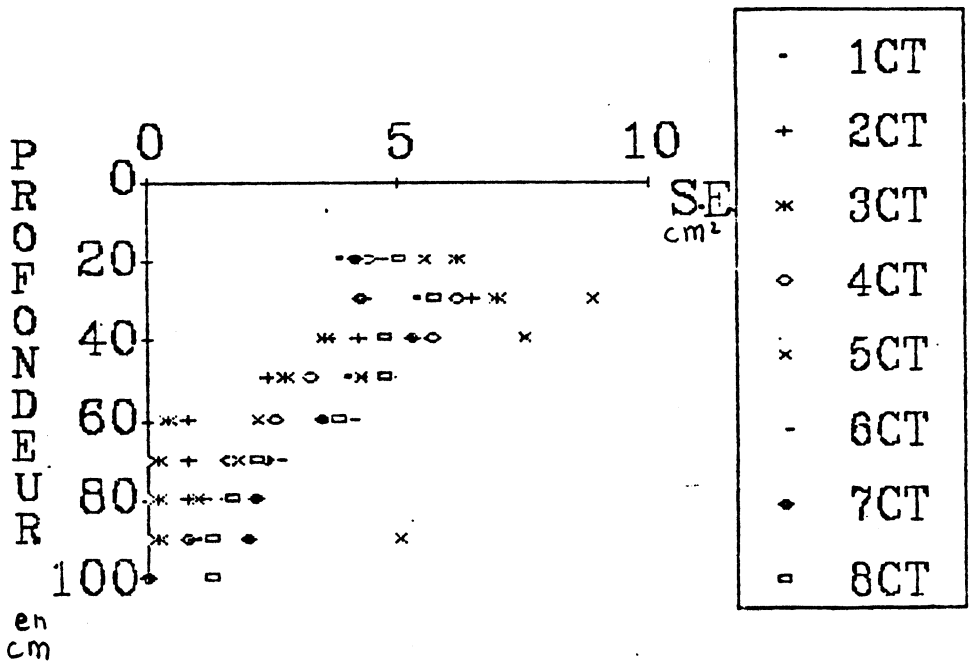
Figure 5.10: Distribution des galeries dans les profils étudiés en Languedoc: longueur de galeries colorées.



e) section efficace développée

D'une façon générale, la section efficace développée par les galeries colorées à l'intérieur de chaque couche de sol diminue rapidement à partir de 40 cm de profondeur (fig. 5.11). Elle peut augmenter entre 20 - 40 cm et, parfois vers 50 cm de profondeur (profil 6 CT), indiquant la présence de logettes de diapause.

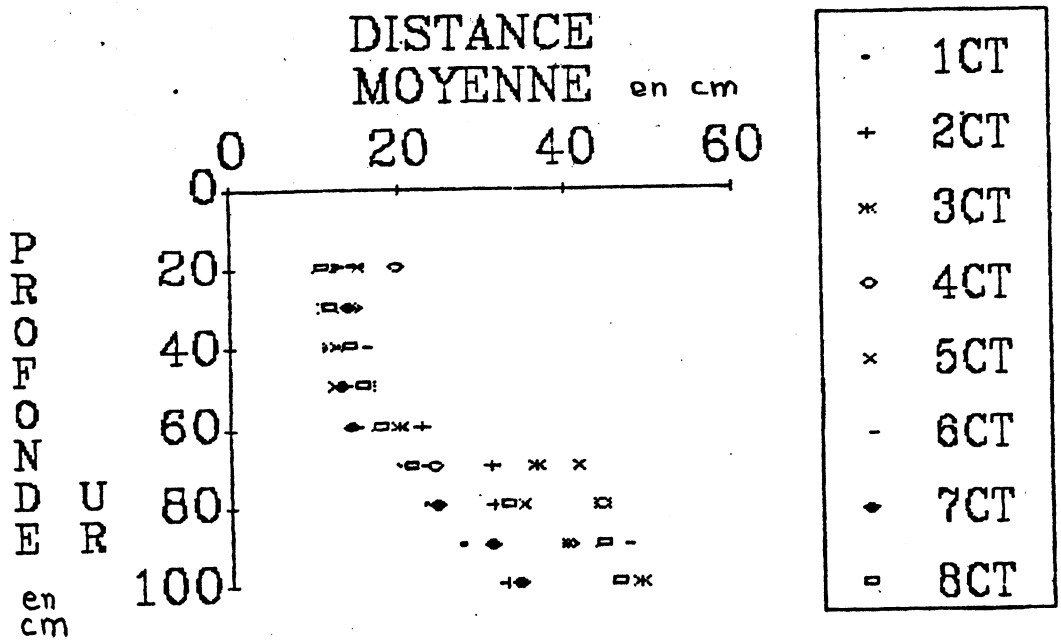
Figure 5.11: Section efficace développée par les galeries colorées mesurées en Languedoc, par couche de 10 cm de sol.




f) distance moyenne entre galeries voisines

La distance moyenne entre galeries voisines varie peu d'un profil à l'autre (fig. 5.12). Elle se situe entre 10 et 20 cm jusqu'à 60 cm de profondeur, et augmente ensuite avec la profondeur.

Figure 5.12: Distance moyenne par couche de 10 cm entre les galeries colorées mesurées en Languedoc.




## 5.5. Discussion

Sur la parcelle d'Aimargues, la différence entre les 8 profils étudiés semble importante lorsqu'on compare des paramètres tels que longueur et nombre de galeries. Cependant les variations de diamètre moyen, ainsi que la tortuosité, la distribution de galeries par couche de sol et la distance moyenne entre galeries indiquent l'existence de réseaux assez semblables.

Ces réseaux reflètent en fait les caractéristiques de la population lombricienne (constituée surtout par des anéciques) et celles du sol en place (relativement homogène sur au moins 1 m de profondeur).

La population lombricienne sur la zone étudiée (7000 m²) semble être importante (126 g/m² soit 1,3 t/ha). Elle est constituée presque essentiellement de lombriciens anéciques (99,8 % de la biomasse totale). Ainsi,leurs déplacements entre la surface et les couches à température et humidité convenables font apparaître un réseau peu tortueux, dont la majorité des galeries est verticale. On retrouve plusieurs galeries qui pénètrent assez profondément dans le sol. Le diamètre moyen des galeries reflète en grande partie le diamètre du corps des individus adultes des espèces prélevées. La faible biomasse des endogés explique le faible nombre de galeries obstruées, visibles parfois sur les profils étudiés en été. Comme les lombriciens anéciques ont une diapause durant l'été, on retrouve des logettes, situées en général entre 35 et 45 cm de profondeur, parfois au delà de 60 cm.

Les réseaux mesurés reflètent aussi les caractéristiques du sol de la parcelle. L'absence de discontinuité structurale et texturale permet le déplacement des lombriciens sur une profondeur supérieure à 1 m. Comme il s'agit d'un sol à bon potentiel de ressuyage, situé dans une région où la température moyenne annuelle est relativement élevée (autour de 14 °C), il peut y avoir un dessèchement prononcé du profil. Ceci oblige la population des anéciques à chercher un abri dans les couches plus profondes (au dessous de 60 cm).

Il est intéressant d'observer aussi l'évolution de la porosité totale dans les différentes couches du sol (§ 5.2.2) et celle de la porosité lombricienne (tableau 5.8).

Tableau 5.8: Relations entre la porosité totale et la porosité lombricienne; parcelle du Languedoc.

| Couche (cm) | porosité totale (%) | vol.galeries (cm3) | % vol.galeries sur vol.vides total |
|---|---|---|---|
| 0 - 20 | 44,1 | 107,82 | 0,62 |
| 20 - 40 | 43,0 | 131,82 | 0,78 |
| 40 - 60 | 41,8 | 89,75 | 0,55 |
| 60 - 80 | 41,1 | 38,99 | 0,24 |
| 80 -100 | 43,0 | 16,31 | 0,01 |

Dans ce tableau nous avons considéré le volume moyen des galeries par couche de sol pour le comparer avec les valeurs de porosité totale définies pour le profil 8 CT. On constate que la porosité lombricienne constitue une faible partie de la porosité totale (moins de 1 % sur tout le profil). Le rapport entre porosité lombricienne et porosité totale diminue progressivement à partir de 20 centimètres de profondeur avec en surface (0 - 20 cm) un rapport est un peu plus faible.

Il existe bien évidemment des variations à l'intérieur de la zone étudiée (7000 m²), certains profils (8 CT, 7 CT et 5 CT) présentent des réseaux plus denses que d'autres (3 CT, 4 CT). Ces variations sont, pour l'instant, difficiles à expliquer. Une étude approfondie sur l'évolution saisonnière des réseaux et sur l'âge des galeries pourraient donner des éléments pour la compréhension des différences entre réseaux mesurés.