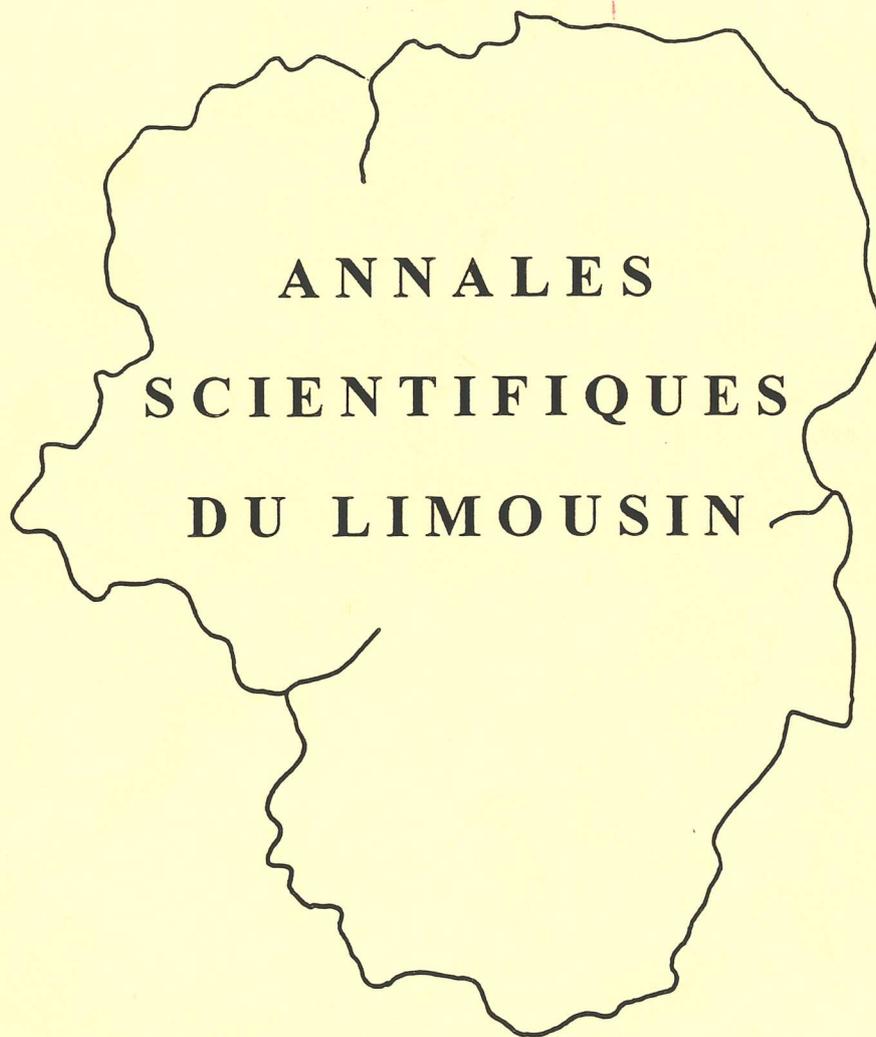


07697 / 2001 - 11
15 II 01

ASSOCIATION UNIVERSITAIRE LIMOUSINE POUR L'ETUDE
ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
(A.U.L.E.P.E.)



Tome 11 - 2001 - LIMOGES

N° ISSN : 0765-0677

ANNALES SCIENTIFIQUES DU LIMOUSIN

Les *Annales Scientifiques du Limousin* sont publiées par l'Association Universitaire du Limousin pour l'Etude et la Protection de l'Environnement (A.U.L.E.P.E.) et sont ouvertes à tous les travaux ayant trait à l'étude du milieu en région Limousin (et/ou zones limitrophes).

Leur parution est annuelle.

Rédaction

M. M. BOTINEAU
Président de l'A.U.L.E.P.E.
Laboratoire de Botanique, Faculté de Pharmacie,
2, Rue du Docteur Marcland
87025 - Limoges Cedex

M. J.P. VERGER
Laboratoire B.C.V.E.L., Faculté des Sciences,
123, Avenue Albert Thomas
87060 - Limoges Cedex

M. D. RONDELAUD
Faculté de Médecine
2, Rue du Docteur Marcland
87025 - Limoges Cedex

Service du Bulletin

- Contre échange régulier de publication périodique à toute personne physique et morale en faisant la demande à la rédaction.
- Par souscription annuelle des membres de l'A.U.L.E.P.E. ou de personnes extérieures.

Directeur de la publication : M. le Président de l'A.U.L.E.P.E.

Secrétaire de rédaction : M. J.P. VERGER

Réalisation technique : M. J.P. VERGER

*Imprimé à Limoges
Faculté de Pharmacie
87025 LIMOGES Cedex*

Dépôt légal : 1^{er} trimestre 2001

ASSOCIATION UNIVERSITAIRE LIMOUSINE POUR L'ETUDE
ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
(A.U.L.E.P.E.)



Tome 11 - 2001 - LIMOGES

N° ISSN : 0765-0477

SOMMAIRE

- Cartographie de la répartition des mollusques Lymnacidæ et d'espèces voisines dans la Basse-marche (secteur Nord de la Haute-Vienne). *Rondelaud D., Vignoles Ph., Dreyfuss G., Xuereb F., d'Aspostoloff & Vareille-Morel Ch.* p. 1 - 18
- Evolution comparée des sols de taillis de châtaigniers et des landes sèches de la châtaigneraie limousine. *Verger J.P.* p. 19 - 32
- Caractérisation chimique et histologique des téguments de la châtaigne. *Gloaguen V., Mas L. & Morvan H.* p. 33 - 48
- Analyse des peuplements d'Orthoptéroïdes sur les pelouses calcicoles de la Côte Pelée de Chasteaux (Corrèze - France). *Picaud F., Dufour S., Decaux E & Petit D.* p. 49 - 60
- Aspects biogéographiques de la distribution des micromammifères dans le Limousin. *Indélicato N.* p. 61 - 80
- Elaboration de plastiques biodégradables à partir de coproduits agricoles et forestiers. *Fredon E., Gourson C., Branlant P., Granet R., Benhadou R., Gloaguen V., Verneuil B. & Krausz P.* p. 81 - 92
- Pollution par les métaux à partir des anciennes mines : l'exemple du Limousin. *Bril H., Roussel Ch., Floc'h J.P., Néel C., Courtin-Nomade A, & Dutreuil J.P.* p. 93

SUMMARY

- Cartography of the distribution of Lymnacidæ snails and related species in the Basse Marche (Northern district of the Haute-Vienne Department, Central France). *Rondelaud D., Vignoles Ph., Dreyfuss G., Xuereb F., d'Aspostoloff & Vareille-Morel Ch.* p. 1 - 18
- Comparative evolution of the soils of chestnut coppices and dry heaths in the chestnut stands of the Limousin (France). *Verger J.P.* p. 19 - 32
- Histological and chemical characterization of chestnut envelopes. *Gloaguen V., Mas L. & Morvan H.* p. 33 - 48

| | |
|---|------------|
| Dynamics of Orthopteroïd communities on calcareous meadows in the Côte Pelée of Chasteaux (Corrèze - France). <i>Picaud F., Dufour S., Decaux E & Petit D.</i> | p. 49 - 60 |
| Biogeographical aspects in the distribution of the small mammals in the Limousin (France). <i>Indelicato N.</i> | p. 61 - 80 |
| Production of biodegradable polymers from agricultural and forestry by-products. <i>Fredon E., Gourson C., Branlant P., Granet R., Benhadou R., Gloaguen V., Verneuil B. & Krausz P.</i> | p. 81 - 92 |
| Metallic pollution from the former mines; the Limousin area (France) as an exemple. <i>Bril H., Roussel Ch., Floc'h J.P., Néel C., Courtin- Nomade A, & Dutreuil J.P.</i> | p. 93 |

AVANT-PROPOS

L'Association Universitaire Limousine pour l'Etude et la Protection de l'Environnement (A.U.L.E.P.E.) est une association régie par la loi du 1er juillet 1901. Elle a été déclarée le 5 février 1976 et agréée sur le plan régional par le Ministère de L'Environnement au titre de la loi sur la Protection de la Nature.

Cette association a pour buts :

- 1 - Regrouper les Universitaires préoccupés par les problèmes de l'environnement.
- 2 - Entreprendre et poursuivre toute étude scientifique, suggérer des solutions d'aménagement et donner tout avis concernant les questions se rapportant directement ou indirectement à la protection de la nature et de l'environnement.
- 3 - Informer le public des conclusions de ses recherches et de ses projets.
- 4 - Sensibiliser à tous les niveaux l'opinion aux problèmes de l'environnement par des publications, des informations radio télévisées, des conférences, des excursions, etc...
- 5 - Oeuvrer pour la mise en place de secteurs à protéger et d'espaces expérimentaux pour l'information et l'éducation du public.
- 6 - Coopérer avec tous autres organismes et/ou fédérations qui pourraient favoriser les objectifs de l'association.

Le siège social est fixé à la Faculté de Pharmacie de Limoges, 87 025 Limoges Cédex, au Laboratoire de Botanique et de Cryptogamie.

C'est dans le cadre de ses activités de recherche que l'A.U.L.E.P.E. édite les *Annales Scientifiques du Limousin*, périodique annuel regroupant les publications que les membres de l'association et les chercheurs extérieurs réalisent.

L'association souhaite que les travaux relatifs à l'écologie du Limousin connaissent la plus large diffusion possible afin de promouvoir l'étude du milieu régional.

CARTOGRAPHIE DE LA RÉPARTITION DES MOLLUSQUES LYMNAEIDAE ET D'ESPÈCES VOISINES DANS LA BASSE-MARCHE (SECTEUR NORD DE LA HAUTE-VIENNE)

RONDELAUD D.*, VIGNOLES Ph.**, DREYFUSS G.** et VAREILLE-MOREL C.***

Avec le concours de XUEREB F.** et d'APOSTOLOFF C.**

* Faculté de Médecine et ** Faculté de Pharmacie,
2, rue du Docteur-Raymond-Marcland 87025 Limoges Cedex.

*** Faculté des Sciences, 123, rue Albert-Thomas, 87060 Limoges Cedex.

RESUME - Des investigations ont été réalisées dans 316 fossés de route, étangs et rivières de la Basse-Marche pour recenser les espèces de Pulmonés aquatiques et effectuer une cartographie de leur distribution selon un carroyage de 5 x 5 km. Dix espèces et 484 populations ont été recensées dans ce secteur. Quatre espèces prédominent par leur distribution et le nombre de leurs habitats. *Lymnaea truncatula* se rencontre sur toutes les mailles de la Basse-Marche et colonise 80 % des fossés étudiés, 71 % des étangs et 30 % des rivières mais son abondance est assez faible dans 70 % des sites. La répartition de *Physa acuta* est assez identique à celle de *L. truncatula* mais cette espèce se rencontre surtout dans les étangs et les rivières (76 % et 60,2 % respectivement). *Lymnaea glabra* et *L. ovata* ont une distribution plus limitée, avec une concentration des populations dans les vallées parcourues par des rivières importantes. La fréquence de la première espèce est de 23 % dans les fossés et de 12 % dans les étangs ; par contre, *L. ovata* colonise 36 % des étangs prospectés et 74 % des stations situées sur les ruisseaux et les rivières. Les six autres espèces de Pulmonés (quatre limnées, une physse et une planorbe) ont une distribution en taches, avec un nombre d'habitats réduit et une concentration des gîtes (pour trois d'entre elles) dans les carrés nord de l'arrondissement (Azat-le-Ris et communes environnantes).

MOTS-CLES : Cartographie. Haute-Vienne. *Lymnaea* sp. Mollusques.

SUMMARY - CARTOGRAPHY OF THE DISTRIBUTION OF LYMNAEIDAE SNAILS AND RELATED SPECIES IN THE BASSE-MARCHE (NORTHERN DISTRICT OF THE HAUTE-VIENNE DEPARTMENT, CENTRAL FRANCE).

Field investigations were carried out in 316 road ditches, ponds and rivers of the Basse-Marche to list the freshwater pulmonate species and to draw maps of their distribution using 5-km squares. Ten species and 484 populations were found in the district studied. Four pulmonate species were way ahead by their distribution and the number of their habitats. *Lymnaea truncatula* was found in all the squares of the Basse-Marche and colonized 80% of road ditches, 71% of ponds, and 30% of rivers. However, the number of overwintering snails in each population was low in 70% of habitats. A similar finding was noted for the

distribution of *Physa acuta* but this snail was especially found in ponds and rivers (76.0% and 60.2%, respectively). The distribution of *Lymnaea glabra* and *L. ovata* was more limited and their populations were concentrated in the valleys of large rivers. The frequency of *L. glabra* habitats was 23% in road ditches and 12% in ponds ; in contrast, *L. ovata* inhabited 36% of the ponds studied and 74% of stations on brooks and rivers. The other six pulmonate species (four lymnaeid, one physidid, and one planorbid species) had a spotted distribution and a low number of habitats. Three of these species were only found in the commune of Azat-le-Ris and other neighbouring squares.

KEY-WORDS : Cartography. Haute-Vienne. *Lymnaea* sp. Mollusca.

INTRODUCTION

Les mollusques n'occupent pas toute la superficie d'un territoire, même si celui-ci leur offre des conditions favorables pour le développement des populations. Ces dernières se rencontrent dans des sites qui présentent les meilleures conditions en fonction de la climatologie locale, des abris et de la nourriture. Cependant la distribution de leurs habitats dans une région donnée n'est pas statique dans le temps. C'est pour cela qu'il est utile de procéder à des intervalles réguliers à un recensement des espèces afin de déterminer si l'une d'entre elles présente une extension ou au contraire un déclin (Bouchet, 1990). Cette opération permet d'élaborer une "stratégie de conservation" et de prendre les mesures juridiques adéquates si certaines espèces sont vulnérables ou menacées d'extinction (Bouchet, 1999).

Les premiers atlas sur la cartographie des espèces continentales françaises sont à l'heure actuelle en cours de réalisation mais ils ne couvrent que des régions (cas du Midi-Pyrénées : Bertrand, 1995, ou du Poitou-Charentes : Jourde, 1996) ou certains départements (cas de la Vendée par exemple : Vimpère et Goyaud, 1996). Toutes ces études doivent aboutir à la réalisation d'un atlas national qui doit préciser la localisation actuelle des espèces françaises, qu'elles soient terrestres ou aquatiques (Jourde, 1996).

Depuis 1970, les membres de notre équipe ont pu réaliser de très nombreuses collectes dans les prairies marécageuses situées dans la région du Limousin et plus particulièrement dans le département de la Haute-Vienne (Badie et Rondelaud, 1979 ; Rondelaud, 1996, par exemple). Ces prospections ont été complétées par des travaux sur la localisation de différents Pulmonés comme les limnées (Didier et Rondelaud, 1988; Vaille-Morel *et al.*, 1999). Devant ces premiers travaux, nous nous sommes posé les deux questions suivantes : peut-on établir des cartes de répartition pour les différentes espèces de Pulmonés aquatiques que l'on rencontre dans le département de la Haute-Vienne ? Quelle est la fréquence de leurs habitats dans cette zone par rapport à leur nature ? Pour répondre à cette problématique, nous avons effectué des investigations pendant six mois de l'année 2000 dans l'arrondissement de Bellac car c'est dans ce secteur, appelé aussi Basse-Marche, que la plupart de nos prospections ont eu lieu au cours des trois dernières décennies. Ces études ont été réalisées dans trois types de gîtes : fossés de route, étangs et rivières.

MATERIEL ET METHODES

1 - La zone d'étude.

Elle s'étend sur l'arrondissement de Bellac, c'est-à-dire le secteur nord de la Haute-Vienne. Considérée comme l'une des zones les plus basses du département, car l'altitude n'excède pas 200 à 400 mètres, les sols sont constitués par des granites à deux micas ou à biotite (au nord, à l'est et au sud de ce secteur) ou par des roches métamorphiques (à l'ouest). Ce sont donc des terrains siliceux, parsemés de failles et présentant un déficit calcique : l'eau de ruissellement y présente une concentration en ions calcium dissous comprise entre 5,7 et 26,8 mg/L (Guy, 1996).

Trois cent seize stations¹ ont été prospectés dans ce secteur, à savoir 172 fossés de route, 71 étangs et 73 sites localisés sur des ruisseaux ou des rivières. Lorsque la rivière est importante (Brame, Gartempe, Vincou, par exemple), nous avons inventorié plusieurs sites sur le lit de celle-ci, distants entre eux de 4 à 6 km.

2 - Protocole des investigations.

Pour cette étude, nous avons choisi un carroyage à mailles fines (5 km de côté) comme base cartographique. D'après Light et Killeen (1996), cette technique permet de mieux observer les changements de répartition entre espèces qui n'apparaissent pas avec l'emploi de mailles plus larges (10 x 10 km). Le choix des stations de prospection a été réalisé avec le souci d'avoir au moins trois d'entre elles (fossés de route) ou deux (étangs ou rivières) pour chaque maille du carroyage.

La présence ou l'absence de *Lymnaea glabra* et de *L. truncatula* a été recherchée dans des fossés présentant les caractéristiques suivantes : site contenant de l'eau (courante ou stagnante), présence de joncs, longueur du site supérieure à 5 mètres. Dans le cas des autres Pulmonés aquatiques, nous avons prospecté les herbiers immergés des étangs lorsqu'ils étaient visibles, ainsi que les ruisseaux ou les rivières qui en partent ou s'y jettent.

Une fiche de terrain a été établie pour chaque site prospecté. Les Pulmonés aquatiques qui y vivent y sont répertoriés. La présence des mollusques dans chaque site a été évaluée en fonction des résultats obtenus avec quatre allers et retours avec une passoire mesurant 20 cm de diamètre (fossé, ruisseau, rivière) ou avec une épuisette à mailles fines, présentant une ouverture de 50 cm (étangs).

3 - Paramètres étudiés.

Dans le cas de la cartographie, nous avons considéré la présence ou l'absence de chaque espèce sur chaque maille du carroyage.

¹ - La liste de ces 316 sites prospectés dans l'arrondissement de Bellac figure dans la thèse de Xuereb (2000), avec indication de leur localisation géographique, de leurs coordonnées mesurées à l'aide d'un G.P.S. (pour les fossés de route) et du peuplement malacologique (pour les mêmes fossés).

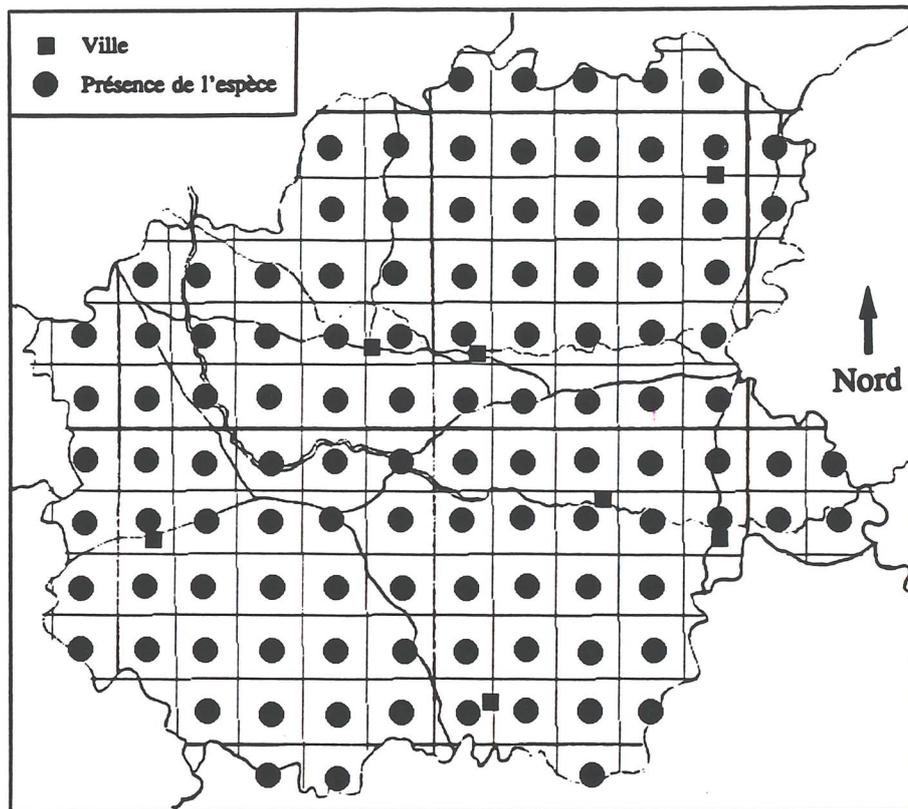


Figure 1. La distribution de *Lymnaea truncatula* dans la Basse-Marche, avec un carroyage de 5 x 5 km.

| Canton | Nombre de sites prospectés (et fréquence des habitats avec <i>Lymnaea truncatula</i>) | | |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------------|
| | Fossés de route | Etangs | Ruisseaux et rivières |
| Bellac | 23 (86,9 %) | 7 (57,1 %) | 11 (90,9 %) |
| Bessines-sur-Gartempe | 11 (100 %) | 4 (100 %) | 6 (16,6 %) |
| Châteauponsac | 19 (73,6 %) | 3 (66,6 %) | 8 (25,0 %) |
| Le Dorat | 35 (91,4 %) | 13 (84,6 %) | 8 (25,0 %) |
| Magnac-Laval | 17 (82,3 %) | 5 (80,0 %) | 5 (20,0 %) |
| Mézières-sur-Issoire | 23 (78,2 %) | 10 (90,0 %) | 15 (33,3 %) |
| Nantiat | 26 (57,6 %) | 22 (50,0 %) | 10 (0 %) |
| Saint-Sulpice-les-Feuilles | 18 (83,3 %) | 7 (85,7 %) | 10 (30,0 %) |
| Au total | 172 (80,8 %) | 71 (71,8 %) | 73 (20,5 %) |

Tableau I. La répartition des habitats de *Lymnaea truncatula* dans la Basse-Marche par rapport au canton et à la nature du site prospecté.

Un deuxième paramètre intéresse la fréquence des habitats colonisés par chaque espèce en fonction de sa nature (fossés de route, étangs ou rivières). Ce pourcentage est calculé en rapportant le nombre de gîtes peuplés par chaque espèce à celui des habitats prospectés.

RESULTATS

1 - Les Lymnaeidae.

Sept espèces ont été identifiées dans le secteur nord de la Haute-Vienne. Trois d'entre elles sont assez communes (*L. glabra*, *L. ovata*, *L. truncatula*) tandis que les quatre espèces sont plus rares.

A. Cas de *Lymnaea truncatula*.

La distribution de cette limnée est présentée sur la figure 1. Le mollusque se rencontre dans tous les carrés, quelle que soit leur altitude.

Les 205 habitats de *L. truncatula* sont, de plus, détaillés sur le tableau I par rapport à la nature de l'habitat (fossé de route, étang, ruisseau ou rivière) et au canton étudié. Plusieurs remarques se dégagent à la lecture de ce tableau :

- L'habitat préférentiel de l'espèce est constitué par les fossés de route (80,8 % des stations prospectées) et, par suite, par les prairies proches de ces derniers car les rigoles d'écoulement superficiel de l'eau ou de drainage se déversent souvent dans ces sites. Les étangs sont également concernés car le mollusque a été retrouvé dans 71,8 % d'entre eux (à la queue de ces étangs, parfois sur les bords de la pièce d'eau elle-même). Les ruisseaux et les rivières sont moins colonisées (20,5 %).

- La répartition numérique de ces habitats par canton montre des différences. Si l'on considère les fossés de route, on constate que le chiffre le plus faible est celui de Nantiat (57,6 %) alors que les autres fréquences se distribuent entre 73,6 et 100 %. Cette différence se retrouve aussi dans le cas des étangs (50 % dans le canton de Nantiat au lieu de 57 à 100 % dans les autres divisions administratives) et dans le cas des rivières (0 % au lieu de 16 à 100 %).

Le tableau ci-dessous montre que *L. truncatula* vit surtout sous forme de populations isolées et que les peuplements bi- ou trispécifiques sont plus rares :

| Nature de l'habitat | Nombre de sites (et fréquence) | | |
|---------------------|----------------------------------|--|--------------------------|
| | <i>Lymnaea truncatula</i> isolée | <i>L. truncatula</i> et un autre Pulmoné aquatique | Peuplement trispécifique |
| Fossé de route | 114 (82,0 %) | 23 (16,5 %) | 2 (1,4 %) |
| Etang | 47 (92,1 %) | 3 (5,8 %) | 1 (1,9 %) |
| Ruisseau ou rivière | 11 (73,3 %) | 2 (13,3 %) | 2 (13,3 %) |

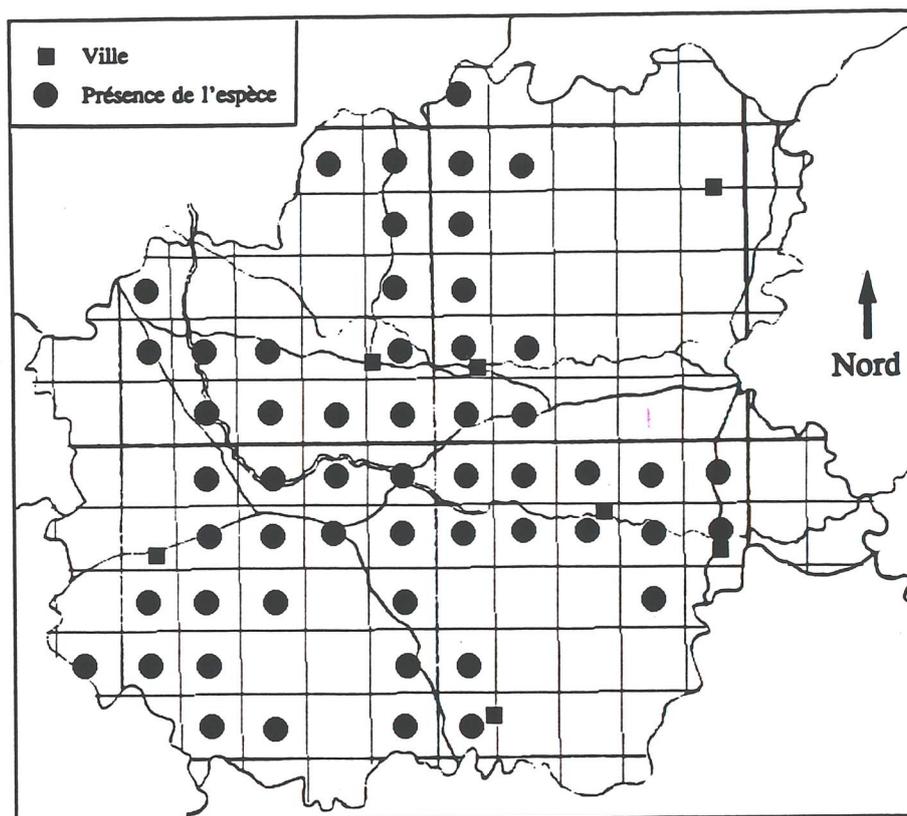


Figure 2. La distribution de *Lymnaea glabra* dans la Basse-Marche, avec un carroyage de 5 x 5 km.

| Canton | Nombre de sites prospectés (et fréquence des habitats avec <i>Lymnaea glabra</i>) | | |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------------|
| | Fossés de route | Etangs | Ruisseaux et rivières |
| Bellac | 23 (34,7 %) | 7 (14,2 %) | 11 (0 %) |
| Bessines-sur-Gartempe | 11 (27,2 %) | 4 (25,0 %) | 6 (0 %) |
| Châteauponsac | 19 (21,0 %) | 3 (33,3 %) | 8 (0 %) |
| Le Dorat | 35 (20,0 %) | 13 (15,3 %) | 8 (12,5 %) |
| Magnac-Laval | 17 (29,4 %) | 5 (0 %) | 5 (0 %) |
| Mézières-sur-Issoire | 23 (43,4 %) | 10 (20,0 %) | 15 (0 %) |
| Nantiat | 26 (11,5 %) | 22 (4,5 %) | 10 (0 %) |
| Saint-Sulpice-les-Feuilles | 18 (5,5 %) | 7 (14,2 %) | 10 (0 %) |
| Au total | 172 (23,8 %) | 71 (12,6 %) | 73 (20,5 %) |

Tableau II. La répartition des habitats de *Lymnaea glabra* dans la Basse-Marche par rapport au canton et à la nature du site prospecté.

B. Cas de *Lymnaea glabra*.

La cartographie de cette limnée par rapport au carroyage de la Basse-Marche est présentée sur la figure 20. A l'inverse de *L. truncatula*, on peut constater que la répartition de *L. glabra* est plus réduite et que les carrés où l'espèce a été rencontrée sont également parcourus par des rivières importantes. Il est intéressant de remarquer la rareté des populations dans des secteurs comme les Monts de Blond, les Monts d'Ambazac et sur deux groupes de plateaux localisés au Nord-est et au Nord-ouest.

La lecture du tableau II confirme l'impression que fournit l'examen de la cartographie. On peut en dégager les points suivants :

- Si l'on considère la nature de l'habitat, on note que la fréquence la plus élevée de l'espèce (23,2 %) s'observe dans les fossés de route. Les pourcentages sont plus faibles dans les étangs (12,6 %) et sur les berges des ruisseaux (1,3 %).

- Les fréquences les plus faibles de *L. glabra* sont celles relevées dans les cantons de Nantiat (11,5 %) et de Saint-Sulpice-les-Feuilles (5,5 %). Dans les autres secteurs, les pourcentages sont plus élevés : de 20 à 43,3 %. Au niveau des étangs, les résultats sont plus variables, même si le canton de Nantiat a une faible fréquence.

Le tableau ci-dessous présente les résultats sur l'aptitude de l'espèce à former des populations isolées ou à vivre avec d'autres Pulmonés aquatiques. Les peuplements bispécifiques (surtout avec *L. truncatula* dans les fossés de route) dominent par rapport aux colonies monospécifiques :

| Nature de l'habitat | Nombre de sites (et fréquence) | | |
|---------------------|--------------------------------|--|-------------------------------------|
| | <i>Lymnaea glabra</i> isolée | <i>L. glabra</i> et un autre Pulmoné aquatique | Peuplement tri ou quadri-spécifique |
| Fossé de route | 18 (43,9 %) | 21 (51,2 %) | 2 (4,8 %) |
| Etang | 2 (22,2 %) | 5 (56,6 %) | 2 (22,2 %) |
| Ruisseau ou rivière | 0 | 1 | 0 |

C. Cas de *Lymnaea ovata*.

La distribution de cette limnée est précisée sur la figure 3 (page suivante). Comme cette espèce vit surtout dans les rivières et dans un certain nombre d'étangs, il n'est pas étonnant de constater que sa répartition suit celle des cours d'eau dans lesquels elle vit. Cette limnée n'a pas été observée dans les Monts de Blond et sur la plupart des plateaux localisés au nord-est et au nord-ouest. Dans les monts d'Ambazac, sa distribution est aléatoire car elle est présente dans certains étangs alors qu'elle est absente d'autres étendues d'eau.

Le tableau III précise la fréquence des habitats colonisés par cette espèce en fonction de leur nature et de leur localisation géographique :

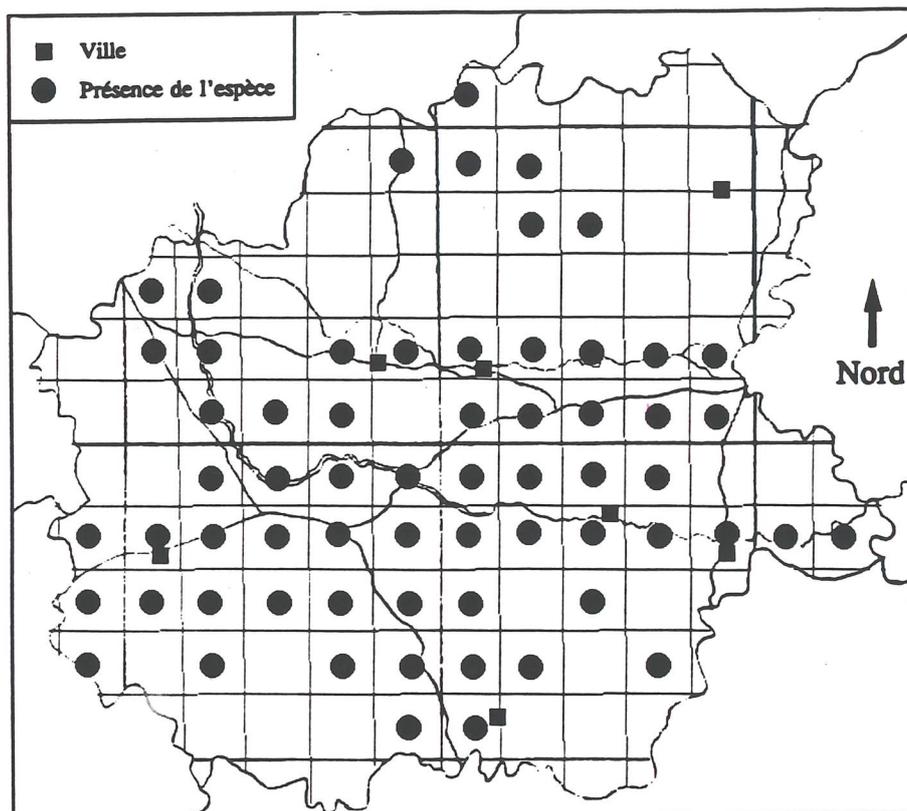


Figure 3. La distribution de *Lymnaea ovata* dans la Basse-Marche, avec un carroyage de 5 x 5 km.

| Canton | Nombre de sites prospectés (et fréquence des habitats avec <i>Lymnaea ovata</i>) | | |
|----------------------------|---|--------------------|-----------------------|
| | Fossés de route | Etangs | Ruisseaux et rivières |
| Bellac | 23 (0 %) | 7 (57,1 %) | 11 (90,9 %) |
| Bessines-sur-Gartempe | 11 (0 %) | 4 (25,0 %) | 6 (100 %) |
| Châteauponsac | 19 (0 %) | 3 (0 %) | 8 (100 %) |
| Le Dorat | 35 (0 %) | 13 (53,8 %) | 8 (75,0 %) |
| Magnac-Laval | 17 (0 %) | 5 (60,0 %) | 5 (100 %) |
| Mézières-sur-Issoire | 23 (0 %) | 10 (70,0 %) | 15 (73,3 %) |
| Nantiat | 26 (0 %) | 22 (13,6 %) | 10 (30,0 %) |
| Saint-Sulpice-les-Feuilles | 18 (0 %) | 7 (28,5 %) | 10 (60,0 %) |
| Au total | 172 (0 %) | 71 (36,6 %) | 73 (73,9 %) |

Tableau III. La répartition des habitats de *Lymnaea ovata* dans la Basse-Marche par rapport au canton et à la nature du site prospecté.

La lecture du tableau III montre l'absence de *L. ovata* dans les fossés de route, même si ceux-ci sont remplis d'eau provenant de la rivière proche. Les étangs sont plus fréquentés (36,6 %) mais ce sont surtout les ruisseaux et les rivières qui représentent l'habitat préférentiel car la fréquence de la limnée y est de 73,9 %.

Si l'on considère la distribution de cette espèce en fonction des cantons, on constate que les plus faibles fréquences sont celles de Nantiat et de Saint-Sulpice-les-Feuilles. A titre d'exemple, la fréquence de *L. ovata* est respectivement de 30 et de 60 % dans les ruisseaux et rivières situés dans ces deux secteurs alors qu'elle se distribue entre 73 et 100 % sur les autres cantons.

Il est intéressant de noter, en plus, que la limnée disparaît lorsque le substrat de l'eau est de type rocheux et que le courant est rapide.

Le tableau ci-dessous présente les résultats sur l'aptitude de l'espèce à former des populations isolées ou des peuplements mixtes. Comme on peut le noter, ce sont surtout les peuplements bi- ou trispécifiques qui dominent (surtout avec *Physa acuta*), en particulier dans les rivières :

| Nature de l'habitat | Nombre de sites (et fréquence) | | |
|---------------------|--------------------------------|---|--------------------------|
| | <i>Lymnaea ovata</i> isolée | <i>L. ovata</i> et un autre Pulmoné aquatique | Peuplement trispécifique |
| Etang | 7 (26,9 %) | 16 (61,5 %) | 3 (11,5 %) |
| Ruisseau ou rivière | 2 (3,7 %) | 29 (53,7 %) | 23 (42,5 %) |

D. Cas des autres limnées.

Nos investigations dans la Basse-Marche ont montré la présence de quatre espèces de limnées : *Lymnaea fuscus*, *L. palustris*, *L. peregra* et *L. stagnalis*. Aucune colonie de *L. corvus* et de *Myxas glutinosa* n'a été constatée sur notre secteur d'étude. Malgré des investigations poussées dans les secteurs les plus en aval de la Gartempe et de la Brame, nous n'avons pas trouvé de *L. auricularia* dans le lit de ces deux rivières.

La distribution des quatre espèces est présentée sur des cartes à la fin de cet article. La lecture de ces cartes permet de formuler les remarques suivantes :

- La répartition de *L. fuscus*, *L. palustris* ou de *L. peregra* est disséminée dans la Basse-Marche et il n'y a pas de lien apparent avec le réseau hydrographique.

- *L. stagnalis* n'a été observée que dans un seul étang sur la commune d'Azat-le-Ris.

Le tableau ci-dessous indique, pour chaque espèce, le nombre de gîtes en fonction de leur nature (étang ou rivière) :

| Espèce | Nombre de gîtes colonisés par la limnée | | |
|-----------------------|---|--------|----------|
| | Fossés de route | Etangs | Rivières |
| <i>Lymnaea fuscus</i> | 7 | 4 | 0 |
| <i>L. palustris</i> | 1 | 8 | 1 |
| <i>L. peregra</i> | 2 | 13 | 0 |
| <i>L. stagnalis</i> | 0 | 1 | 0 |

A l'examen de ce tableau, on note que *L. fuscus* domine dans les fossés de route alors que les autres espèces vivent plutôt en étang.

Il faut noter, de plus, que *L. fuscus*, *L. palustris* et *L. stagnalis* forment des peuplements où l'on trouve d'autres espèces de limnées ou des physes. Les colonies de *L. peregra* sont souvent monospécifiques (11 sites), notamment lorsque ce mollusque vit dans des cressonnières naturelles.

2 - Les autres Pulmonés aquatiques.

Nous avons limité nos investigations aux physes et aux planorbes que l'on peut rencontrer dans notre secteur d'étude. Par contre, nous avons délaissé les ancyles dans le cadre de ce travail, même si ceux-ci sont fréquents dans les ruisseaux et les rivières à courant rapide et à fond rocheux.

Deux physes : *Aplexa hypnorum*, *Physa acuta*, et une planorbe : *Planorbis spirorbis*, ont été trouvées dans les stations que nous avons prospectées. Leur distribution est précisée sur des cartes à la fin de cet article. On peut remarquer :

- que *P. acuta* se rencontre pratiquement sur l'ensemble des carrés.
- que l'autre physe et *P. spirorbis* ont une distribution pratiquement limitée à quelques carrés au-dessus de Magnac-Laval.

La répartition des habitats en fonction de leur nature est indiquée pour chaque espèce sur le tableau ci-dessous :

| Espèce | Nombre de gîtes colonisés | | |
|----------------------------|---------------------------|--------|----------|
| | Fossés de route | Etangs | Rivières |
| <i>Aplexa hypnorum</i> | 2 | 1 | 0 |
| <i>Physa acuta</i> | 5 | 54 | 44 |
| <i>Planorbis spirorbis</i> | 4 | 1 | 0 |

Si la plupart des colonies de *P. acuta* se situent dans les étangs et les rivières, il n'en est pas de même pour les deux autres espèces qui vivent plutôt dans les fossés.

Ces trois espèces forment des peuplements mixtes dans la quasi-totalité des sites où elles vivent. *P. acuta* est souvent associée à *Lymnaea ovata* dans les étangs et les rivières, parfois à *L. truncatula* dans les fossés. L'une ou l'autre des deux autres espèces forme des peuplements tri- ou quadrispécifiques en vivant ensemble et en s'associant aussi avec *L. glabra*, *L. truncatula* ou *Physa acuta*.

DISCUSSION

Les sept espèces de *Lymnaea*, trouvées dans les fossés, les étangs et les rivières de la basse-Marche, concordent avec les résultats que Vareille-Morel *et al.* (2000) rapportent lors de leurs prospections sur 366 fermes disséminées dans les trois départements de la région Limousin. Dans leur étude comme dans la nôtre, *L. truncatula* domine par le nombre d'habitats, suivie par *L. glabra* et *L. ovata* par ordre décroissant. Les autres limnées ont un faible nombre d'habitats.

Les différences entre les deux études portent, par contre, sur la fréquence des habitats colonisés par chaque espèce. A titre d'exemple, 75 % des habitats à *L. truncatula* se situent dans les prairies et seulement 12 % dans les fossés pour Vareille-Morel *et al.* (2000) alors que les fossés de route sont colonisés, pour 80 % d'entre eux, par le mollusque dans la basse-Marche. Ces différences dans les pourcentages peuvent s'expliquer en grande partie par les techniques utilisées pour la prospection. En effet, Vareille-Morel *et al.* (2000) répertorient tous les gîtes à limnées, situés sur l'étendue des fermes qu'ils ont prospectées alors que nos investigations n'ont porté que sur des types particuliers d'habitats (aucune prairie n'a été inventoriée, par exemple) dans le cadre de cette étude.

Nos résultats sur les Lymnaeidae apportent un certain nombre d'éléments nouveaux sur leur distribution par rapport au carroyage effectué dans la Basse-Marche :

- Même si *L. truncatula* est moins fréquente dans le canton de Nantiat, cette espèce se rencontre sur toutes les mailles de notre secteur d'étude. Cette large répartition peut s'expliquer aisément a) par les couches imperméables du sous-sol, ce qui favorise la création de multiples collections d'eau superficielles (Atlas du Limousin, 1990), b) par le caractère tempéré du microclimat local (avec peu de jours de neige) et c) par le caractère amphibie de *L. truncatula* qui se développe plus dans le film d'eau superficiel qui parcourt ses habitats que dans des collections d'eau permanentes mais plus profondes (Moens, 1991).

- La répartition de *L. glabra* dans la Basse-Marche est moins étendue que celle de *L. truncatula*. La première espèce se rencontre surtout dans les grandes vallées et semble délaisser les zones de collines (Ambazac, Blond) et certains plateaux. Même si elle fréquente le même type d'habitat que *L. truncatula*, sa présence nécessite des collections d'eau plus profondes que celles où vit la Limnée tronquée, ce qui restreint par suite ses gîtes en les limitant à la partie moyenne (ou à la zone la plus en aval) des rigoles de drainage superficiel ou des fossés de route lorsque ces derniers sont parcourus par de l'eau courante.

- La distribution en taches constatée pour *L. fuscus*, *L. palustris* et *L. peregra*, et le nombre réduit de leurs habitats sont assez difficiles à interpréter. La première hypothèse serait de relier ces faits à la nature siliceuse du sous-sol et, par suite, à la présence d'une

faible teneur en ions calcium dissous dans l'eau (moins de 20 mg/L en général d'après Guy, 1996). En effet, l'existence d'une eau oligocalcique limite la taille des populations pour les mollusques aquatiques (Økland, 1990) et retentit sur la croissance des individus (Taylor, 1965). Mais cette première supposition cadre mal avec ce que l'on sait sur la distribution de ces espèces dans d'autres régions siliceuses comme celles du Massif Central par exemple. L'hypothèse la plus valable serait de relier la réduction numérique des habitats aux mesures agronomiques qui sont appliquées depuis une trentaine d'années dans la Basse-Marche (drainage profond, création de prairies artificielles, ...) et font disparaître les petites mares dans lesquelles ces espèces vivent.

D'après notre étude, *Physa acuta* présente une large distribution sur l'ensemble de la Basse-Marche. Ce résultat concorde avec les données de Didier (1986) : d'après cet auteur, la physe est fréquente dans trois rivières de la Basse-Marche (sur les huit qu'il a prospectés). Cette large distribution peut s'expliquer en partie par le caractère "invasif" de cette espèce comme cela a été constaté en Afrique en Sud (Hamilton-Attwell *et al.*, 1970 ; De Koch *et al.*, 1989 ; Brackenbury & Appleton, 1993). L'espèce n'hésite pas à remonter les rigoles prairiales de drainage superficiel lors de certaines années lorsque les conditions s'y prêtent (Vareille *et al.*, 1996).

La répartition en taches de l'autre physe et de *Planorbis spirorbis* appelle deux hypothèses différentes selon le secteur dans lequel ces espèces ont été rencontrées :

- Dans les zones situées dans le nord de la Basse-Marche et longeant la route D 7, on y trouve un peuplement polyspécifique vivant dans les fossés et composé par *Aplexa hypnorum*, *Lymnaea glabra*, *L. truncatula*, *Physa acuta* et *Planorbis spirorbis*. Selon la stations, l'une ou l'autre de ces espèces manque. Ce peuplement "s'effiloche" rapidement lorsque l'on suit cette route vers Magnac-Laval, avec la disparition rapide d'*A. hypnorum*, puis celle de *P. spirorbis*. Comme ce groupement d'espèces se retrouve aussi dans les fossés inondés de la Brenne et de la Petite-Brenne (département de l'Indre), nous émettons l'hypothèse que cette concentration d'espèces sur les communes d'Azat-le-Ris, de Verneuil-Moustiers et de Tersannes ne serait que l'extension finale de ce groupement existant dans la Petite-Brenne car cette zone et les communes précitées se touchent.

- Sur le reste de la Basse-Marche, la planorbe a une distribution en taches mais elle n'est pas la seule car Didier (1986) y signale aussi quelques populations d'une espèce proche, *P. leucostoma*. Comme la quasi-totalité des habitats pour ces deux planorbes se situent dans des rigoles de drainage superficiel, des petites mares et des fossés de route, on peut se demander si la répartition de ces deux espèces ne serait pas liée à un transport accidentel par les roues d'engins agricoles, par leur chargement (transport de terre, ...) ou par les pattes du bétail.

BIBLIOGRAPHIE

ATLAS DU LIMOUSIN, 1990. - Atlas du Limousin, une nouvelle image du Limousin. P.U.L.I.M., Limoges, 166 p.

- BADIE A. & RONDELAUD D., 1979. - Composition systématique et structure écologique du peuplement malacologique des prairies de la Haute-Vienne. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 115 : 323-334.
- BERTRAND A., 1995. - Atlas préliminaire des mollusques terrestres et aquatiques de Midi-Pyrénées. Laboratoire Souterrain du C.N.R.S. et D.I.R.E.N. Midi-Pyrénées, Moulis, 120 p.
- BOUCHET P., 1990. - La malacofaune française : endémisme, patrimoine naturel et protection. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 45 : 259-288.
- BOUCHET P., 1996 (1999). - La protection de la malacofaune française : pourquoi ? Comment ? *Vertigo*, 6 : 41.
- BRACKENBURY T.D. & APPLETON C.C., 1993.- Recolonization of the Umsindusi River, Natal, South Africa, by the invasive gastropod, *Physa acuta* (Basommatophora, Physidae). *J. Med. Appl. Malacol.*, 5 : 39-44.
- DE KOCK K.N., JOUBERT P.H. & PRETORIUS S.J., 1989. - Geographical distribution and habitat preference of the invader freshwater snail *Lymnaea columella* (Mollusca : Gastropoda) in South Africa. *Onderst. J. Vet. Res.*, 56 : 271-275.
- DIDIER B., 1986. - Contribution à l'étude écologique et écophysiological d'un mollusque prédateur, *Zonitoides nitidus* Müller. Thèse Doct. Univ. Limoges, Sci. Nat., n° 4, 179 p.
- DIDIER B. & RONDELAUD D., 1988. - Structure et distribution du peuplement malacologique dans les habitats de *Zonitoides nitidus* Müller (Mollusque Gastéropode Pulmoné). A propos de quelques observations dans le nord de la Haute-Vienne. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 124 : 51-60.
- GUY F., 1996. - Étude de relations entre la végétation et le mollusque *Lymnaea truncatula* Müller dans les jonchaies prairiales de la Haute-Vienne. Thèse Doct. Pharmacie, Limoges, n° 307, 103 p.
- HAMILTON-ATTWELL V.L., DE KOCH K.N. & VAN EEDEN J.A., 1970. - The occurrence and distribution of *Physa acuta* Draparnaud in the Republic of South Africa. *Wetenskap. Byd. Potchefst. Univ. C.E.O.*, B26 : 1-11.
- JOURDE P., 1996 (1999). - Atlas des mollusques continentaux du Poitou-Charentes. Etat d'avancement au 1 juillet 1997. *Vertigo*, 6 : 19-26.
- LIGHT J.M. & KILLEEN I., 1996 (1999). - Cartographie de la répartition des mollusques continentaux dans les Iles Britanniques. *Vertigo*, 6 : 33-40.
- MOENS R., 1991. - Factors affecting *Lymnaea truncatula* populations and related control measures. *J. Med. Appl. Malacol.*, 3 : 79-84.

- ØKLAND J., 1990. - Lakes and snails. Environment and Gastropoda in 1,500 Norwegian lakes, ponds and rivers. Universal Book Services/Dr. W. Backhuys, Oegstgeest, The Netherlands, 516 p.
- RONDELAUD D., 1996 (1999). - Le peuplement malacologique dans les prairies marécageuses sur sol acide. *Vertigo*, 6 : 3-13.
- TAYLOR E.L., 1965. - Fascioliasis and the liver-fluke. *F.A.O. Agricultural Studies*, n° 64, 235 p.
- VAREILLE L., VAREILLE-MOREL C., DREYFUSS G. & RONDELAUD D., 1996. - L'impact de quelques modifications agronomiques sur les caractéristiques des gîtes à limnées dans les prairies marécageuses sur sol acide. *Ann. Limnol.*, 32 : 97-104.
- VAREILLE-MOREL C., DREYFUSS G. & RONDELAUD D., 1999. - The characteristics of habitats colonized by three species of *Lymnaea* in swampy meadows on acid soil : their interest for fasciolosis control. *Ann. Limnol.*, 35 : 173-178.
- VAREILLE-MOREL C., DREYFUSS G. & RONDELAUD D., 2000. - Les habitats des Lymnaeidae sur sol acide. A propos de quelques observations dans la région Limousin de 1970 à 1999. *Vertigo*, sous presse.
- VIMPERE J. & GOYAUD C., 1996 (1999). - L'inventaire des mollusques continentaux de Vendée. *Vertigo*, 6 : 15-17.
- XUEREB F., 2000. - Les différentes espèces de Lymnaeidae dans la Basse-Marche (nord de la Haute-Vienne). Etudes cartographiques, écologiques et parasitologiques. Thèse Doct. Pharmacie, Limoges, 136 p. (sous presse).

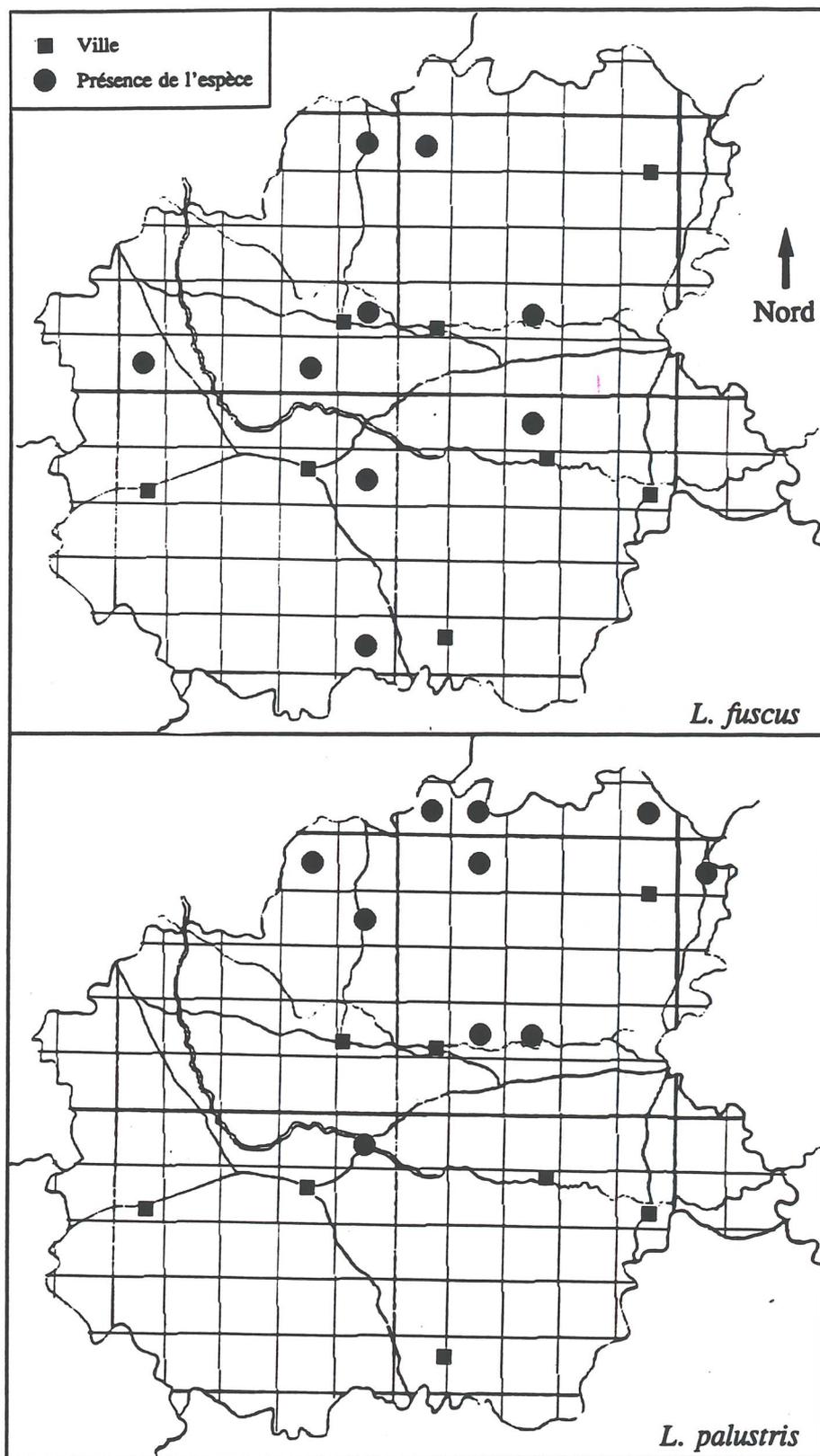


Figure 4. La distribution de *Lymnaea fuscus* et de *L. palustris* dans la Basse-Marche, avec un carroyage de 5 x 5 km.

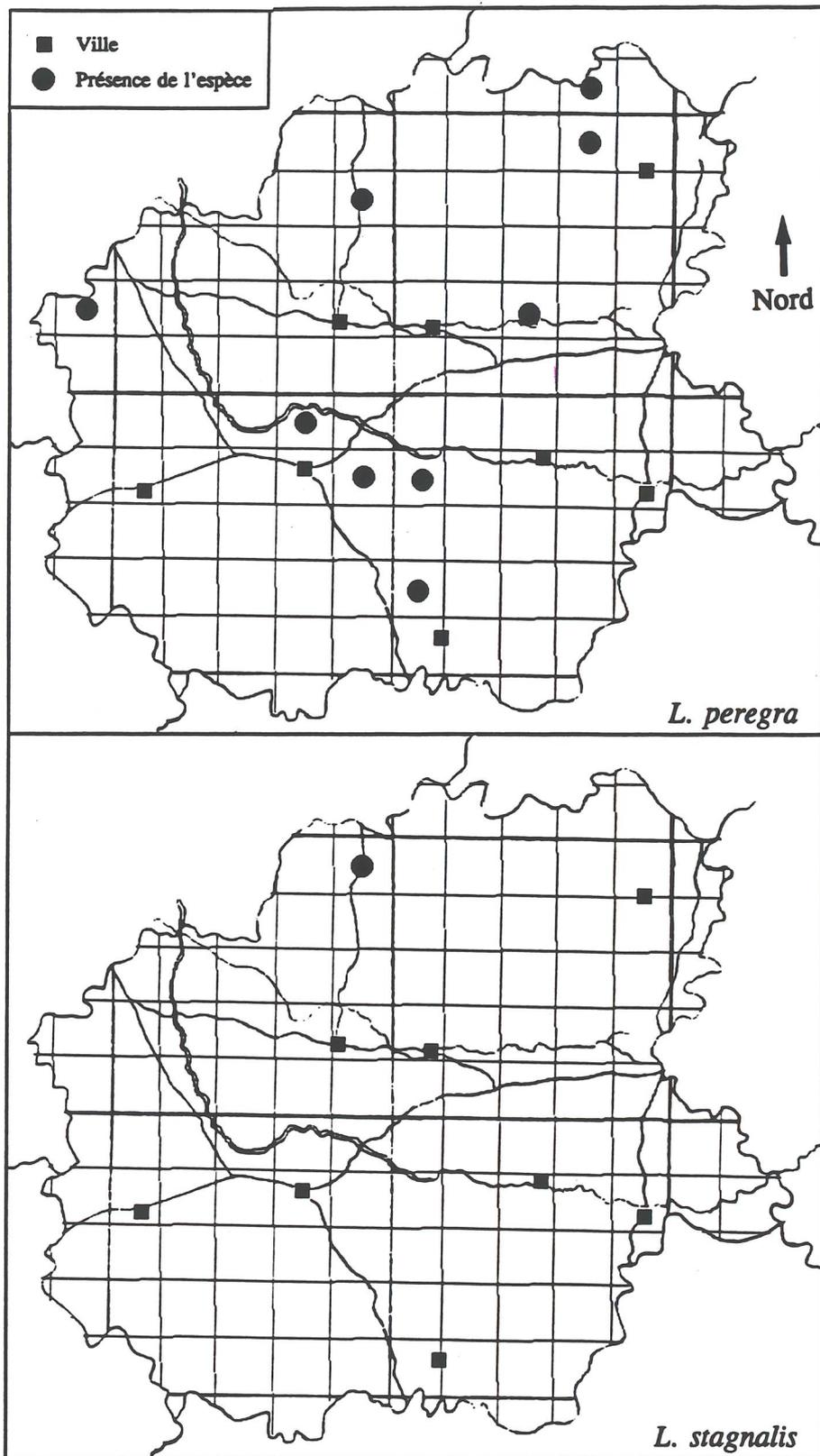


Figure 5. La distribution de *Lymnaea peregra* et de *L. stagnalis* dans la Basse-Marche, avec un carroyage de 5 x 5 km.

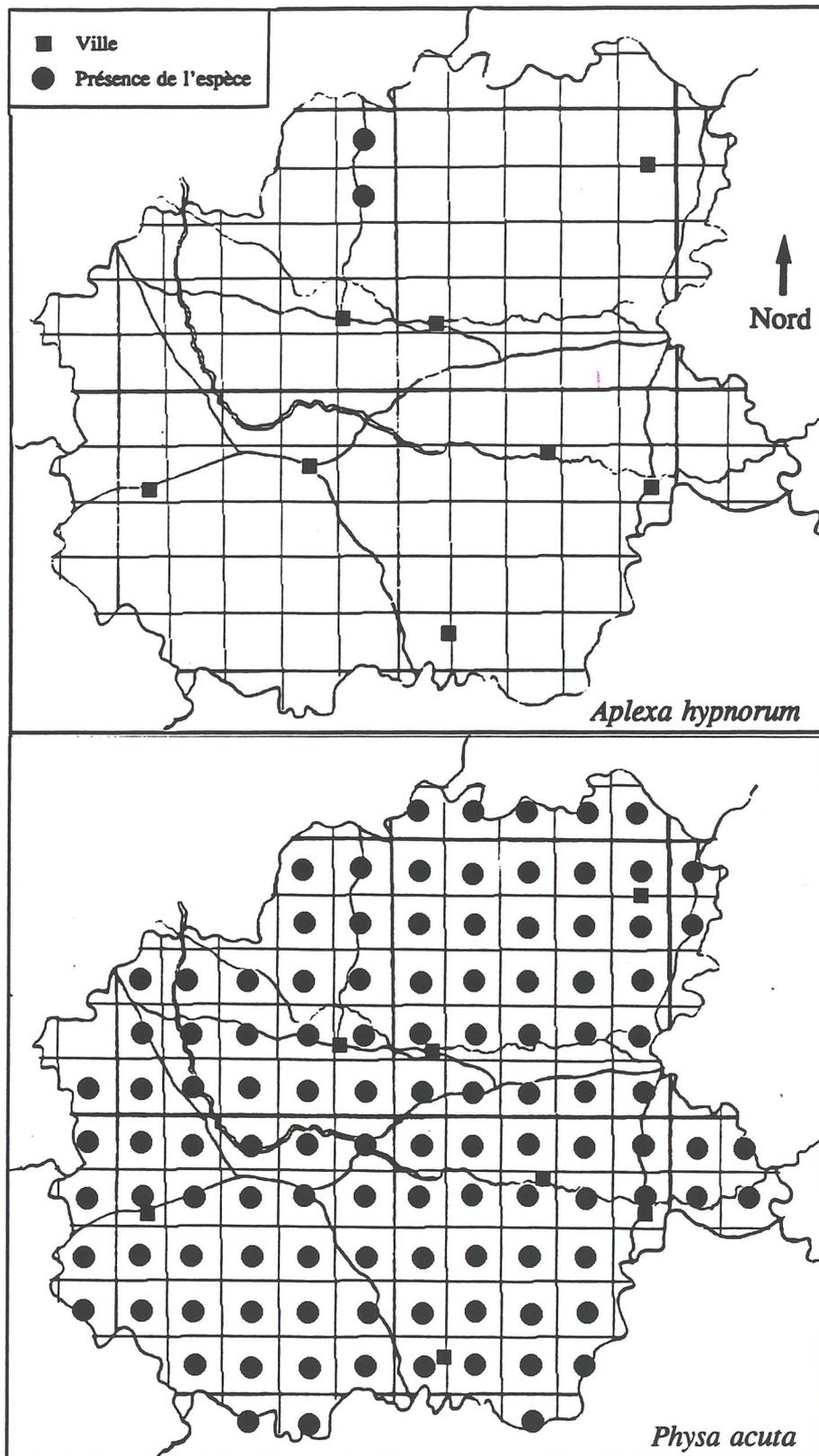


Figure 6. La distribution d'*Aplexa hypnorum* et de *Physa acuta* dans la Basse-Marche, avec un carroyage de 5 x 5 km.

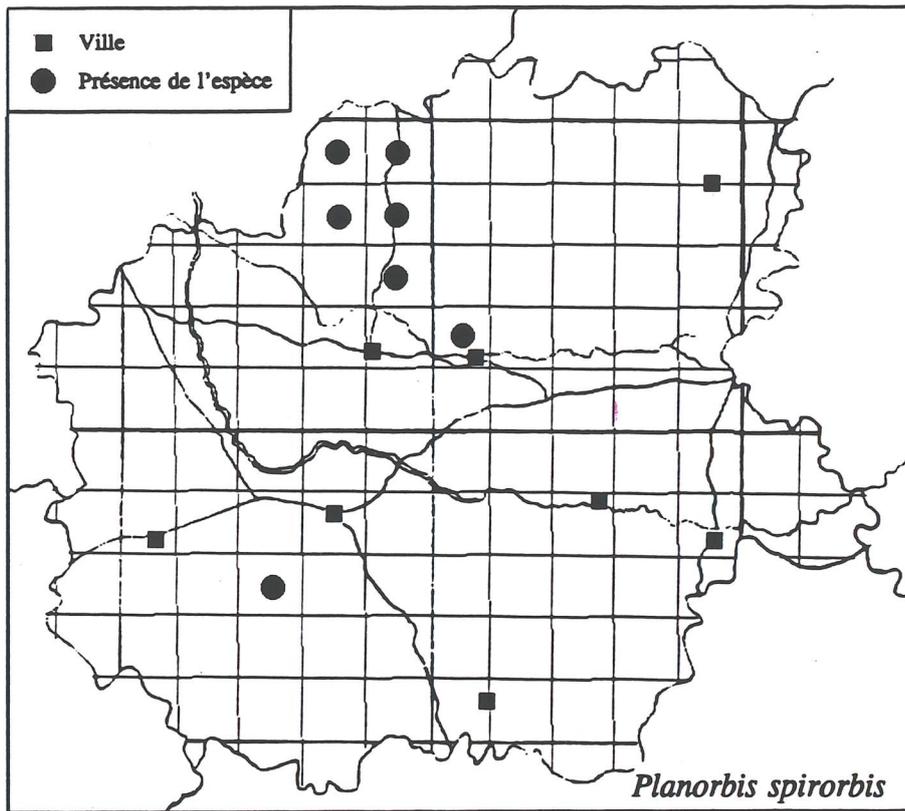


Figure 7. La distribution de *Planorbis spirorbis* dans la Basse-Marche, avec un carroyage de 5 x 5 km.

EVOLUTION COMPAREE DES SOLS DES TAILLIS DE CHÂTAIGNIERS ET DES LANDES SECHES DE LA CHÂTAIGNERAIE LIMOUSINE.

VERGER Jean - Pierre

*Laboratoire de Biologie Végétale et Valorisation des Espèces Ligneuses.
Faculté des Sciences - 123, Avenue A.Thomas, 87060 Limoges Cedex*

RESUME - La composition des sols sous taillis feuillardé de la châtaigneraie limousine est comparée à celle des landes sèches de la même région. Tous les sols ont en commun une forte acidité et une extrême pauvreté en cations. Les sols de landes sont plus riches en ions de l'acidité, ceux sous taillis sont appauvris en azote et en calcium. Cet appauvrissement généralisé des sols du taillis résulte de l'action anthropique. Les pertes sont la conséquence d'exportations massives et répétées d'éléments nutritifs au cours des décennies, voire des siècles passés.

MOTS CLES : Châtaigneraie limousine. Sols. Taillis. Landes sèches. Action anthropique.

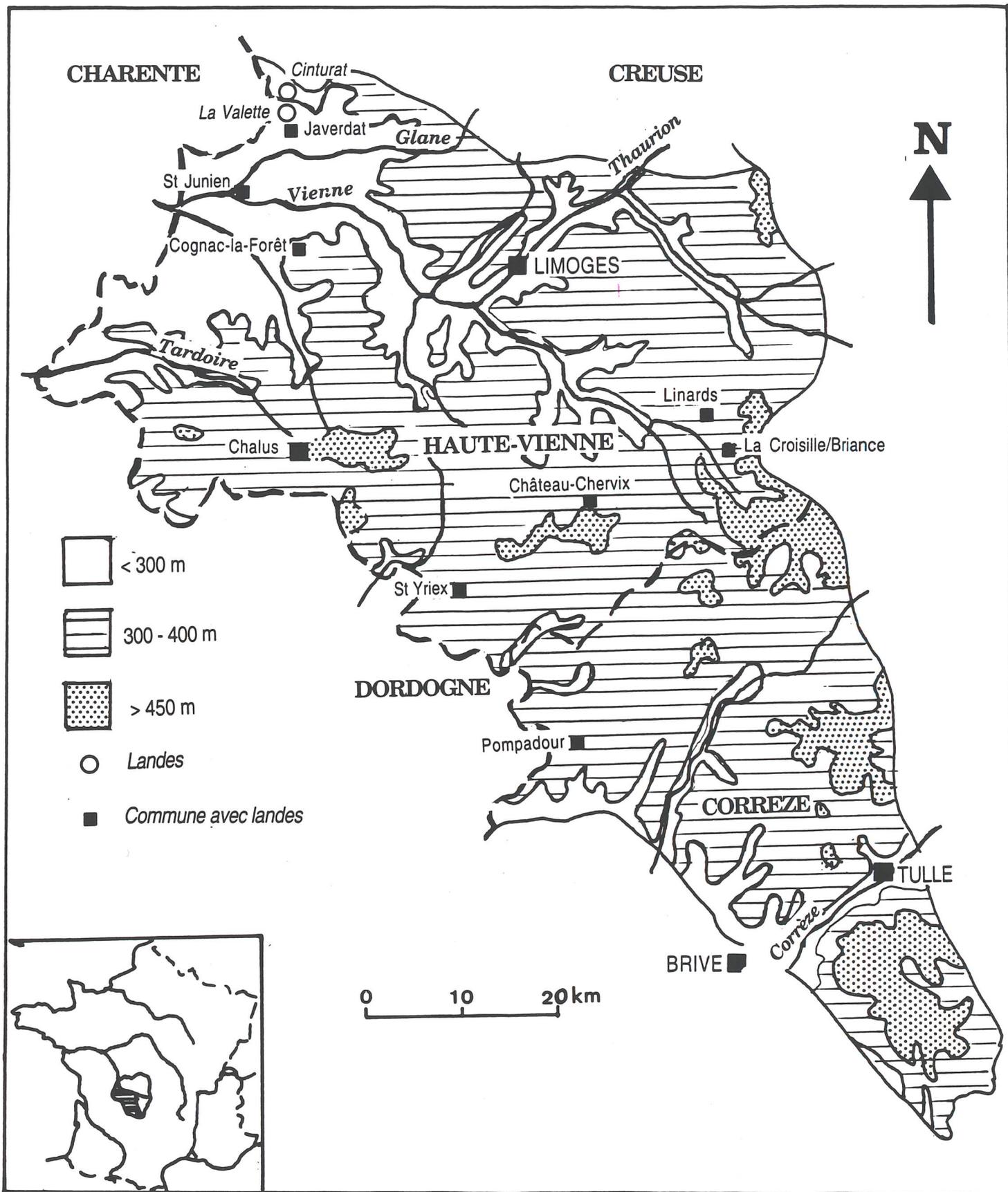
SUMMARY - COMPARATIVE EVOLUTION OF THE SOILS OF CHESNUT COPPICES AND DRY HEATHS IN THE CHESNUT STANDS OF THE LIMOUSIN.

The composition of the soil in the chesnut coppices characterized by a short rotation of the Limousin has been compared to that of the heathlands of the same region. All these soils have in common a strong acidity and are extremely poor in cations. The soils in the heaths are richer in ions of acidity, those of the coppices have comparatively less nitrogen and calcium. This generalized impoverishment of the coppice soils result from human activity. The losses are due to massive and repeated exportations of nutritive elements throughout past decades or even centuries.

KEY WORDS : Chesnut tree stands of the Limousin. Soils. Coppices. Heathlands. Human activity.

INTRODUCTION

Le Limousin est une région à potentialité forestière élevée de par ses conditions climatiques favorables, températures sans excès, humidité régulière et suffisante tout au long de l'année. Le secteur occidental, dénommé "Châtaigneraie Limousine" est le domaine du taillis de châtaigniers. Son implantation, soit sous forme de châtaigneraie fruitière, soit sous forme de taillis, y résulte de l'activité humaine. Son apparition est contemporaine de la régression du hêtre et du chêne, de la quasi-élimination de l'aulne, de l'établissement de prairies permanentes et de cultures céréalières. Elle



Carte 1.- La châtaigneraie limousine

semble, d'après Lemée (1980) avoir débuté avec l'époque subatlantique, le maximum de l'extension du châtaignier correspondant à l'époque gallo-romaine. Les travaux de Belligaud et Fredon (1985) sur des fouilles archéologiques montrent que le châtaignier se trouvait dans le sud-ouest du Limousin au Ier siècle après J.C. L'utilisation de ce bois pour la réduction du minerai de fer laisse supposer un approvisionnement quantitativement important, ce qui laisse à penser l'existence d'une sylviculture sous forme de taillis. Une activité sidérurgique intense s'est maintenue aux confins du Périgord, de l'Angoumois et du Sud-Ouest de la Haute Vienne jusqu'au 19ème siècle. L'exploitation intensive par l'homme s'est prolongée jusqu'après la dernière guerre, avec des coupes à blanc régulières tous les 6 à 15 ans selon la qualité des taillis. C'est ainsi que les plans de l'ancien cadastre de 1839 concernant la Forêt de Boubon montrent qu'à cette époque le taillis couvrait déjà la quasi totalité de la surface. Le recépage a été actif jusqu'à la fin de la guerre de 1945 (communications personnelles de Mr Léonard, de la Mairie de Cussac). Les exportations minérales ont été souvent amplifiées par un balayage annuel des feuilles servant à la confection des litières animales.

Les nombreuses analyses pédologiques concernant ces taillis (Verger *et al.*, 1983, 1985; Verger et Javellaud, 1986; Verger *et al.*, 1993) font ressortir la grande pauvreté des sols sous taillis anciens régulièrement feuillardés. La méthode des Modèles Elémentaires de Transformation (MET) du squelette des sols (Legros, 1982 et 1984), reprise par Verger (1989) pour la Châtaigneraie Limousine, montre également que le châtaignier délaisse les sols marqués par l'hydromorphie.

Dans cette partie du Limousin les landes atlantiques sont localisées sur des surfaces réduites, ce qui accrédite la faible potentialité de leurs sols, dans une région où les enrésinements couvrent des surfaces importantes. Une étude phytosociologique et pédologique particulièrement fine de ces landes a été réalisée par Javellaud (1986a).

A partir des nombreuses données pédologiques dont nous disposons, nous avons donc entrepris une étude comparative de la richesse actuelle des sols de taillis et de landes non hydromorphes du secteur de la Châtaigneraie Limousine afin de rechercher une éventuelle influence anthropique dans la composition chimique actuelle des sols forestiers.

MATERIEL ET METHODES

I.- Le milieu d'étude

La région étudiée se situe dans les secteurs Ouest et Sud-Ouest du Limousin. Cette zone dite de la "Châtaigneraie Limousine" a été définie par le Service de la Carte de la Végétation du C.N.R.S. (Carte n° 1) pour faire l'objet d'une étude de typologie des stations forestières (Javellaud, 1986b). Cette région recouvre une partie des départements de la Haute-Vienne, de la Corrèze et de la Creuse. Elle est limitée par:

- les départements de la Charente et de la Dordogne à l'Ouest et au Sud-Ouest ;
- le bassin de Brive et la rivière Dordogne au Sud ;
- les premiers contreforts du plateau de Millevaches et des Monédières à l'Est ;
- les monts de Blond et d'Ambazac au Nord.

Le climat de la Châtaigneraie Limousine est fortement soumis aux influences atlantiques, caractérisées par un régime pluviométrique de type Hiver - Automne - Printemps - Eté (Vilks, 1991). Une influence montagnarde, marquée par plus de fraîcheur, se manifeste sur les reliefs plus élevés. Une tendance plus continentale apparaît à la limite Est de la région.

Tous les taillis et landes de notre étude reçoivent une quantité d'eau comprise entre 1000 et 1200 mm. Les précipitations d'été représentent 20 % environ du total. Les températures annuelles dépassent 11° C à l'Ouest et s'abaissent faiblement vers l'Est.

De courtes périodes sub-sèches peuvent apparaître dans la région centrale fin Juillet. Le bilan hydrique annuel calculé selon la méthode de Thorntwaite (Javellaud, 1986a) fait apparaître un déficit important qui commence au début du mois de Juillet et se poursuit au mois d'Août dans toute une zone médiane qui s'étend de Rochechouart à St-Yriex-la-Perche. Ce déficit se poursuit jusqu'au début Novembre vers Malemort, au Sud.

Les roches-mères (Tableau 1) appartiennent au socle métamorphique et granitique structuré il y a plus de 300 millions d'années. La composition des roches granitiques et gneissiques communes aux landes et aux taillis de châtaignier reste assez voisine. Elle est caractérisée par l'abondance du quartz, des feldspaths et souvent des micas. Les gneiss leptyniques sont appauvris en calcium et fer.

| ELEMENTS MINERAUX en % | GNEISS CLAIRS | | LEPTYNITES | GNEISS A | LEUCOGRANITE | GRANITE | MICASCHISTES |
|------------------------------|-----------------------|-------|--------------------------------|----------|--------------------------|------------------------------|------------------|
| | type Salon la Tour | | (type Chalus) moy./12 anal. | 2 MICAS | ALCALIN moy /30 anal. | à 2 MICAS type PIEGUT(24) | à SILLIMANITE |
| SiO2 | 71 - 75 | 76,15 | 74,30 | 69,00 | 72,53 | 69,90 - 72,50 | 72 - 73 |
| AL2O3 | 12,50 - 13,50 | 12,55 | 13,20 | 15,20 | 14,74 | 14,60 - 15,50 | 13 - 16 |
| Fe2O3 | 2,10 - 3 | 1,51 | 2,32 | 4,75 | 1,78 | 2,00 - 2,77 | 1,60 - 3,00 |
| MgO | 0,40 - 1 | 0,20 | 0,28 | 1,86 | 0,32 | 0,89 - 1,43 | 1,04 - 0,61 |
| CaO | 1 - 2 | 1,02 | 1,72 | 1,42 | 0,56 | 1,54 - 2,02 | 0,50 - 1,40 |
| Na2O | 2,80 - 3,20 | 3,78 | 3,46 | 2,84 | 3,25 | 3,49 - 3,69 | 2 |
| K2O | 4 - 5 | 3,88 | 3,41 | 2,30 | 5,08 | 3,66 - 3,95 | 2,80 - 3,20 |
| TiO2 | < 0,40 | 0,10 | 0,22 | 0,72 | 0,21 | 0,22 - 0,52 | 0,50 |
| MnO | < 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,03 | 0,04 - 0,08 | 0,09 |
| H2O+ | 0,50 | 0,37 | 0,46 | 2,07 | - | 0,72 - 1,17 | 1,50 - 2,00 |
| Total | 99 - 100 | 99,78 | 99,80 | - | - | - | - |

Tableau 1 - Composition chimique comparée des roches-mères sous châtaigniers et landes (d'après DUTREUIL, 1978 et FLOCH, 1983).

La situation des principales landes est empruntée aux travaux de thèse de Javellaud (Carte n° 1). Ces landes appartiennent aux deux alliances de l'*Ulicion-minoris* et du *Sarothamnion scoparii*. La première est représentée par l'association xérophile de l'*Ulici minoris - Ericetum cinereae* (relevés CF2, C2, J2, L1, CB1 et CB2 du tableau II) dominée par la bruyère cendrée (*Erica cinerea*), l'ajonc nain (*Ulex minor*) et la callune (*Calluna vulgaris*). L'association, plus mésophile, de l'*Ulici minoris scoparietum* (C4) est caractérisée par *Erica scoparia* (la bruyère vagabonde), *Ulex minor* et *Calluna vulgaris*. La seconde alliance, de tendance mésophile sur sol plus profond, est présente par la lande du *Molinio-Pteridetum* Lecoq et Provost (1937), (relevé SY1) caractérisée par *Pteridium*

aquilinum et *Molinia coerulea*, la lande à *Cytisus scoparius* du *Sarothamnetum* (Lecointe et Provost) caractérisée par *Cytisus scoparius* et la Fougeraie (C3) avec *Pteridium aquilinum*, la Fougère aigle.

II. - Techniques d'analyse

Les analyses de sol sont réalisées selon les méthodes préconisées par le Centre C.N.R.S. de Pédologie Biologique de Nancy (Rouiller, 1981).

La mesure électrométrique du pH est effectuée sur un mélange sol/solution de rapport 2/5. La lecture est effectuée sur le surnageant non agité, après mise en contact de 4 heures (pH eau) ou après agitation rotative de une heure et centrifugation (pH KCl).

Les cations basiques échangeables (dont la somme, exprimée en cmolc/kg, est notée S) sont extraits soit par contact d'une nuit suivie d'une percolation à l'acétate d'ammonium molaire pour K^+ et Na^+ , soit par agitation rotative d'une heure dans une solution de KCl molaire pour Ca^{2+} , Mg^{2+} et les ions de l'acidité (Al^{3+} et H^+ , notés Ae). Les protons et l'aluminium sont dosés par voie chimique en titristop (chaîne de titration Schott-Gerate), tous les autres éléments par absorption atomique (Ca, Mg) ou émission (K et Na) (Spectrophotomètre Atomspek Hilger-Watts H 1170).

La sommation des cations basiques échangeables (S) et des ions de l'acidité (Ae) donne la capacité totale d'échange (T) au pH du sol, le tout étant exprimé en cmolc/kg.

Le phosphore est dosé selon la méthode Duchaufour (colorimétrie à 4300 Å d'une solution de l'acide molybdovanadophosphorique). L'azote, extrait par minéralisation à 650°C (Bucchi 425) en milieu sulfurique concentré en présence de catalyseur, est dosé selon la méthode de Kjeldahl.

Les données sont analysées au moyen du test statistique de Kruskal-Wallis, équivalent non paramétrique de l'ANOVA (logiciel Systat).

RESULTATS ET COMMENTAIRES

I - LE BILAN GLOBAL

Les résultats des analyses (Tableaux II et III) traduisent une homogénéité, dans la pauvreté, des nutriments dans les sols sous landes sèches et sous taillis de châtaigniers régulièrement feuillardés.

On remarque la très grande discrétion des cations basiques échangeables, avec souvent moins de 1 cmolc/kg par cation, même dans la couche humifère. La somme de ces cations ne dépasse pas 2 cmolc/kg dans cette couche et chute à 0,5 cmolc/kg dès - 5 cm, au sommet des horizons B (presque exclusivement représentés par un horizon BP plus ou moins affirmé). En conséquence, les ions de l'acidité (Al^{3+} et H^+) saturent la plus grande partie du complexe d'échange : près de 5 cmolc/kg sous taillis à 6,4 cmolc/kg sous lande dans les horizons A, de 2,5 cmolc/kg à près de 4 cmolc/kg dans les mêmes conditions pour les horizons B et C. Si cette acidité est logiquement liée à la nature de la végétation à base d'Ericacées sous la lande, il n'est pas possible d'attribuer à la décomposition de la feuille de châtaignier une telle acidification du sol sous taillis.

| ROCHE | GNEISS LEPTINIQUES | | | GNEISS PLAGIOCLASTIQUES | | | GNEISS POMPADOUR | | | LEUCO-LEPTY GRANITE à 2 MICAS | | | GNEISS ISO GRANULAIRE | | Moyenne | Ecart type | Médiane | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------|------|------|-------------------------|------|------|------------------|------|-------|-------------------------------|------|------|-----------------------|------|---------|------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Ca | A | 0,20 | 0,06 | 0,18 | 0,24 | 0,17 | 0,45 | 0,38 | 0,20 | 0,77 | 1,13 | 0,52 | 0,45 | 0,44 | 0,62 | 0,10 | 0,18 | 0,17 | 0,03 | 0,04 | 0,58 | 0,33 | 0,18 | 0,28 | 0,21 | 0,33 | 0,26 | 0,24 | |
| | B | 0,09 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,22 | 0,14 | 0,35 | 0,09 | 0,14 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | - | - | 0,19 | 0,13 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | |
| | C | 0,06 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,09 | 0,31 | 0,09 | 0,08 | 0,26 | 0,14 | 0,11 | 0,07 | 0,12 | 0,23 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,01 | 0,09 | 0,15 | 0,09 | 0,08 | 0,06 |
| Mg | A | 0,58 | 0,30 | 0,38 | 0,45 | 0,38 | 1,13 | 0,50 | 0,38 | 1,17 | 0,80 | 0,63 | 0,69 | 0,49 | 1,33 | 0,96 | 1,42 | 1,44 | 1,01 | 0,27 | 0,78 | 1,34 | 0,99 | 0,84 | 0,84 | 0,79 | 0,37 | 0,63 | |
| | B | 0,19 | 0,04 | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,25 | 0,12 | 0,10 | 0,26 | 0,12 | 0,34 | 0,26 | 0,11 | 0,17 | 0,06 | 0,60 | 0,52 | 0,24 | 0,07 | 0,10 | - | - | 0,45 | 0,43 | 0,21 | 0,16 | 0,17 | |
| | C | 0,10 | 0,06 | 0,11 | 0,07 | 0,06 | 0,49 | 0,08 | 0,09 | 0,25 | 0,10 | 0,17 | 0,38 | 0,11 | 0,23 | 0,06 | 0,56 | 0,47 | 0,31 | 0,06 | 0,12 | 0,56 | 0,14 | 0,40 | 0,53 | 0,23 | 0,18 | 0,12 | |
| K | A | 0,55 | 0,52 | 0,55 | 0,65 | 0,48 | 0,65 | 0,63 | 0,71 | 0,64 | 0,62 | 0,48 | 0,75 | 0,44 | 0,64 | 0,46 | 0,29 | 0,48 | 0,57 | - | 0,61 | - | - | - | - | - | 0,56 | 0,11 | 0,57 |
| | B | 0,20 | 0,12 | 0,29 | 0,19 | 0,10 | 0,12 | 0,32 | 0,09 | 0,26 | 0,23 | 0,35 | 0,30 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,04 | - | 0,13 | - | - | - | - | - | 0,19 | 0,08 | 0,19 |
| | C | 0,10 | 0,09 | 0,17 | 0,15 | 0,06 | 0,08 | 0,18 | 0,07 | 0,22 | 0,15 | 0,20 | 0,35 | 0,11 | 0,15 | 0,26 | 0,14 | 0,24 | 0,20 | - | 0,06 | - | - | - | - | - | 0,15 | 0,07 | 0,15 |
| Ae | A | 7,80 | 5,88 | 4,25 | 1,97 | 7,64 | 3,92 | 5,28 | 10,66 | 2,28 | 1,30 | 3,90 | 3,92 | 3,20 | 5,88 | 4,65 | 3,25 | 3,65 | 6,15 | 4,68 | 5,05 | 4,92 | 4,18 | 3,60 | 4,28 | 4,68 | 2,01 | 4,28 | |
| | B | 2,60 | 1,96 | 2,61 | 2,09 | 2,46 | 1,96 | 3,33 | 2,20 | 2,00 | 1,63 | 2,20 | 1,96 | 1,73 | 2,55 | 3,60 | 2,40 | 2,80 | 3,30 | 1,72 | 2,27 | - | - | 1,50 | 2,80 | 2,35 | 0,56 | 2,46 | |
| | C | 1,96 | 2,61 | 2,30 | 1,30 | 1,97 | 1,63 | 3,38 | 2,35 | 2,26 | 1,93 | 2,50 | 1,30 | 1,73 | 2,60 | 5,20 | 1,00 | 3,40 | 3,65 | 3,97 | 2,70 | 4,27 | 2,39 | 2,80 | 1,50 | 2,53 | 1,02 | 2,70 | |
| Vsol | A | 16,6 | 11,2 | 23,1 | 35,9 | 12,8 | 33,4 | 26,9 | 12,1 | 43,8 | 59,5 | 30,6 | 32,2 | 30,3 | 32,5 | 23,9 | 34,7 | 35,1 | 20,5 | 6,4 | 31,6 | 24,8 | 21,5 | 23,0 | 18,0 | 26,70 | 11,60 | 24,80 | |
| | B | 17,8 | 10,2 | 18,6 | 16,7 | 12,7 | 16,9 | 18,6 | 16,7 | 23,8 | 24,1 | 34,8 | 31,5 | 20,0 | 24,2 | 8,6 | 24,4 | 21,1 | 8,9 | 12,4 | 16,8 | - | - | 25,0 | 16,0 | 19,40 | 7,10 | 18,60 | |
| | C | 13,2 | 6,6 | 14,7 | 20,0 | 18,7 | 21,2 | 12,5 | 13,1 | 18,1 | 20,9 | 19,8 | 44,7 | 18,6 | 26,9 | 6,6 | 39,6 | 17,9 | 12,6 | - | 13,6 | 13,6 | 5,2 | 29,0 | 26,0 | 18,80 | 9,60 | 18,60 | |
| PH eau | A | 4,1 | 3,9 | 4,9 | 5,2 | 4,0 | 4,7 | 4,6 | 3,7 | 4,8 | 5,0 | 4,6 | 4,9 | 4,7 | 4,5 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,4 | 4,1 | 4,6 | 3,9 | 4,3 | 4,6 | 4,7 | 4,52 | 0,39 | 4,70 | |
| | B | 4,8 | 5,1 | 5,0 | 5,3 | 4,8 | 4,9 | 4,7 | 4,8 | 5,0 | 5,2 | 5,1 | 5,2 | 5,0 | 4,8 | 5,1 | 5,3 | 5,2 | 5,1 | 4,7 | 5,0 | - | - | 5,2 | 4,6 | 5,00 | 0,19 | 5,00 | |
| | C | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 5,1 | 5,6 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,5 | 5,2 | 5,2 | 4,7 | 5,0 | 4,2 | 4,6 | 5,6 | 5,1 | 5,00 | 0,31 | 5,00 | |
| PH | A | 3,8 | 3,9 | 4,1 | 4,3 | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 3,5 | 4,0 | 4,3 | 3,9 | 4,2 | 4,0 | 3,7 | 4,0 | 3,8 | 4,0 | 3,7 | 3,9 | 3,7 | 3,9 | 3,9 | 4,2 | 4,2 | 3,96 | 0,21 | 4,00 | |
| | B | 4,6 | 4,6 | 4,7 | 4,6 | 4,7 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,5 | 4,2 | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,7 | 4,6 | - | - | 4,7 | 4,5 | 4,55 | 0,12 | 4,60 | |
| | C | 4,6 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,4 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,9 | 4,4 | 4,8 | 4,5 | 4,7 | 4,5 | 4,5 | 4,2 | 4,5 | 4,3 | 4,6 | 4,54 | 0,21 | 4,50 | |
| P205 | A | 0,14 | - | 0,13 | 0,22 | - | - | 0,04 | 0,23 | 0,18 | 0,25 | 0,22 | - | - | 0,17 | 0,22 | 0,11 | 0,10 | 0,13 | - | - | - | - | - | - | - | 0,14 | 0,07 | 0,17 |
| | B | 0,16 | - | 0,09 | 0,10 | - | - | 0,03 | 0,09 | 0,16 | 0,21 | 0,18 | - | - | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | - | - | - | - | - | - | - | 0,10 | 0,06 | 0,09 |
| | C | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| N% | A | 0,56 | 0,67 | 0,31 | 0,30 | 0,53 | 0,48 | 0,30 | 0,93 | 0,30 | 0,27 | 0,37 | 0,44 | 0,32 | 0,64 | 0,49 | 0,20 | 0,18 | 0,33 | - | 0,40 | - | - | - | - | 0,42 | 0,18 | 0,37 | |
| | B | 0,03 | 0,08 | 0,14 | 0,05 | 0,14 | 0,03 | 0,14 | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | - | 0,09 | - | - | - | - | 0,07 | 0,04 | 0,06 | |
| | C | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,04 | - | 0,02 | 0,02 | - | 0,02 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Gneiss leptyniques et plagioclastiques(Chalus): VERGER et al., 1983 - Gneiss Pompadour: VERGER & JAVELLAUD, 1986 - Leucogranites, Granite à 2 micras : VERGER et al., 1993.- Leptynites : Chatelus 1987 - Ca, Mg, K et Ae en cmolc/kg.

Tableau II. - Composition des sols sous taillis de châtaignier dans la châtaigneraie limousine.

Pour le calcium, tant sous les landes que sous les châtaigniers (tableau IV), les sols se situent dans la très grande majorité des cas sous le seuil de pauvreté défini par Bonneau (1995). Dans les mêmes conditions, les teneurs en magnésium sont en limite de ce seuil, ou légèrement en-dessus pour le potassium.

Les pH sont toujours très acides en surface (pH_{eau} compris entre 4,2 et 4,5 respectivement sous lande et sous taillis) comme en profondeur (pH de 5). Dans les deux cas, les pH_{KCl} confirment cette acidité : $\text{pH} < 4$ dans les couches humifères, de l'ordre de 4,5 dans les autres horizons, avec présence de protons dans les horizons A, protons qui apparaissent à $\text{pH} < 4,2$ selon Penel (1979). A ces basses valeurs du pH, l'aluminium est présent dans les sols sous ses formes hydroxylées monomères les plus toxiques pour la végétation (Ciaccio, 1973), (Figure 1).

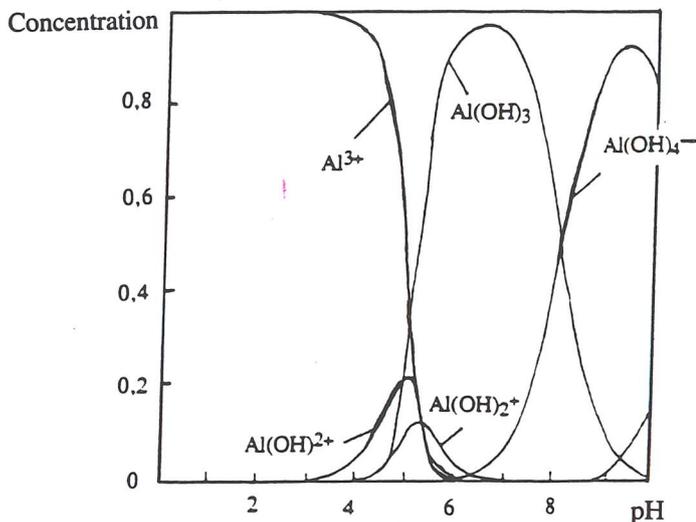


Figure 1.- Répartition des espèces hydroxylées monomères de l'aluminium en fonction du pH $\text{Al total} = 10^{-4} \text{ Mol.L}^{-1}$ (Ciaccio, 1973).

Les sols sont des ALOCRISOLS (selon la nomenclature du Référentiel pédologique de Baize et Girard, 1995) souvent à tendance ocrique (= sols bruns désaturés de la C.P.C.S.) ou des PODZOSOLS OCRIQUES jeunes sous taillis de châtaignier, des PODZOSOLS OCRIQUES (= sols bruns cryptopodzoliques de la C.P.C.S.) ou des LUVISOLS-REDOXISOLS (= Sols bruns lessivés sur pseudogley de la C.P.C.S.) sous landes.

II - LE BILAN DE DETAIL

La couche humifère des sols sous taillis est toujours très mince, le plus souvent d'une épaisseur inférieure à 4 cm. La litière de feuilles, bogues et branchages se juxtapose à l'horizon A, donnant des humus de type moder (hémimoder à eumoder) à couche d'humus fin (couche OH) souvent discontinue.

Le calcium, qui représente le cation cardinal des sols, est particulièrement déficitaire dans l'horizon humifère. Les teneurs sont, le plus souvent, inférieures à 0,3 cmolc/kg. Dès l'horizon B, Ca est pratiquement absent de ces sols. Dans ce cortège de faibles valeurs, la nature de la roche-mère influe sur la teneur en calcium. Les horizons minéraux des roches les plus acides (gneiss leptyniques) sont les plus dépourvus (de 0,01 à 0,10 cmolc/kg) alors que la présence d'éléments noirs et de plagioclases dans la roche (gneiss plagioclasiques, granites) apporte des teneurs supérieures à 0,10 cmolc/kg. Les rotations du taillis se faisaient respectivement à 6 ans et 15-20 ans selon la nature de la

| ELEMENT | ROCHE | LEUCOGRANITE | | GRANITE à BIOTITE | | | | | | GNEISS | | | Moyen- ne | Ecart- type | Médiane |
|---------|---------|--------------|-------|-------------------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------------|----------------|---------|
| | HORIZON | CF1 | CF2 | A1 | C2 | J2 | SY1 | C3 | C4 | L1 | CB1 | CB2 | | | |
| Ca | A | 0,08 | 1,20 | 1,76 | 0,29 | 0,08 | 0,34 | 0,28 | 0,43 | 0,25 | 0,87 | 1,78 | 0,67 | 0,64 | 0,34 |
| | B | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,13 | 0,18 | 0,06 | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,05 | 0,10 |
| | C | 0,07 | 0,04 | - | - | - | 0,07 | 0,26 | - | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,08 |
| Mg | A | 0,10 | 0,26 | 0,56 | 0,53 | 0,21 | 0,49 | 0,39 | 0,85 | 0,22 | 0,30 | 0,85 | 0,43 | 0,25 | 0,53 |
| | B | 0,07 | 0,10 | 0,16 | 0,06 | 0,06 | 0,13 | 0,26 | 0,49 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,15 | 0,13 | 0,12 |
| | C | 0,08 | 0,04 | - | - | - | 0,19 | 0,39 | - | 0,20 | 0,11 | 0,27 | 0,18 | 0,12 | 0,19 |
| K | A | 0,20 | 0,91 | 0,23 | 0,20 | 0,23 | 0,49 | 0,61 | 0,57 | 0,37 | 0,55 | 0,40 | 0,43 | 0,24 | 0,40 |
| | B | 0,06 | 0,14 | 0,13 | 0,02 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,14 | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,05 | 0,12 |
| | C | 0,05 | 0,14 | - | - | - | 0,06 | 0,08 | - | 0,14 | 0,18 | 0,11 | 0,11 | 0,05 | 0,11 |
| Ae | A | 4,40 | 9,20 | 5,35 | 5,25 | 8,80 | 4,56 | 5,28 | 8,06 | 7,8 | 7,60 | 4,60 | 6,44 | 1,84 | 5,35 |
| | B | 3,30 | 3,80 | 4,30 | 3,20 | 3,95 | 4,04 | 6,08 | 3,28 | 3,15 | 3,20 | 3,95 | 3,84 | 0,85 | 3,80 |
| | C | 2,42 | 3,85 | - | - | - | 5,10 | 5,87 | - | 2,60 | 1,85 | 2,50 | 3,45 | 1,52 | 2,60 |
| Vsol | A | 8,00 | 31,30 | 32,30 | 31,3 | 12,3 | 21,90 | 19,30 | 18,70 | 9,70 | 15,50 | 40,00 | 21,80 | 10,50 | 21,90 |
| | B | 5,50 | 7,00 | 8,20 | 6,10 | 3,10 | 7,10 | 6,90 | 17,90 | 9,50 | 11,10 | 9,00 | 8,30 | 3,83 | 8,20 |
| | C | 7,60 | 5,30 | - | - | - | 10,90 | 11,00 | - | 13,90 | 16,70 | 16,00 | 11,60 | 4,23 | 11,00 |
| pHeau | A | 4,70 | 3,90 | 4,10 | 4,00 | 3,80 | 4,90 | 4,70 | 4,10 | 4,00 | 4,20 | 4,4 | 4,25 | 0,37 | 4,10 |
| | B | 4,90 | 5,10 | 4,50 | 5,00 | 4,60 | 4,90 | 4,90 | 5,20 | 4,75 | 4,20 | 4,6 | 4,84 | 0,22 | 4,90 |
| | C | 5,00 | 4,80 | - | - | - | 5,30 | 5,30 | - | 4,90 | 4,90 | 5,2 | 5,05 | 0,20 | 5,00 |
| pHKCl | A | 4,30 | 3,00 | 3,80 | 3,25 | 3,00 | 0,00 | 3,50 | 3,50 | 3,90 | 4,00 | 4,1 | 3,97 | 0,50 | 3,80 |
| | B | 4,40 | 4,60 | 4,50 | 4,60 | 4,25 | 4,50 | 4,30 | 4,20 | 4,40 | 4,60 | 4,5 | 4,44 | 0,14 | 4,60 |
| | C | 4,40 | 4,50 | - | - | - | 4,50 | 4,30 | - | 4,45 | 4,70 | 4,6 | 4,49 | 0,13 | 4,50 |
| P205% | A | 0,34 | 0,14 | 0,13 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,02 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,10 |
| | B | 0,28 | 0,07 | 0,10 | 0,03 | 0,06 | 0,18 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| | C | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,05 | - | 0,05 | - | - | - |
| N% | A | 0,23 | 1,16 | 0,66 | 0,67 | 0,90 | 0,33 | 0,46 | 1,21 | 0,91 | 0,69 | 0,71 | 0,72 | 0,31 | 0,71 |
| | B | 0,06 | 0,13 | 0,28 | 0,09 | 0,06 | 0,17 | 0,03 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,18 | 0,11 | 0,08 | 0,13 |
| | C | 0,02 | 0,02 | - | - | - | 0,02 | 0,02 | - | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |

Ca, Mg, K et Ae en cmolc/kg

CF1 et CF2 (Cognac la Forêt) : Sol brun acide à *Cytisus scoparius*, *Calluna vulgaris*.- Sol podzolique à *Ulex minor*. A1 (Augne) : Sol ocre podzolique; C2 (Cinturat) et J2 (Javerdat, la Valette) : Sol podzolique les trois à *Erica cinerea*, *Ulex minor*, *Calluna vulgaris*.- SY1 (St Yriex, la Ribière) : Sol brun acide à *Pteridium aquilinum*, *Molinia coerulea*.- C3 (Cinturat) : Sol lessivé sur pseudogley, à *Pteridium aquilinum*.- C4 (Cinturat) : Sol lessivé à *Ulex minor*, *Calluna vulgaris*, *Erica tetralix*, *Molinia coerulea*. L1 (Linard, les Puits), CB1 et CB2 (La Croisille/Briance, Puy Pouyol) : Sol brun cryptopodzolique à *Erica cinerea* et *Ulex minor*.

N.B. : nomenclature des sols selon la classification C.P.C.S.

Tableau III.- Composition chimique des sols sous landes sèches de la châtaigneraie limousine.

| Horizon | Type de sol | K cmolc/kg | Ca cmolc/kg | Mg cmolc/kg |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Horizons humifères | Sols à châtaigniers médiane | 0,29 à 0,75 0,57 | 0,03 à 1,13 0,24 | 0,27 à 1,44 0,63 |
| | Sols de landes médiane | 0,20 à 0,91 0,4 | 0,08 à 1,76 0,34 | 0,10 à 0,60 0,53 |
| | Seuil de pauvreté | < 0,4 | < 1,0 | < 0,6 |
| | Horizons minéraux | Sols à châtaigniers médiane | 0,06 à 0,35 0,17 | 0,01 à 0,31 0,07 |
| Sols de landes médiane | | 0,02 à 0,15 0,11 | 0,02 à 0,26 0,09 | 0,04 à 0,39 0,15 |
| Seuil de pauvreté | | < 0,12 | < 0,30 | < 0,15 |

Tableau IV.- Concentrations en K, Ca et Mg des sols des taillis de châtaigniers et des landes sèches de la Châtaigneraie Limousine.

roche. Les sols de landes montrent une teneur moyenne deux fois plus forte (0,67 cmolc/kg avec un écart-type élevé de 0,64). La valeur médiane (0,34 cmolc/kg) reste très supérieure à celle des sols du taillis (0,24 cmolc/kg). Une comparaison avec des analyses de sols forestiers et de landes de la région d'Eymoutiers (de 1,6 à 4,5 cmolc/kg) (Dejou *et al.*, 1968; Nys, 1973) confirme cette pauvreté en calcium des sols sous taillis régulièrement feuillardés. Le test de Kruskal-Wallis ne montre pas une différence significative entre les teneurs en Ca des sols sous les taillis et sous les landes au-delà d'un seuil de 12 %. Si l'on exclut les deux valeurs les plus extrêmes (1,13 cmolc/kg sous taillis et 0,08 cmolc/kg sous landes) la différence est significative au seuil de 1,2 %. Par contre l'ANOVA réalisée sur l'ensemble des données montre que la différence dans les taux de calcium est significative entre les deux milieux (fig.2). On peut donc retenir que les sols de landes doivent être considérés comme significativement plus riches en calcium que ceux du taillis.

Le magnésium représente le cation basique dominant de tous les horizons des sols sous taillis. Même si les teneurs sont faibles (moyenne de 0,79 cmolc/kg +/- 0,37, valeur médiane de 0,63 cmolc/kg) elles sont un peu supérieures à celles des sols de landes (moyenne de 0,45 cmolc/kg +/- 0,26, valeur médiane de 0,53 cmolc/kg). La différence est fortement significative entre les deux milieux au seuil de 1 % et l'ANOVA confirme cette différence (fig.2).

Le potassium suit une répartition analogue à celle du magnésium. Ce cation est un peu plus présent sous taillis (moyenne de 0,56 cmolc/kg +/- 0,11, valeur médiane de 0,57 cmolc/kg) que dans les sols de landes (moyenne de 0,43 cmolc/kg +/- 0,24, valeur médiane de 0,40 cmolc/kg). Les différences entre les deux milieux ne sont pas significatives.

Les teneurs en P₂O₅ (0,14 cmolc/kg, valeur médiane de 0,17 cmolc/kg) sous taillis, (0,11 cmolc/kg, valeur médiane de 0,10 cmolc/kg) sous landes, sont analogues. Elles restent, de toute façon, très déficitaires comme dans la plupart des sols du Limousin. Comme pour le cation précédent les différences ne sont pas significatives entre landes et taillis.

L'azote représente l'autre élément majeur de la nutrition des plantes plus déficitaire dans les sols de taillis. Les valeurs sont de près de 60 % inférieures à celles des sols de landes : 0,42 % (valeur médiane de 0,37) pour les premiers, 0,72 % (valeur médiane de 0,71 %) pour les seconds. Les teneurs en azote sont significativement différentes entre les taillis et les landes au seuil de 0,6 %.

A l'inverse des cations, l'importance des ions de l'acidité sous les sols de landes traduit nettement le rôle d'une matière organique riche en Ericacées, dont la pauvreté en azote et les propriétés acidifiantes sont bien connues. La différence avec les sols du taillis est significative au seuil de 1% dans l'humus. Cette différence dans l'importance des ions de l'acidité se poursuit de façon hautement significative (< 0,01%) jusque dans l'horizon B (fig. 3).

CONCLUSION

Selon Bonneau (1993), des insuffisances d'alimentation minérale extrêmement variées ont été mises en évidence en forêt. Si les grands types de carence s'organisent en fonction des grandes conditions géopédoclimatiques en un lieu donné, la richesse initiale de la roche-mère, l'âge du sol, le type de matériel parental ainsi que l'histoire de l'écosystème conditionnent les possibilités

CHATAIGNERAIE LIMOUSINE

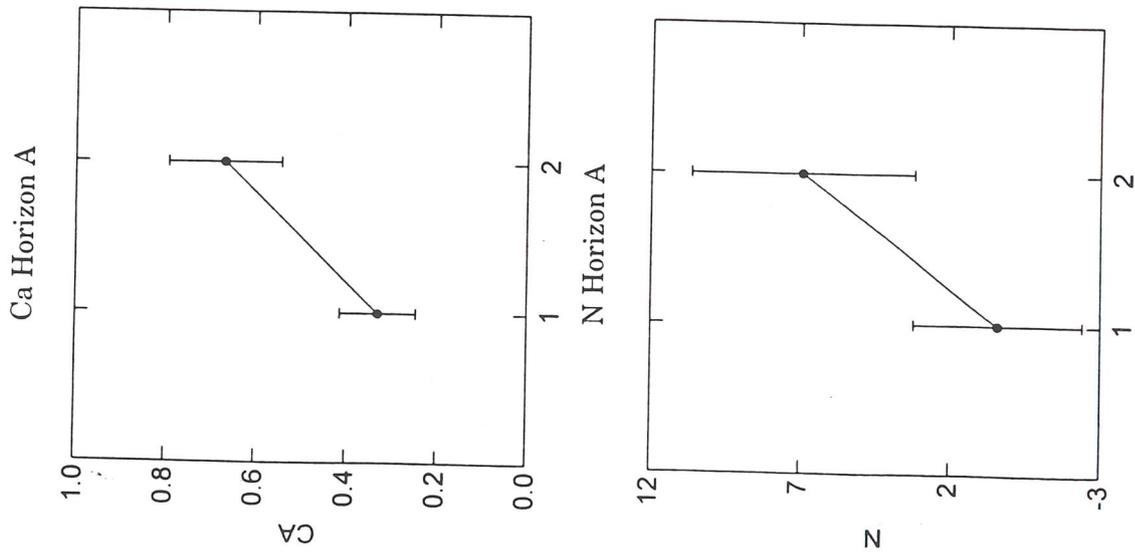


Figure 2.- Variations comparées du Calcium, du Magnésium et de l'Azote au sein de l'horizon humifère sous taillis de châtaigniers (1) et landes sèches (2).

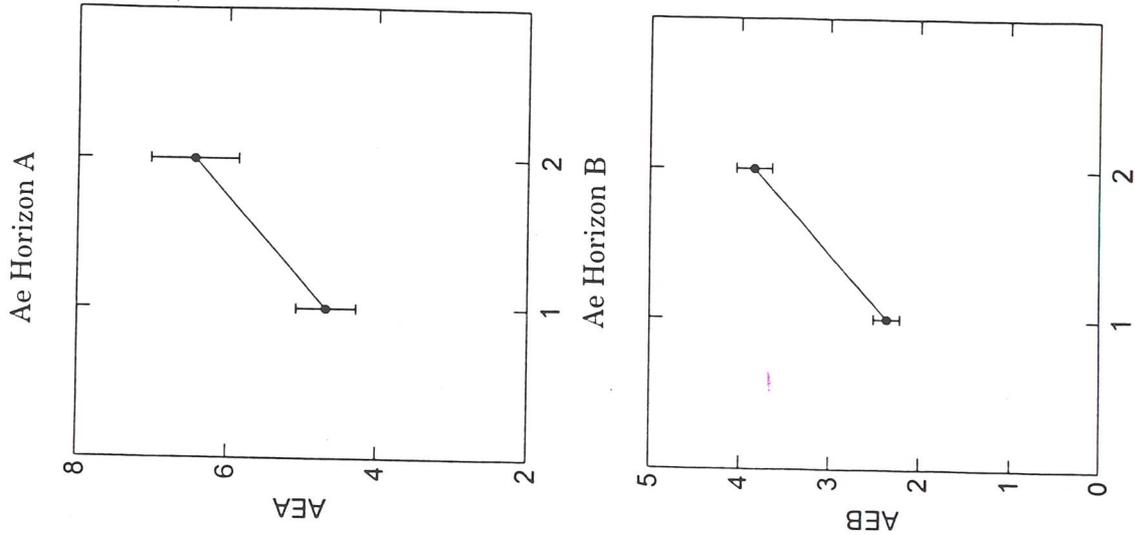


Figure 3.- Variations comparées des ions de l'acidité (Ae) sous taillis de châtaigniers (1) et landes sèches (2).

d'alimentation minérale.

Bouchon *et al.* (1986), dans une étude sur la "Mise en valeur des taillis classiques" de châtaignier répartis entre Limoges (87) et Parthenay (79) avaient montré que les stations sur roches-mères cristallines acides de Parthenay et Chalus (incluant donc notre zone d'étude) étaient pauvres et que la production pouvait être corrélée à des paramètres de fertilité du sol comme le taux de saturation (Vsol) dans l'horizon humifère et le rapport Al/Ca. Les mesures concernant l'immobilisation moyenne des éléments minéraux par les taillis adultes (Tableau V) font ressortir la forte immobilisation de l'azote (de l'ordre de 7 kg/ha/an) et surtout du calcium (6 à 12 kg/ha/an) (bien que le châtaignier soit calcifuge) par rapport aux autres minéraux (3 à 3,6 kg pour K, 1,5 à 3,1 kg pour Mg et seulement 0,4 à 0,5 kg pour P₂O₅).

| SITUATION | AGE en ans | MINERALOMASSE | | | | |
|---------------------------------------|------------------|---|------|------|-------|------|
| | | Immobilisation moyenne en Kg/ ha-1/ an -1 | | | | |
| | | N | P | K | Ca | Mg |
| MEZIERES/ISSOIRE (87) : Bois St Anne | 28 | 7,20 | 0,39 | 3,30 | 9,80 | 2,00 |
| La ROCHE L'ABEILLE (87) : La Traverse | 24 | 7,20 | 0,41 | 3,60 | 6,10 | 2,20 |
| CHALUS (87) : Forêt des Cars | 23 | 7,10 | 0,37 | 3,60 | 7,70 | 1,50 |
| RUFFEC (16) : Les Adjots | 23 | 7,50 | 0,47 | 3,50 | 12,90 | 3,10 |
| LEZAY (79) : Bois de la Foye | 22 | 6,30 | 0,37 | 3,00 | 7,50 | 1,70 |

Tableau V.- Immobilisation moyenne d'éléments minéraux dans les taillis simples adultes de châtaignier (d'après Bouchon *et al.*, 1986).

L'exportation régulière et longtemps totale, car comprenant aussi la litière (teneur en calcium de l'ordre de 1,6 mg/g de matière sèche dans les feuilles de taillis de 5 ans à 1,2 mg/g de matière sèche dans les feuilles de taillis de 25 ans selon Chatelus, 1987) et les branches, par la pratique du feuillardage est fort préjudiciable à l'équilibre de fertilité du sol. Le calcium est l'élément le plus prélevé mais très peu recyclé en raison de l'enlèvement des litières, alors que la mobilisation chimique du minéral dans la roche est réduite en raison de sa faible présence. Les apports atmosphériques estimés à 5,6 kg/ha/an en forêt de Chalus par Chatelus, ne compensent pas les pertes. Il en résulte un appauvrissement du sol du taillis en cet élément. Des éléments comme le phosphore, naturellement déficitaire sur les roches cristallines, sont aussi très concernés par les exportations. Les analyses récentes sur la fertilité des sols forestiers landais (Trichet *et al.*, 1999) montrent que, pour l'azote, "le non renouvellement de la ressource par fertilisation.....laisse entrevoir un appauvrissement progressif des réserves azotés au fur et à mesure des rotations". Cette répétitivité des prélèvements par l'homme, sur une très longue durée, a conduit à un épuisement des sols des taillis feuillardés et à l'apparition d'aluminium échangeable en grande quantité, aluminium dont la nocivité en matière forestière est bien connue. Il en résulte aussi un déséquilibre dans la nutrition minérale (Ca²⁺ étant loin derrière Mg²⁺ et K⁺). Selon Ranger et Colin-Belgrand (1996), il est clair que l'association de courtes rotations et l'exportation totale de l'arbre représente la combinaison la plus défavorable pour le bon fonctionnement de l'écosystème taillis. L'intervention humaine a donc ramené la fertilité déjà

naturellement faible de ces sols forestiers à un niveau comparable, et même inférieur pour le calcium et l'azote, à celui d'une lande sèche à bruyères. Ce sont des problèmes du même type que soulèvent Trichet *et al.* (1999) à propos du Pin maritime, en exposant que "le raccourcissement des révolutions est sans doute le point le plus délicat à prendre en compte dans le raisonnement du maintien de fertilité des sols forestiers landais."

Cet aspect, que nous avons soulevé dès 1983, montre que la réutilisation de ces sols pour une sylviculture de qualité, type châtaignier ou autre, passe d'abord par une recharge des sols en éléments minéraux, avec en premier lieu des apports de calcium et d'azote. Les expériences en cours sur taillis en milieu naturel (Verger depuis 1990, non publié, Rahmani *et al.* 1997) et en milieu semi-contrôlé (Laroche, 1997) montrent une excellente incorporation par le châtaignier du calcium apporté qui semble induire, selon les premières mesures, une meilleure repousse du taillis.

BIBLIOGRAPHIE

- BAIZE D. & GIRARD M.C. coordinateurs, 1995.- Référentiel pédologique. INRA Editions, 332 p.
- BONNEAU M., 1993.- Déséquilibre nutritif en forêt en relation avec les grands types de conditions géopédoclimatologiques. *C.R. Acad. Agric. Fr*, 4 : 93-103.
- BONNEAU M., 1995.- Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. Edit. de l'ENGREF, 368 p.
- BELLIGAUD G. & FREDON J.J., 1985.- L'introduction du châtaignier en Limousin : Indications fournies par la découverte de bois carbonisés dans un site archéologique. *Ann. Sc. Limousin*, 1 : 19-25.
- BOUCHON J., NYS C. & RANGER J., 1986.- Mise en valeur des taillis classiques. C.R. AFME, 4 p.
- CHATELUS S., 1987.- Contribution à l'analyse du cycle des éléments minéraux dans un écosystème forestier. Cas particulier du taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). Thèse Doct. 3ème cycle, Limoges, 151 p.
- CIACCIO L.L., 1973.- Water and water pollution, Handbook, M.Decker, Inc. New York, 1, 373 p.
- DEJOU J., GUYOT J. & MORIZET J., 1968.- Juxtaposition de sols noirs, très riches en matière organique et de sols bruns acides sur leucogranite dans la région d'Eymoutiers - Peyrat-le-Château (Hte-Vienne). *Ann. Agron.*, 19, 5 : 511-539.
- DUTREUIL J.P., 1978.- Les granites de l'ouest du Limousin : leur pétrologie, leur altération, leurs sols. Thèse Doct. Etat, 78-10, Limoges, 520 p.
- FLOC'H J.P., 1983.- La série métamorphique du Limousin central : une traverse de la branche ligérienne de l'orogène varisque, de l'Aquitaine à la zone broyée d'Argentat (Massif central français). Thèse Doct. Etat, 83-36, Limoges, 445 p. + annexes.
- JAVELLAUD J., 1986a.- Contribution à l'étude phytoécologique des landes atlantiques du Limousin occidental : "Châtaigneraie limousine". Thèse 3ème cycle, Limoges, 36, 147 p.
- JAVELLAUD J. coordination, 1986b.- Catalogue des Stations Forestières de la Châtaigneraie Limousine. CRPF Limoges. 45 p. + annexes.
- LAROCHE A., 1997.- Approches expérimentales de la nutrition du châtaignier. Influence d'apports

nutritifs sur la croissance des plants, sur la distribution des éléments minéraux dans les organes et sur les caractéristiques générales des pectines chez de jeunes arbres cultivés sous serre. Thèse Doct. Université de Limoges, 188 p. + annexes.

- LEGROS J.P., 1982.- L'évolution granulométrique au cours de la pédogénèse. Approche par simulation sur ordinateur. Application aux sols acides sur matériaux cristallins en zone tempérée. Thèse Doct. Etat, Montpellier, 436 p.
- LEGROS J.P., 1984.- Introduction à l'étude de la simulation de l'évolution granulométrique du sol. Présentation d'un modèle informatique. *Sc. Sol*, 1 : 51-62.
- LEMEE G., 1980.- Evolution posglaciaire et récente de la végétation des Monts de la Marche d'après l'analyse pollinique. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 127, 1, 59-69.
- NYS C., 1973.- Les sols du plateau de Millevaches. *Sc. sol*, 4 : 241-253.
- PENEL M., 1979.- Caractérisation physico-chimique et classification des humus forestiers acides en relation avec la végétation et ses exigences écologiques. Thèse Spécialité Pédologie, Nancy I, 112 p. + annexes.
- RAHMANI A., VERGER J.P., LAROCHE A. & MORVAN H., 1997.- Essai en Limousin de fertilisation au champ de jeunes plants forestiers : Chêne pédonculé, Châtaignier, Douglas et Pin sylvestre. *Rapport contrat P.D.Z.R.*, 86 p.
- RANGER J. & COLIN-BELGRAND M., 1996.- Nutrient dynamics of chestnut tree (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands. *Forest Ecol. Manag.*, 86 : 259-277.
- ROUILLER J., 1981.- Analyses des sols. Techniques de laboratoire. Note technique n°32 (mai 1981). CPB, CNRS de Nancy-Vandoeuvre, 42 p.
- TRICHET P., JOLIVET Cl., ARROUAYS D., LOUSTAU D., BERT D. & RANGER J., 1999.- Le maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive du pin maritime. *Et. Gest. Sols*, 6, 4 : 197-214.
- VERGER J.P., BAFFET M., JAVELLAUD J. & DUTREUIL J.P., 1983.- Etude pédologique du taillis de châtaignier, commune de Chalus. *Contrat DDA-Univ. Limoges.*, 46 p.
- VERGER J.P., JAVELLAUD J., VILKS & BOTINEAU M., 1985.- Le taillis de châtaignier de la forêt communale de Cussac (87). *Rapports Sol-Végétation. Coll. Phytosocio.*, XIV, 515-525.
- VERGER J.P. & JAVELLAUD J., 1986.- Etude phytoécologique d'un taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill) en forêt domaniale de Pompadour. *Ann. Sc. Limousin*, 2, 39-52.
- VERGER J.P., 1989.- Evolution granulométrique des sols sous taillis de châtaigniers en Limousin. *Ann. Sc. Limousin*, 5, 25-36.
- VERGER J.P., MORVAN H., FOURNIER J.M., MARGA F., MAISONNIER C., FREYSSAC V., DESJOBERT Th., & DOMAIN Ph., 1993.- Nutrition minérale du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). Rôle dans le développement de la roulure. Exemple du Limousin. *Rapport programme AGROBIO*, 36 p.
- VILKS A., 1991.- Analyse chorologique de la flore vasculaire du Limousin. Thèse Doct. Etat, Université de Limoges. Tome 1, mémoire : 241 p. ; Tome 2, illustrations : 336 p. ; Tome 3, annexes : 117 p.

**CARACTÉRISATION CHIMIQUE ET HISTOLOGIQUE DES
TÉGUMENTS DE LA CHÂTAIGNE.**

GLOAGUEN V.¹, MAS L.² et H. MORVAN²

¹ Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Faculté des Sciences, 123 rue A. Thomas, 87060 Limoges.

² Laboratoire de Biochimie Moléculaire et Cellulaire, Université d'Artois, Faculté J. Souvraz, 62300 Lens.

RESUME

Des analyses par triméthyl silylation directes des poudres de péricarpe et de tan réalisées sur quatre variétés de châtaignes (*Bouche de Betizac*, *Marigoule*, *Goujounac* et *Bournette*) indiquent que le xylose et l'acide galacturonique sont les monosaccharides principaux qui peuvent être identifiés dans ces tissus. L'extraction séquentielle suivie d'une purification chromatographique des polymères pariétaux a été réalisée sur les téguments de la variété *Marigoule* conduisant à l'obtention de polysaccharides pectiques et hémicellulosiques. Les pectines sont principalement représentées par les acides polygalacturoniques fortement méthyl-estérifiés et les hémicelluloses par les xylanes. Une étude histologique du tan et du péricarpe met en évidence une organisation complexe des tissus qui apparaissent souvent fortement lignifiés.

Mots Clés : tan, péricarpe, paroi cellulaire, pectine, hémicellulose, châtaigne

HISTOLOGICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF CHESTNUT ENVELOPES .

ABSTRACT

Direct trimethyl silylation analyses of both pericarp and tegument powders of four chestnut fruit varieties (*Bouche de Betizac*, *Marigoule*, *Goujounac* and *Bournette*) showed that xylose and galacturonic acid were the main monosaccharides found in this material. A sequential extraction procedure performed on the *Marigoule* variety, followed by chromatographic purification, allowed us to obtain pectic and hemicellulosic polysaccharides from the cell walls of the chestnut teguments. Pectic polysaccharides were mainly composed of highly methyl-esterified polygalacturonic acids and hemicellulosic compounds were identified as acid xylans. Moreover, histological investigations revealed the presence of a highly lignified structure associated to a complex organization of the tissue (vascularized parenchyme).

Key Words : tan, pericarp, cell wall, pectin, hemicellulose, chestnut

Tél : 05.55.45.74.90 ; Fax : 05.55.45.72.02 ; email : vgloaguen@unilim.fr

-I- INTRODUCTION

La châtaigne est un fruit qui a constitué la base alimentaire des populations paysannes des régions pauvres telles que le Limousin, les Cévennes ou la Corse. La consommation des châtaignes a beaucoup baissé depuis le début du siècle, d'une part pour des raisons socio-culturelles (évolution des habitudes alimentaires) et d'autre part parce que la production française a fortement régressé (exode rural, maladie de l'encre, chancre de l'écorce, abattage massif pour l'industrie des tanins). Outre les transformations classiques (marrons glacés, purée et crème de marrons), de nouveaux produits sont apparus sur le marché (liqueurs, apéritifs, bières, pâtes, produits lactés ou encore flocons déshydratés à base de châtaignes) et des voies traditionnelles d'utilisation de la farine de châtaigne en boulangerie et biscuiterie sont en cours de relance. De la même manière, la châtaigne décortiquée est désormais proposée comme produit frais emballé sous vide ou sous forme surgelée. Il semble que le consommateur soit prêt à accueillir ce type de produits dont les qualités organoleptiques, diététiques et la richesse nutritionnelle sont redécouvertes. Le développement du marché a imposé la mise au point de procédés mécanisés qui reprennent des grands principes traditionnels en substituant l'épluchage manuel par des étapes mécaniques. L'épluchage reste cependant, une opération délicate, coûteuse en main d'oeuvre et en énergie. Il se heurte à plusieurs sortes de difficultés : (1) l'adhérence du tan qui est souvent corrélée avec sa finesse ; (2) les pénétrations du tan lorsqu'elles sont à la fois fines et profondes ; (3) l'état sanitaire, lorsqu'il est mauvais, fait baisser le rendement brut de l'épluchage ; (4) le manque d'homogénéité du calibre est aussi une cause de mauvais rendement. Dans l'industrie, deux grands types de méthodes sont utilisés : l'épluchage à la vapeur, dite méthode italienne, ou l'épluchage à la flamme *via* le four

Aubert. Deux inconvénients majeurs subsistent : si l'intervention mécanique est limitée, l'épluchage est insuffisant car une partie importante des téguments de la graine restent adhérents à l'amande, notamment parce qu'ils s'insinuent dans ses sillons. Par contre, l'intensification de l'action mécanique a souvent pour conséquence de fragiliser l'amande qui se fracture rendant le produit beaucoup moins présentable.

Pour contribuer à résoudre ces problèmes, ce travail a été entrepris avec pour objectif de caractériser histologiquement et chimiquement les téguments de la châtaigne, avant d'entreprendre une étude dont l'objectif ultime serait de proposer une nouvelle voie technologique d'épluchage des châtaignes : *l'épluchage enzymatique*. L'existence de procédés similaires d'élimination par voie enzymatique de parois indésirables (rouissage du lin, extraction des pigments de la peau de raisin pour l'amélioration des vins, préparation de jus de fruits ...), qui, de plus, sont déjà utilisés à une échelle industrielle, témoigne à eux seuls de l'intérêt de cette étude. La mise au point d'un tel procédé requiert néanmoins deux préalables : une connaissance précise de la nature des parois à dégrader et notamment de ses composantes polysaccharidiques, ainsi que des enzymes à employer. Cette observation est à l'origine de la démarche scientifique et du protocole opératoire qui sont présentés dans cet article.

-II- MATERIEL ET METHODE

II-1 Matériel biologique

Les variétés de châtaignes qui ont été utilisées pour cette étude (Marigoule, Bouche de Bétizac, Goujounac et Bournette) ont été obtenues auprès de l'Association Interrégionale de Recherche et d'Expérimentation Légumière d'Objat (Corrèze). Après 24 heures de trempage dans de l'eau froide, les châtaignes ont été épluchées manuellement afin d'éliminer le péricarpe d'une part et de séparer le tan de l'amande d'autre part. Chacun de ces deux composants a été déshydraté (80 °C - 2 heures, puis 60 °C - 48 heures) et broyé avant les analyses.

II-2 Etude histologique

La structure du matériel étudié étant assez rigide, elle facilite la réalisation de coupes de faible épaisseur (~ 100 µm). La structure histologique des téguments de la châtaigne a été caractérisée par la technique dite de double coloration (vert d'iode et carmin aluné ; Seguy, 1951). Cette technique permet de distinguer sur les coupes, les zones pecto-cellulosiques (coloration rose) des structures lignifiées (coloration vert-bleu).

II-3 Extraction et purification des polysaccharides pariétaux

Le protocole expérimental adopté pour l'extraction séquentielle et sélective des polysaccharides pariétaux du tan et du péricarpe est un protocole classique qui a été adapté de Bailey (1966) et Carpita (1984). Ce protocole a été décrit en détail par Gloaguen *et al.* (1999) et résumé, de plus, sur la figure 1.

Les différents extraits sont ensuite analysés selon les méthodes suivantes :

- Les sucres totaux sont estimés par la méthode au phénol sulfurique (Dubois *et al.*, 1956) et les acides uroniques par la méthode au méta-hydroxydiphényl-phénol (Blumenkrantz & Absoe-Hansen, 1973).
- Le dosage des sucres circulants (glucose, fructose et saccharose) et de réserve (amidon) des extraits éthanoliques et eau chaude obtenus à partir du tan et du péricarpe est réalisé par la méthode enzymatique décrite par Bergmeyer *et al.* (1974) et Bernt et Bergmeyer (1974).
- Les taux de méthylation des extraits pectiques sont estimés par la méthode colorimétrique décrite par Wood et Siddiqui (1971).
- Les monosaccharides neutres et les acides uroniques qui sont les constituants des polysaccharides étudiés sont méthanolysés, identifiés et dosés selon la méthode de Kamerling *et al.* (1975) modifiée par Montreuil *et al.* en 1986. Cette analyse, qui a été adaptée à l'analyse de poudres d'origine végétale par Marga *et al.* (1996), a été également utilisée pour l'étude de la composition monosaccharidique du tan, du péricarpe et des résidus d'extraction.

Figure 1 :
 protocole expérimental d'extraction des polysaccharides pariétaux
 constitutifs du tan et du péricarpe.

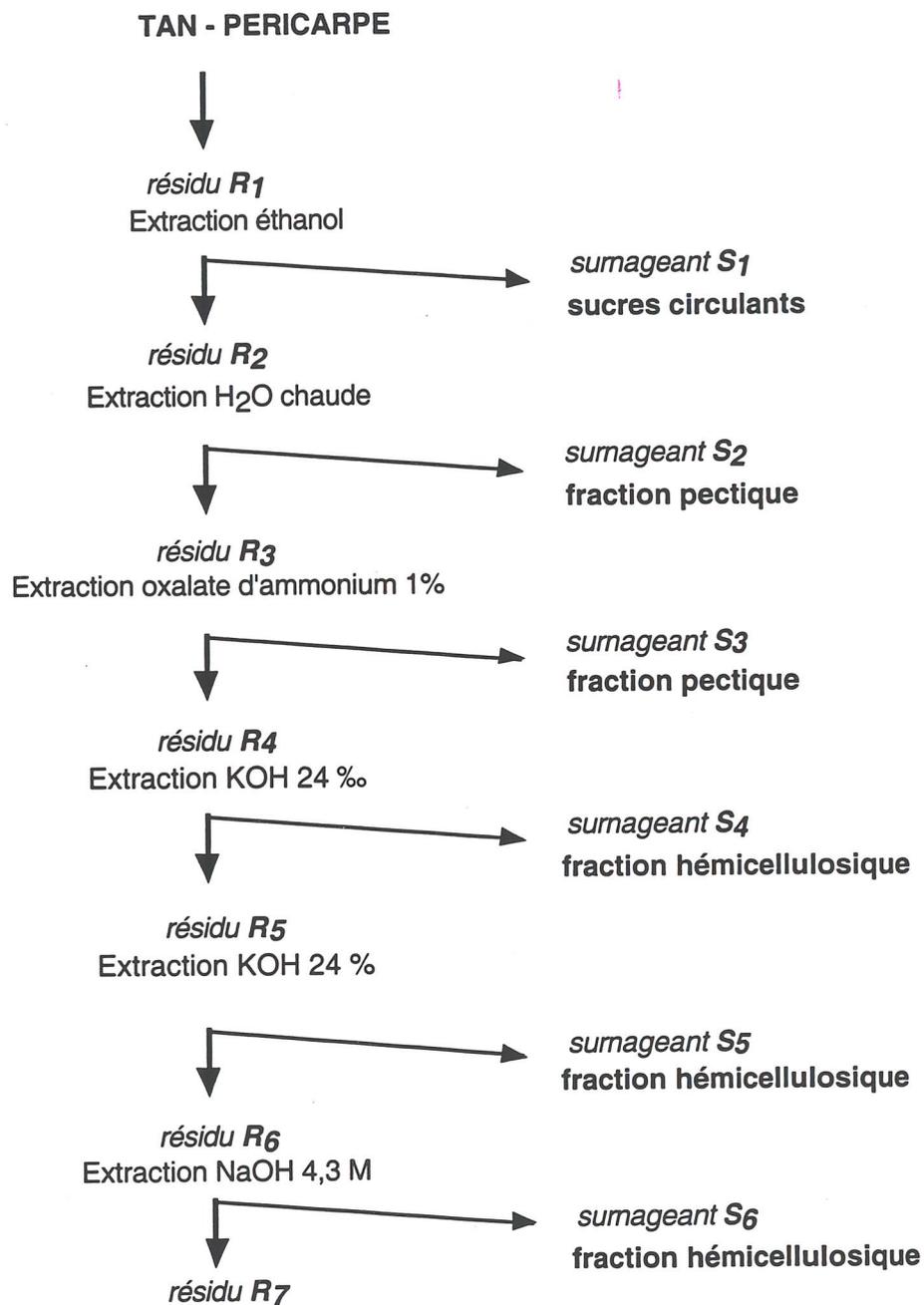
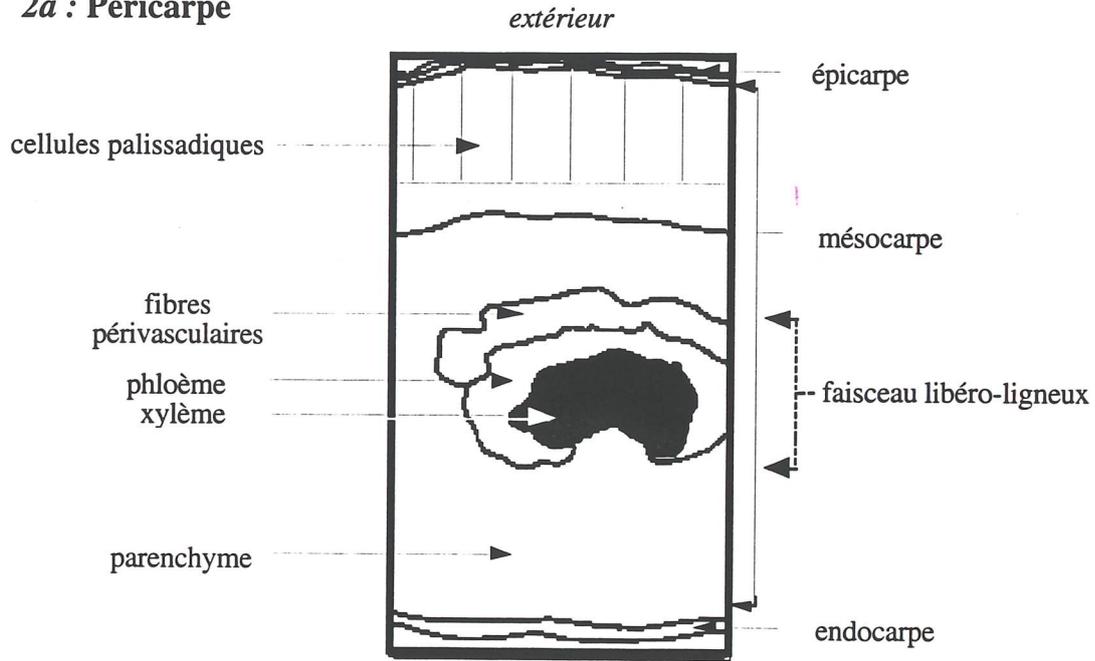
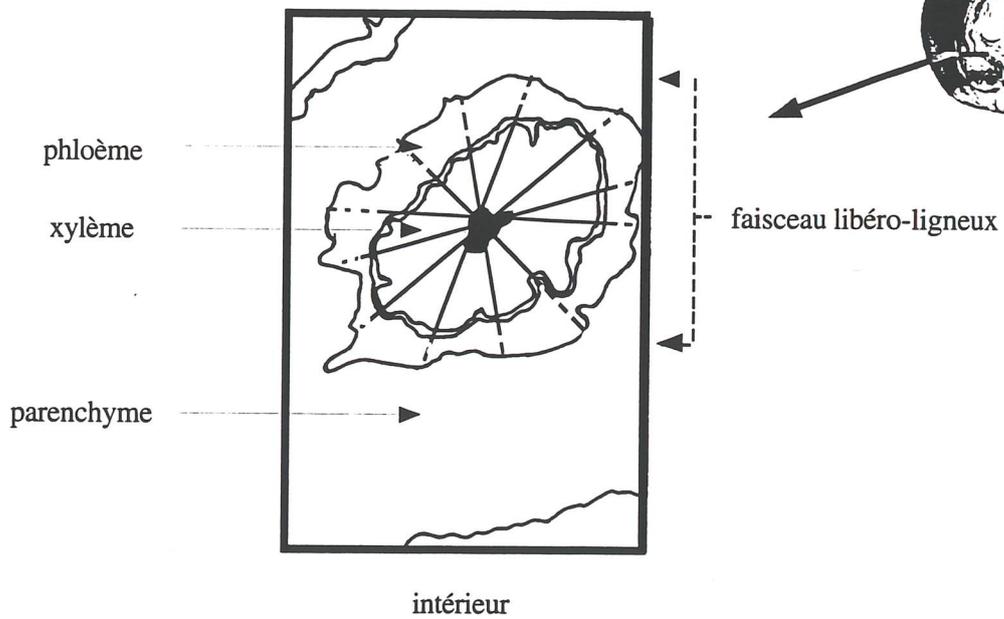


Figure 2 :
caractérisation histologique de coupes transversales de
péricarpe (2a, g x 100) et de tan (2b, g x 400).

2a : Péricarpe



2b : Tan



III - Résultats et discussion

III-1 Histologie

Rappelons tout d'abord que les châtaignes sont enfermées, à raison de une à neuf unités (le plus souvent trois) dans une bogue piquante. Chaque fruit comprend de 1 à 5 graines ou amandes, recouvertes par un fin tégument laineux, le tan qui est protégé par la paroi épaisse, brune et luisante du fruit, le péricarpe. Que ce soit pour le péricarpe ou le tan, l'observation en microscopie optique des coupes réalisées (figure 2) permet de révéler un édifice très structuré, naturellement coloré (tannins, poly-phénols) et présentant plusieurs niveaux d'organisation.

Plusieurs zones d'épaisseurs variables et plus ou moins lignifiées sont visibles dans le péricarpe (figure 2a). De l'extérieur vers l'intérieur de la coupe, il est possible d'observer une cuticule qui vient recouvrir un épiderme externe, ou *épicarpe*, de faible épaisseur (1 couche de cellules). Sous ce dernier, le *mésocarpe* se divise en deux grandes zones. La première, lignifiée, est constituée de cellules palissadiques très allongées qui sont disposées perpendiculairement à l'*épicarpe* et qui sont suivies de cellules aplaties disposées parallèlement à l'*épicarpe*. La seconde, plus épaisse est formée par l'association de cellules de tailles variables qui présentent des parois arrondies de nature pecto-cellulosique. Elle constitue un parenchyme hétérogène où sont disposés des faisceaux libéro-ligneux. Enfin, un épiderme interne ou *endocarpe*, de faible épaisseur (1 à 2 couches cellulaires), recouvre le *mésocarpe*.

Tout comme le péricarpe, le tan présente plusieurs structures d'épaisseurs variables plus ou moins lignifiées (figure 2b). De l'extérieur vers l'intérieur, il comprend une assise de cellules arrondies, parfois divisées et portant des poils tecteurs, une zone parenchymateuse contenant des faisceaux libéro-ligneux à structures centriques (xylème au centre et phloème périphérique) et une zone plus interne, constituée de 5 à 6 couches de petites cellules aux parois pecto-cellulosiques épaisses d'un aspect collenchymateux.

III-2 Composition monosaccharidique des téguments de la châtaigne

La composition monosaccharidique des téguments des quatre variétés de châtaigne analysées (tableau I) a été déterminée par micro-analyse directe. Cette dernière met en évidence une grande diversité de composition qui se traduit par la grande variété des monosaccharides identifiés (rhamnose (Rha), fucose (Fuc), arabinose (Ara), xylose (Xyl), mannose (Man), glucose (Glc), galactose (Gal), acides galacturonique (GalA) et glucuronique (GlcA)). Une première analyse de ces résultats suggère la présence de composés pariétaux caractéristiques révélés par la présence de monosaccharides marqueurs telles que les pectines (GalA, Rha) et les hémicelluloses (Man, Xyl, Glc, GlcA), sachant que le Glc identifié ne provient pas de la cellulose, non dégradée par la méthanolyse. En outre, il est intéressant de constater que la répartition des différents monosaccharides identifiés diffère sensiblement d'une variété à l'autre, bien que le GalA (25,2 à

Tableau I – Composition monosaccharidique (en % molaire) des téguments (T : tan, P : péricarpe) de quatre variétés de châtaignes estimées par triméthyl silylation directe (TMS_d).

| | | Marigoule | Goujounac | Bournette | Bouche de Bétizac |
|------|---|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Rha | T | 7,2 | 6,8 | 8,3 | 8,1 |
| | P | 2,7 | 4,6 | 3,0 | 4,4 |
| Fuc | T | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 |
| Ara | T | 17,9 | 14,1 | 16,6 | 14,5 |
| | P | 11,2 | 14,1 | 11,5 | 19,7 |
| Xyl | T | 13,6 | 20,3 | 15,4 | 14,5 |
| | P | 45,8 | 34,1 | 23,5 | 20,5 |
| Man | T | 1,5 | 1,9 | 3,0 | 3,4 |
| | P | 1,5 | 2,8 | 1,6 | 1,9 |
| Glc | T | 18,3 | 16,6 | 7,5 | 18,7 |
| | P | 10,8 | 8,4 | 25,7 | 19,6 |
| Gal | T | 14,8 | 10,8 | 13,9 | 13,8 |
| | P | 8,4 | 8,8 | 11,9 | 10,1 |
| GalA | T | 25,2 | 27,0 | 28,8 | 25,5 |
| | P | 19,6 | 23,7 | 19,0 | 20,2 |
| GlcA | T | 1,5 | 2,5 | 6,5 | 1,5 |
| | P | 0,0 | 3,5 | 3,5 | 3,6 |

Tableau II – Composition monosaccharidique par triméthyl silylation (en % molaire) des extraits polysaccharidiques bruts du tan (T) et du péricarpe (P) de la variété Marigoule.

| | | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ |
|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Rha | T | 0,0 | 1,5 | 1,9 | 6,7 | 1,0 | 0,0 |
| | P | 8,7 | 0,0 | 0,0 | 3,7 | 0,0 | 1,7 |
| Fuc | T | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ara | T | 0,0 | 3,3 | 3,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 20,4 | 0,0 | 0,0 | 5,2 | 0,0 | 6,9 |
| Xyl | T | 0,0 | 0,6 | 1,0 | 17,9 | 93,5 | 67,3 |
| | P | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 16,6 | 55,0 | 18,3 |
| Man | T | 0,0 | 0,5 | 2,2 | 10,8 | 1,5 | 17,6 |
| | P | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,5 | 16,5 | 31,6 |
| Glc | T | 100,0 | 2,1 | 1,1 | 11,5 | 2,6 | 10,3 |
| | P | 14,9 | 0,0 | 0,0 | 3,6 | 18,4 | 24,7 |
| Gal | T | 0,0 | 2,3 | 2,0 | 5,5 | 1,4 | 4,8 |
| | P | 11,4 | 2,9 | 0,0 | 6,1 | 10,1 | 14,4 |
| GalA | T | 0,0 | 88,5 | 77,0 | 28,7 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 44,6 | 97,1 | 100,0 | 61,3 | 0,0 | 2,4 |
| GlcA | T | 0,0 | 1,2 | 11,5 | 18,9 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

28,8 % pour le tan ; 19,0 à 23,7 % pour le péricarpe) et le Xyl (13,6 à 20,3 % pour le tan ; 20,5 à 45,8 % pour le péricarpe) soient toujours présents en quantités importantes.

La nature chimique des polysaccharides pariétaux a été plus précisément qualifiée dans le cas de la variété Marigoule grâce à une extraction fractionnée. Ainsi, les différents extraits bruts (tableau II) sont quantitativement et qualitativement très dépendants des extractants utilisés. Les sucres solubles (glucose, fructose et saccharose) et de réserve (amidon) déterminés enzymatiquement (résultats non présentés) ne sont présents qu'en très faible concentration ($< 0,1 \text{ mg.g}^{-1}$). Par conséquent, les téguments de la châtaigne peuvent être considérés comme des tissus morts.

Par ailleurs, la composition monosaccharidique des différents extraits indique la présence dans S_2 et S_3 , d'une part et S_4 , S_5 et S_6 , d'autre part, de pectines (monosaccharides marqueurs GalA et Rha) et d'hémicelluloses (monosaccharides marqueurs Xyl, Man, Glc et GlcA). L'extraction sélective de ces différents polysaccharides est, de plus, très clairement corroborée par la diminution sensible des teneurs en ces monosaccharides dans les résidus d'extraction correspondant à savoir le Glc dans R_1 , le GalA dans R_2 et R_3 , les Xyl, Man, Gal dans R_4 , R_5 et R_6 (tableau III).

III-3 Caractérisation chimique des polysaccharides pariétaux purifiés

L'utilisation du protocole expérimental de purification des polysaccharides pariétaux décrit dans la section matériel et méthode a permis de caractériser plus précisément la nature chimique des polymères extraits à partir du tan et du péricarpe et de les qualifier. Tout d'abord, la chromatographie d'échange d'ions, réalisée sur les surnageants S_2 et S_3 , a conduit à la séparation de fractions pectiques homogènes en charge (figure 3) et très riches en GalA (86,1 à 100 % , tableau IV). Par ailleurs, les acides polygalacturoniques purifiés à partir du tan et du péricarpe sont fortement méthyl-estérifiés (55 à 63 % et 74 à 80 %, respectivement : tableau IV). Plus généralement, la composition moyenne de la paroi des fruits et légumes (tableau V) est considérée comme proche de celle des parois primaires, ce qui reflète la prédominance des parenchymes de réserve dans ces tissus végétaux (Bonnin *et al.*, 1997) bien qu'ils comportent toujours une certaine proportion de parois secondaires, provenant des tissus conducteurs. Les substances pectiques regroupent dans ce contexte, un ensemble complexe de polysaccharides (figure 4) caractérisés par une forte teneur en acide galacturonique présentant des degrés de méthyl-estérification variables (Voragen *et al.*, 1995). Les pectines sont constituées par un squelette principal composé, dans sa version la plus simple, exclusivement d'acide galacturonique (acide homopolygalacturonique ou acide pectique, figure 4a) ou, plus souvent, par des acides galacturoniques associés au rhamnose (rhamnogalacturonane, figure 4b) et substitués par des monosaccharides (Ara, Gal) ou par des chaînes latérales plus ou moins ramifiées et volumineuses (arabinanes, arabinogalactanes, figure 4c). Les fruits et les légumes qui sont très riches en composés pectiques sont souvent utilisés comme matière première pour l'extraction de ces polymères d'intérêt industriel. Néanmoins, la variabilité des teneurs (tableau VI), des caractéristiques structurales et du degré de méthyl-estérification des pectines, étant entre autres très dépendante de leur origine botanique, rend très difficile l'établissement d'une classification précise. Toutefois, à l'état naturel, les pectines sont

Tableau III – Composition monosaccharidique (en % molaire) des résidus d'extraction du tan (T) et du péricarpe (P) de la variété Marigoule par triméthyl silylation.

| | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ |
|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Rha | T | 6,7 | 6,5 | 9,2 | 7,2 | 11,0 | 10,2 |
| | P | 5,1 | 5,0 | 5,5 | 5,0 | 0,5 | 7,5 |
| Fuc | T | 0,5 | 0,5 | 5,6 | 0,9 | 0,4 | 0,3 |
| | P | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| Ara | T | 15,1 | 12,2 | 1,1 | 13,4 | 18,6 | 17,0 |
| | P | 14,8 | 14,7 | 17,9 | 38,9 | 25,3 | 24,8 |
| Xyl | T | 27,4 | 33,6 | 42,6 | 37,7 | 16,7 | 19,4 |
| | P | 36,1 | 35,7 | 39,8 | 30,5 | 34,6 | 25,2 |
| Man | T | 0,9 | 2,6 | 10,5 | 3,8 | 2,5 | 0,5 |
| | P | 2,5 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 0,0 |
| Glc | T | 6,6 | 7,3 | 2,4 | 7,7 | 19,3 | 24,0 |
| | P | 5,1 | 4,3 | 5,0 | 5,2 | 17,3 | 22,6 |
| Gal | T | 8,8 | 7,1 | 11,6 | 8,1 | 8,0 | 6,8 |
| | P | 11,9 | 6,0 | 8,6 | 7,9 | 8,3 | 5,9 |
| GalA | T | 34,0 | 27,1 | 15,2 | 19,9 | 20,7 | 20,5 |
| | P | 23,4 | 31,3 | 19,5 | 9,6 | 11,5 | 14,0 |
| GlcA | T | 0,0 | 3,1 | 1,8 | 1,3 | 2,8 | 1,3 |
| | P | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tableau IV – Composition monosaccharidique (en % molaire) des polysaccharides purifiés à partir du tan (T) et du péricarpe (P) de la variété Marigoule et estimation du degré de méthyl-estérification (DM) des pectines.

| | | S ₂ | S ₃ | S ₅ |
|-------|---|----------------|----------------|----------------|
| Rha | T | 2,3 | 1,4 | 0,0 |
| | P | 1,3 | 0,0 | 0,0 |
| Fuc | T | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ara | T | 3,5 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 1,1 | 0,0 | 0,0 |
| Xyl | T | 0,0 | 0,0 | 95,1 à 100,0 |
| | P | 0,6 | 0,0 | 25,4 |
| Man | T | 1,2 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 0,0 | 0,0 | 21,2 |
| Glc | T | 1,8 | 2,8 | 0 à 4,9 |
| | P | 2,7 | 0,0 | 36,0 |
| Gal | T | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | P | 0,9 | 0,0 | 17,4 |
| GalA* | T | 86,1 | 95,3 | 0,0 |
| | P | 88,1 | 94,9 à 100,0 | 0,0 |
| GlcA | T | 5,1 | 0,5 | 0,0 |
| | P | 5,3 | 0,0 à 5,1 | 0,0 |
| * DM | T | 63,0 | 55,6 | - |
| | P | 80,0 | 74,6 | - |

Tableau V - Composition (en % de la matière sèche) des parois des fruits et légumes et des céréales (d'après Bonnin *et al.*, 1997).

| | Fruits et légumes | | Céréales | |
|---|-------------------|------------------|-------------|------------------|
| | Parenchymes | Tissus lignifiés | Parenchymes | Tissus lignifiés |
| Substances pectiques | 35 - 40 | 5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 |
| Cellulose | 35 | 40 | 3 - 5 | 30 - 35 |
| Autres polysaccharides dont hémicelluloses | 10 | 25 - 30 | 80 - 85 | 45 - 50 |
| Glycoprotéines | 10 - 20 | 5 | 10 | 5 - 10 |
| Lignines et acides phénoliques | 5 | 20 - 25 | 5 | 15 |

Tableau VI - Teneur en substances pectiques de quelques fruits et légumes (d'après Neukom, 1967).

| Origine | Teneur en pectine (% de la matière sèche) |
|-------------------------------|--|
| <i>Tégument de châtaigne</i> | 4 - 5 |
| <i>Carotte</i> | 10 |
| <i>Raifort</i> | 15 |
| <i>Tomate</i> | 3 |
| <i>Pomme</i> | 4 - 7 |
| <i>Marc de pomme</i> | 15 - 20 |
| <i>Capitules de tournesol</i> | 25 |
| <i>Marc de betterave</i> | 15 - 20 |
| <i>Albedo des agrumes</i> | 30 - 35 |
| <i>Pépins de citron</i> | 6 |
| <i>Ecorce de citron</i> | 32 |
| <i>Pulpe de citron</i> | 25 |

généralement assez fortement méthyl-estérifiées et sous forme de rhamnogalacturonanes plus ou moins ramifiées. Seuls quelques rares exemples d'acides pectiques ont été signalés dans la littérature, notamment dans les capitules de tournesol, le fruit du jacquier ou l'ail (Thibault, 1980).

La chromatographie d'exclusion stérique des extraits S₅ (figure 3) conduit, quant à elle, à la purification d'un polysaccharide de composition monosaccharidique homogène pour le tan (essentiellement du Xyl) et d'un mélange de polysaccharides plus hétérogènes de type xylane, galactane, glucomannane pour le péricarpe (Xyl, Man, Glc, Gal). Les parois des fruits sont généralement riches en xyloglucanes (voir figure 5a), qui peuvent constituer jusqu'à 20 % du poids sec des parois primaires (Hayashi, 1989). Par contre, les parois des céréales comportent essentiellement des β -glucanes dits mixtes car formés d'un squelette linéaire de résidus glucoses connectés par des liaisons $\beta(1,4)$ (environ 70 %) et $\beta(1-3)$ (environ 30 %). Enfin, les hétéroxylanes (xylanes, glucuronoxylane ; figure 5b) sont moins abondants dans les parois primaires des fruits et des légumes, dont ils représentent approximativement 5 % (McNeil *et al.*, 1984 ; Selvendran 1985) que dans les parois des céréales (20-30 %) et dans les parois secondaires des dicotylédones (20 %).

Ainsi, les cellules identifiées dans les enveloppes de la châtaigne diffèrent plus ou moins des modèles les plus couramment décrits (figures 4 et 5). L'ensemble des données expérimentales collectées au cours de ce travail, comparées à celles de la littérature, renseigne sur l'originalité structurale des polysaccharides pariétaux (pectines et hémicelluloses) de ces téguments. L'obtention et la caractérisation chimique de xylanes purs à partir du tan et d'acides homopolygalacturoniques à partir du tan et du péricarpe est, de ce point de vue, tout à fait remarquable.

-IV- Conclusion

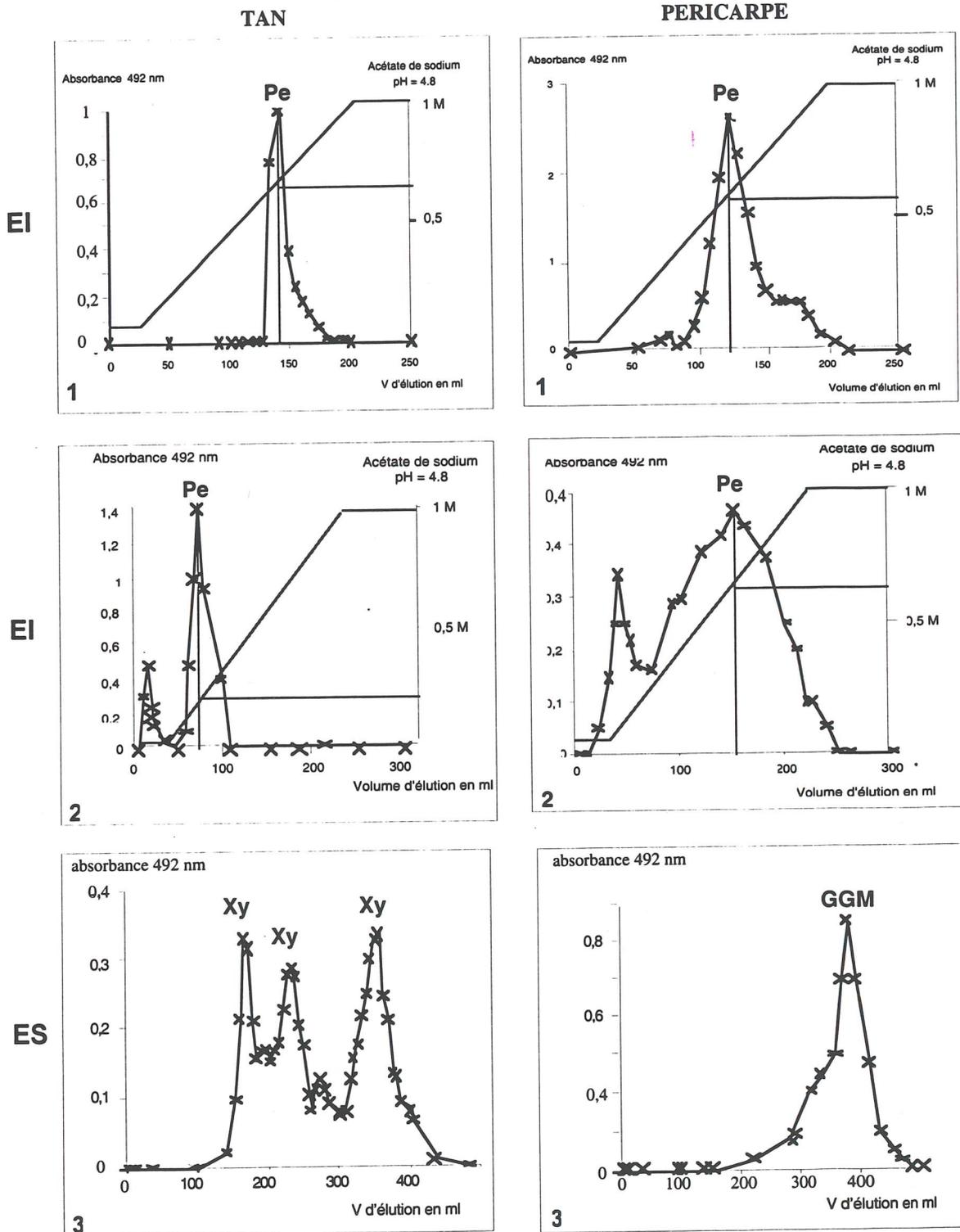
Les travaux illustrés dans cet article sont, à notre connaissance, les premiers concernant les téguments de la châtaigne. La caractérisation chimique et histologique de ces téguments a été réalisée pour combler l'absence de données à ce sujet et avec pour objectif second d'élaborer un procédé plus efficace d'épluchage des châtaignes. L'originalité de ce travail repose sur l'analyse simultanée de la structure histologique et de la composition polysaccharidique de ces téguments, les deux aspects étant au cœur de notre problématique.

La principale information donnée par l'analyse histologique est très certainement la grande complexité de ces tissus ainsi que la très forte cohésion intercellulaire. Les parois cellulaires sont par ailleurs, souvent renforcées par la lignine ou la cellulose, que ce soit dans le tan ou le péricarpe. En ce qui concerne la purification des polysaccharides pariétaux, l'efficacité des séparations chromatographiques s'explique par leurs caractéristiques : *i*) les acides polygalacturoniques sont séparés les uns des autres par chromatographie d'échange d'ions en raison de taux de leurs méthyl-estérification variables, *ii*) les xylanes purs du surnageant S₅, ont été séparés par chromatographie d'exclusion stérique sur la base de la variabilité de leurs masses moléculaires.

En comparant les résultats obtenus sur le tan et le péricarpe, il apparaît que les polymères extraits du tan sont pratiquement tous des homopolymères (homopolygalacturonanes, xylanes) ce qui justifie de tenter de les dégrader par l'intermédiaire d'enzymes.

Figure 3 :

séparations chromatographiques par échange d'ions (EI) ou exclusion stérique (ES) des polysaccharides pectiques (Pe) extraits à l'eau chaude (1) ou à l'oxalate d'ammonium (2) et hémicellulosiques de type xylane (Xy) ou galacto-glucomannane (GGM) (3) isolés à partir du tan et du péricarpe.



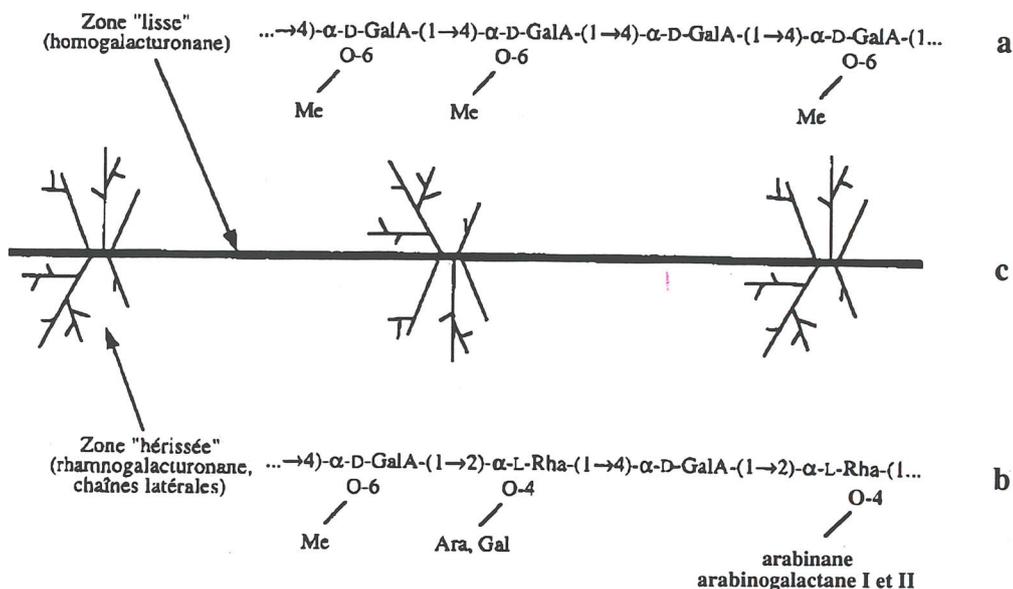


Figure 4 :

modèle structural des composés pectiques rencontrés dans la paroi cellulaire végétale. (a) acide pectique ou homogalacturonane, (b) rhamnogalacturonane et (c) répartition spatiale des chaînes latérales

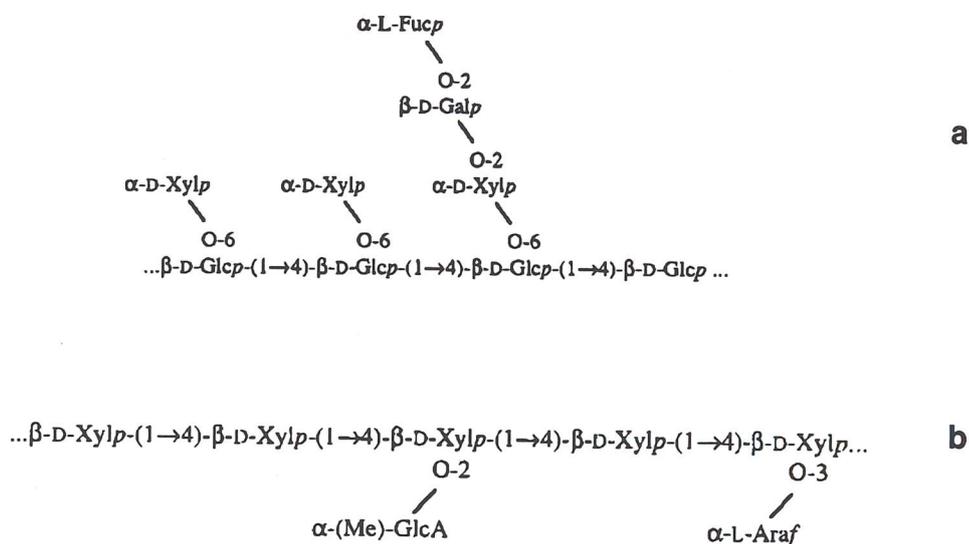


Figure 5 :

modèle structural de deux hémicelluloses rencontrés dans la paroi cellulaire végétale. (a) xyloglucane et (b) glucuronoxylane.

V - Bibliographie

- Bailey, R.W., 1966.- *J. Agric. Res.*, **10**, 15-32.
- Bernt, E., Bergmeyer, H.U., 1974.- Methods of enzymatic analysis, H.U. Bergmeyer, ed., Academic Press, New-York, p. 1304-1307.
- Bergmeyer, H.U., Bernt, E., Schmidt, F., Stork, H., 1974.- Determination with hexokinase and glucose-6P deshydrogenase. Methods of enzymatic analysis, H.U. Bergmeyer, ed., Academic Press, New-York, p. 1196-1201.
- Blumenkrantz, N., Absoe-Hansen, G., 1973.- A new method for quantitative determination of uronic acids. *Anal. Biochem.*, **54**, 484-489.
- Bonnin, E., Renard, C., Thibault, J.F., Ducroo, P., 1997. Les enzymes de dégradation des parois végétales : mode d'action et utilisations alimentaires. In : Enzymes en agro-alimentaire, collection Sciences et Techniques Agro-alimentaires, Tec & Doc, Lavoisier, pp. 168-200.
- Carpita, N.C., 1984.- Fractionation of hemicelluloses from maize cell walls with increasing concentrations of alkali. *Phytochem.*, **23(5)**, 1089-1093.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F., 1956.- Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350-356.
- Gloaguen, V., Nourani, D., Morvan, H., 1999.- Chestnut envelopes contain xylan- and polygalacturonic acid-rich polysaccharides. *Acta Hort.*, **494**, 139-145.
- Hayashi, T., 1989.- Xyloglucans in the primary cell wall. *Plant Physiol.*, **40**, 139-168.
- Kamerling, J.P., Gerwig, G.J., Vliegthart, J.F.G., Clamp, J.R., 1975.- Characterization by gas-liquid chromatography mass spectrometry of pertrimethylsilyl glycosides obtained in the methanolysis of glycoproteins and glycolipids. *Biochem. J.*, **151**, 491-495.
- McNeil, M., Darvill, A.G., Fry, S.C., Albersheim, P., 1984.- Structure and function of the primary cell walls of plants. *Ann. Rev. Biochem.*, **53**, 625-663.
- Marga, F., Freyssac, V., Morvan, H., 1995.- Rapid gas liquid chromatography microanalysis of carbohydrates in woody plant tissues. *J. Trace Microprobe Tech.*, **13 (4)**, 473-478.
- Montreuil, J., Bouquelet, S., Debray, H., Fournet, B., Spik, G., Strecker, G., 1986.- Glycoproteins. In : Carbohydrate analysis, a practical approach. Eds Chaplin M.F. and Kennedy J.F. IRL Press, Oxford, Washington D.C., p. 143-204.
- Neukom, H., 1967.- Pectic substances. In : Encyclopedia of chemical technology, 2nd edition, Vol. 14, J. Wiley (ed.).
- Seguy, E., 1951.- Le microscope : emploi et applications, Encyclopédie pratique du naturaliste. p. 272-586.
- Selvendran, R.R., 1985.- Developments in the chemistry and biochemistry of pectic and hemicellulosic polymers. *J. Cel. Sci. Suppl.*, **2**, 51-88.
- Thibault, J.F., 1980.- Les substances pectiques. In : Les polymères végétaux, Gauthier-Villars, Paris, pp. 232-251.
- Voragen, A.G.J., Pilnik, W., Thibault, J.F., Axelos, M.A.V., Renard, C., 1995.- Pectins. In : Food polysaccharides. Eds Stephen A.M. and Dea I., p. 287-339.
- Wood, P.J., Siddiqui, I.R., 1971.- Determination of methanol and its application to measurement of pectin ester content and pectin methyl esterase activity. *Anal. Biochem.*, **39**, 418-428.

ANALYSE DES PEUPELEMENTS D'ORTHOPTÉROÏDES SUR LES PELOUSES CALCICOLES DE LA CÔTE PELÉE DE CHASTEAX

Picaud F.*, Dufour, S., Decaux, E. et Petit, D.

Laboratoire de Biologie des Populations
Faculté des Sciences de Limoges, 123, Av. A. Thomas
87060 Limoges Cedex

* : à qui les tirés-à-part peuvent être demandés, picaud@unilim.fr

RÉSUMÉ

Les pelouses calcaires du sud de la Corrèze présentent une intéressante faune en Insectes Orthoptéroïdes, décrite ici pour la première fois. Du point de vue de la dynamique végétale, on reconnaît trois voies : des clairières sèches, un gradient à partir d'une pelouse écorchée xérophile vers des buissons à Genévriers et un autre gradient à partir de pelouses méso-xérophiles vers des buissons de Rosacées, le stade extrême de la dynamique étant la chênaie pubescente. Les peuplements d'insectes se superposent à ces différentes voies et leur ensemble montre une forte biodiversité puisque 28 espèces ont été rencontrées, dont 2 Mantès.

Mots clés : pelouses calcaires, peuplements, Orthoptères, Mantoptères, biodiversité.

Dynamics of Orthopteroid communities in calcareous meadows
in the Côte Pelée of Chasteaux (Corrèze, France)

SUMMARY

In the South of Corrèze (France), calcareous meadows present an interesting entomological fauna. We describe here for the first time the communities of Orthopteroids. Three paths of vegetal dynamics are recognised: dry clearings, a gradient from xerophilic loose meadow towards *Juniperus* bushes and another gradient from meso-xerophilic meadows towards *Rosaceae* bushes, the terminal stage being a wood of *Quercus pubescens*. Insect communities fit to floristic ones and there is a high biodiversity since 26 species of Orthoptera and 2 of Mantoptera have been recorded.

Kew words : calcareous meadows, communities, Orthoptera, Mantoptera, biodiversity.

INTRODUCTION

Les pelouses calcicoles sont bien connues pour offrir une grande biodiversité des espèces végétales et entomologiques dans la France tempérée. Ces pelouses étant peu représentées dans la région du Limousin, il était intéressant de donner un aperçu de la diversité de la faune orthoptérologique au sens large d'un de ces types de milieu.

La Côte Pelée de Chasteaux (19) présente un cortège de plantes d'affinité méditerranéenne (BRUGEL, 1995; BONHOMME, 1999), comme le chêne vert (*Quercus ilex*), le prunier de Sainte-Lucie (*Prunus mahaleb*), l'alaterne (*Rhamnus alaternus*), le dompte-venin (*Vincetoxicum hirundinaria*), ou d'affinité steppique avec l'inule montagnarde (*Inula montana*), le cardoncelle sans épines (*Carduncellus mitissimus*), le liseron cantabrique

(*Convolvulus cantabrica*) ou la stipe pennée (*Stipa pennata*). Ces espèces s'ajoutent aux cortèges de plantes plus répandues en Limousin que sont les Montagnardes ou les Atlantiques.

Le site montre l'exemple d'une dynamique végétale relativement nette et peu perturbée. A partir d'une pelouse rase écorchée sur sol squelettique (recouvrement de 40 à 60 %), succèdent des pelouses calcicoles recouvrant totalement le sol. La pelouse la plus voisine des pelouses écorchées par sa flore est caractérisée par une fétuque (*Festuca gr. duriuscula*). Lorsque le sol devient plus profond, une pelouse à brachypode penné (*Brachypodium pinnatum*) se développe ce qui favorise l'implantation de buissons divers. Il s'agit de *Juniperus communis* dans les zones les plus thermophiles et d'un cortège de prunelier (*Prunus spinosa*), églantier (*Rosa canina*) et cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*) dans les zones moins thermophiles. Les bois sont essentiellement de chêne pubescent (*Quercus pubescens*) avec en sous-bois des érables (*Acer monspessulanum* et *A. campestre* ± hybridé), la viorne lantane (*Viburnum lantana*) et le cornouiller mâle (*Cornus mas*). La présence sporadique de chêne vert (*Quercus ilex*) renforce le caractère méditerranéen de ces bois. On retrouve ici dans cette succession les étapes décrites par BOULLET (1986, 1989) pour le domaine atlantique.

Cette originalité floristique pour le Limousin s'accompagne d'une entomofaune riche et variée avec des Ascalaphes (Nevroptères), des Fourmis moissonneuses (*Messor structor*, Formicidés Myrmécins) et de nombreux Lépidoptères Rhopalocères.

Depuis plusieurs années, avec les étudiants de maîtrise de Biologie des Populations et Ecosystème de la Faculté des Sciences de Limoges, nous avons entrepris des recherches sur les Orthoptères au sens strict, c'est-à-dire le sous-ordre des Ensifères (Grillons et Sauterelles) et le sous-ordre des Caelifères (criquets), et les Mantoptères (Mantes). En effet ces insectes sont inféodés de manière fidèle aux formations végétales, autant par l'abri qu'ils y trouvent que par les ressources trophiques. Il ne s'agit cependant pas de spécialisation alimentaire de telle ou telle espèce comme dans le cas de nombreux Lépidoptères ou Coléoptères phytophages. En effet, les Orthoptéroïdes appréhendés sont herbivores (graminivores dans les cas des Criquets *Acrididae Gomphocerinae*) ou entomophages (Mantes, certaines Sauterelles).

Le but de ce travail était de tester dans quelle mesure la dynamique végétale se reflétait dans une succession de groupements d'espèces (synusie) d'Orthoptéroïdes. Par ailleurs, il était intéressant de préciser les variations de richesse et de densité des synusies dans ce processus de succession. Ce travail fait suite aux précédents qui avaient été menés dans la vallée de Planchetorte près de Brive (PETIT, 1991) et à la tourbière du ruisseau des Dauges (BONNET et PETIT, 1998).

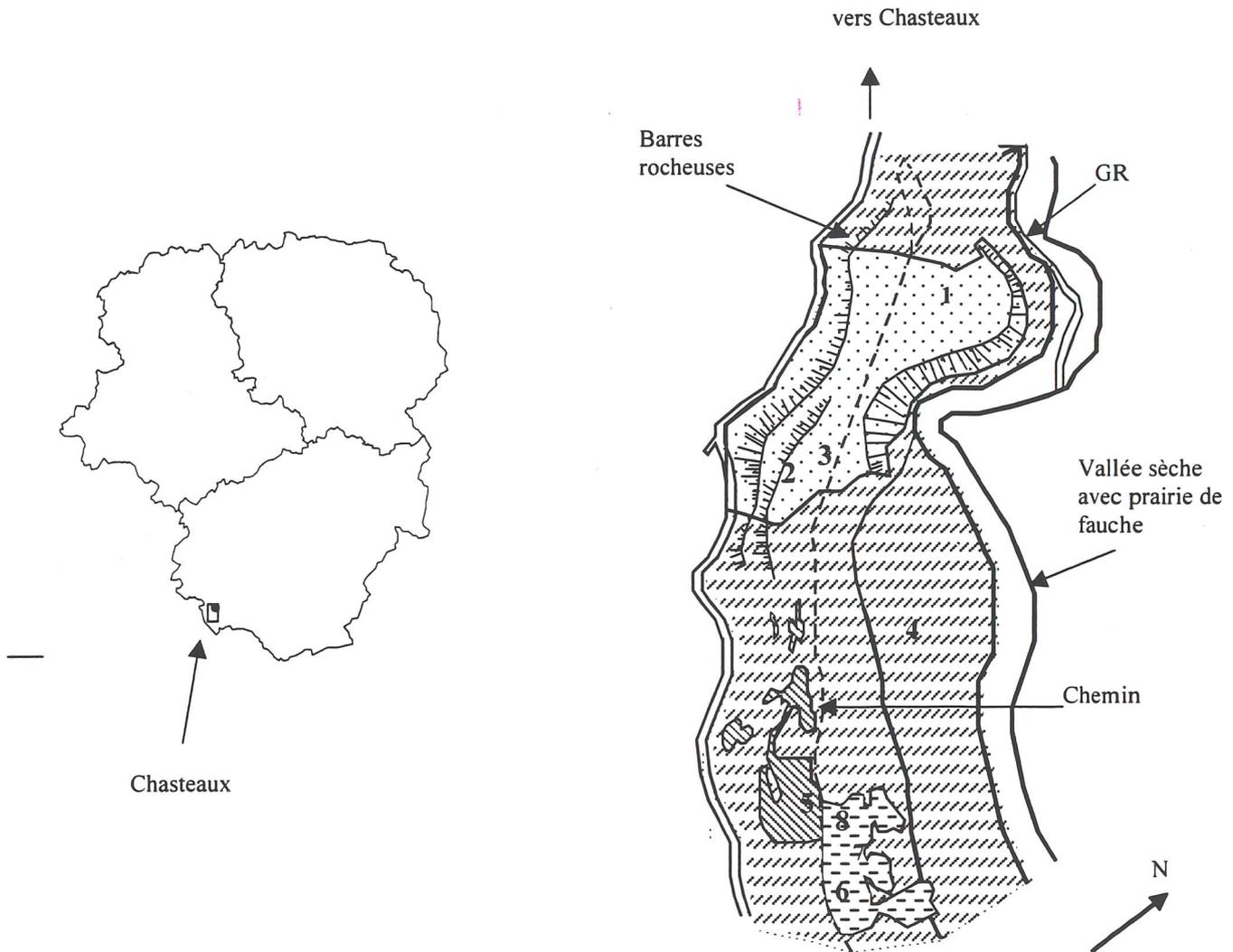
MATÉRIELS ET MÉTHODES

La Côte Pelée est une ZNIEFF (zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique) faisant partie de la commune de Chasteaux (Corrèze, France). Les pratiques agricoles anciennes consistaient en des pâturages extensifs sur la partie à l'aplomb du village, à l'opposé de la route d'accès. Par ailleurs, de la vigne était cultivée jusqu'à un passé récent car des ceps envahis par la végétation peuvent se rencontrer dans des petites parcelles clôturées par des pierriers. Signalons enfin que l'entrée étant le siège de manifestation de ball-trap, il y a un fauchage annuel des herbes d'où le développement de certaines espèces de fauche, comme l'avoine élevée (*Arrhenatherum elatius*).

Les relevés (fig. 1) ont été effectués fin septembre 1999 et 2000 sur des zones de 9 m² (en principe 3 x 3 m) homogènes par la végétation, en utilisant la méthode de GUEGUEN (1976). La surface à prospecter n'offrant pas toujours un carré homogène, nous avons dû dans certains cas épouser la configuration des formations végétales et dessiner une surface rectangulaire, voire tortueuse. Pour chacune des 8 zones homogènes recensées, 7 à 17 relevés

ont été effectués, en récoltant manuellement les individus pour les rejeter en dehors de la surface après les avoir notés. Une distance minimale de 10 m entre les divers relevés a été respectée pour éviter les effets de proximité.

Figure 1. Localisation des types de zones homogènes où ont été effectués les relevés. Détail de la localisation de la Côte Pelée près de Chasteaux (rond noir) en Limousin, indiquant l'emplacement du sentier pédestre, de la chênaie et de la vallée sèche au nord.



1. pelouse écorchée
2. pelouse sèche à *Festuca gr. duriuscula*
3. pelouse à *Brachypode penné* avec *Genévriers*
4. sous-bois de chênaie pubescente vers le sommet et à chênaie charmaie sur la pente N bordant la vallée sèche
5. clairières sèches
6. prairie fauchée de l'entrée à avoine élevée
7. pelouse à *Brachypode* et *Origan*
8. ourlet à *Brachypode* et *Rosacées* arbustives

La nomenclature végétale suit celle de BRISSE et KERGUELEN (1994).

Les traitements statistiques ont été effectués grâce à SYSTAT 7 (SPSS, 1997). Pour chacune des formations végétales rencontrées, des moyennes de densités des espèces ont été calculées en regroupant 3 à 4 relevés de 9 m². Le tableau I rassemble les moyennes des densités des espèces rapportées à 100 m² pour chaque catégorie de milieu.

| | | Pelouse écorchée | P. à <i>Festuca gr. duriuscula</i> | Prairie sèche fauchée | Pelouse à Brachypode Entrée | Pelouse à Brachypode à Genévrier | P. Brachypode à Rosacées arbustives | Clairières sèches | Sous-bois |
|---|------|------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|
| Numéro selon l'emplacement de la figure 1 | | 1 | 2 | 6 | 7 | 3 | 8 | 5 | 4 |
| Nombre de relevés sur 9 m ² | | 16 | 17 | 7 | 7 | 10 | 11 | 8 | 14 |
| | code | PET | PFST | PSPT | PBPK | PBCP | BPF | SPF | SB |
| Caelifères | | | | | | | | | |
| <i>Aiolopus strepens</i> | astr | 0.00 | 3.27 | 3.17 | 1.59 | 1.11 | 4.44 | 2.78 | 0.00 |
| <i>Calliptamus barbarus</i> | cbar | 11.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Calliptamus italicus</i> | cita | 1.39 | 1.31 | 3.17 | 0.00 | 6.67 | 0.00 | 5.56 | 0.00 |
| <i>Chorthippus biguttulus</i> | cbig | 5.56 | 25.49 | 1.59 | 0.00 | 10.00 | 0.00 | 4.17 | 0.00 |
| <i>Euchorthippus declivus</i> | edec | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 0.00 | 1.11 | 0.00 | 1.39 | 0.00 |
| <i>Euchorthippus pulvinatus</i> | epul | 0.69 | 32.03 | 0.00 | 0.00 | 8.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Gomphoceripus rufus</i> | gruf | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.11 | 0.00 | 23.02 |
| <i>Oedipoda caerulescens</i> | ocae | 8.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Omocestus petraeus</i> | opet | 11.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Pezotettix giornai</i> | pgio | 0.00 | 11.76 | 6.35 | 1.59 | 11.11 | 0.00 | 6.94 | 0.00 |
| <i>Stenobothrus lineatus</i> | slin | 0.00 | 1.31 | 1.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ensifères | | | | | | | | | |
| <i>Ephippiger ephippiger</i> | eeph | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.11 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Gryllus campestris</i> | gcam | 0.00 | 0.65 | 1.59 | 3.17 | 0.00 | 0.00 | 2.78 | 0.00 |
| <i>Leptophyes punctatissima</i> | lpun | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Nemobius sylvestris</i> | nsyl | 0.00 | 0.00 | 9.52 | 0.00 | 1.11 | 28.89 | 2.78 | 211.1 |
| <i>Phaneroptera falcata</i> | pfal | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.33 | 10.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Phaneroptera nana</i> | pnan | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.94 | 0.00 | 5.56 | 1.39 | 0.00 |
| <i>Pholidoptera griseoaptera</i> | phgr | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.56 | 0.00 | 6.35 |
| <i>Platycleis grisea</i> | plgr | 0.69 | 0.00 | 3.17 | 0.00 | 3.33 | 0.00 | 1.39 | 0.00 |
| <i>Platycleis tessellata</i> | plte | 0.00 | 1.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Ruspolia nitidula</i> | rnit | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.11 | 1.39 | 0.00 |
| <i>Tettigonia viridissima</i> | tvir | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Tylopsis lilifolia</i> | tlil | 0.00 | 0.65 | 3.17 | 1.59 | 0.00 | 1.11 | 1.39 | 0.00 |
| Mantoptères | | | | | | | | | |
| <i>Empusa pennata</i> | epen | 0.00 | 1.31 | 1.59 | 3.17 | 0.00 | 3.33 | 5.56 | 0.00 |
| <i>Manta religiosa</i> | mrel | 0.00 | 1.96 | 0.00 | 1.59 | 5.56 | 0.00 | 2.78 | 0.00 |
| Densités totales pour 100 m ² | | 39.6 | 81.7 | 49.2 | 23.8 | 52.2 | 62.2 | 40.3 | 240.5 |

Tableau I. Relevés des Orthoptéroïdes récoltés en septembre 1999 et 2000 sur la Côte Pelée de Châteaux (19)

La matrice de 27 relevés x 26 espèces a été traitée de manière à faire ressortir les affinités entre espèces d'une part et entre relevés d'autre part.

1. Affinités entre espèces. Les 3 étapes mises en œuvre sont les suivantes :

- (i) calcul de la matrice triangulaire de corrélation de rang de Spearman entre les espèces prises 2 à 2. Les données n'ayant pas une distribution normale, on ne peut calculer le coefficient de corrélation de Pearson.
- (ii) analyse de cadrage multidimensionnel (MDS pour MultiDimensional Scaling) qui donne une projection dans un espace à 2 dimensions sans contrainte de linéarité dans les distances calculées. L'intérêt est que les 2 premiers axes expriment une proportion de la variance du nuage de point bien supérieure à ce que l'on obtiendrait en effectuant une Analyse Factorielle de Correspondances.

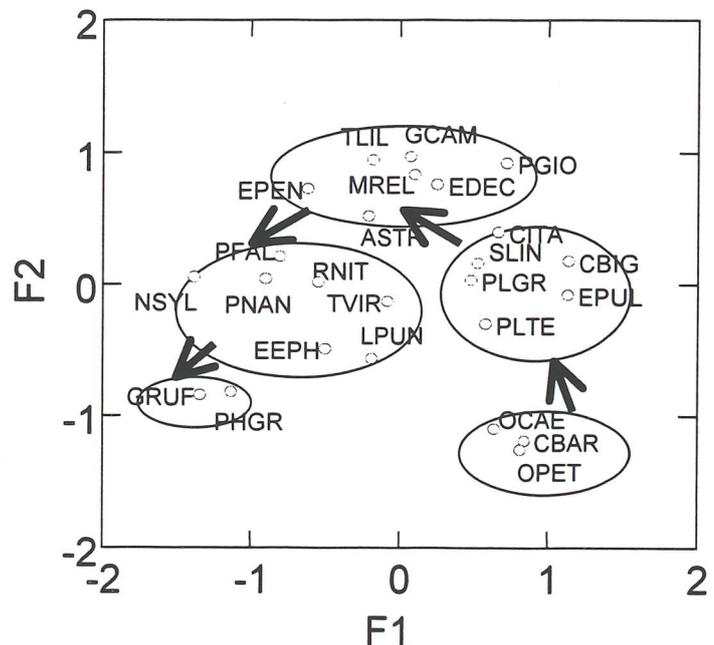
- (iii) classification hiérarchique par calcul des distances euclidiennes entre les espèces avec lien simple, à partir des coordonnées en 2 dimensions fournies par le calcul de MDS.
- 2. Affinités entre relevés. Après avoir transposé la matrice de base, seules les 2 premières étapes précédentes ont été appliquées pour mettre en évidence les transitions entre milieux.

RÉSULTATS

1. Affinités entre espèces

La figure 2 montre clairement une distribution en arc de cercle presque fermé sur lui-même. Les espèces caractéristiques des pelouses écorchées sont situées vers le bas à droite. Les espèces suivantes dans le gradient se succèdent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour terminer aux espèces de sous-bois dans la partie en bas à gauche.

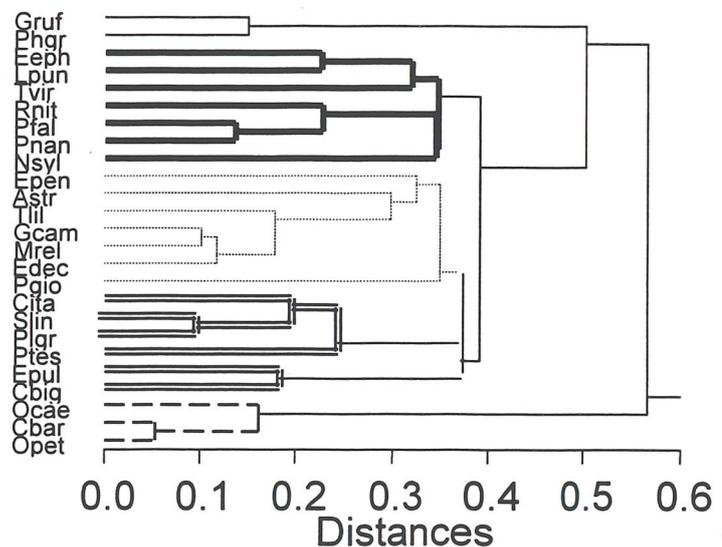
Figure 2 : Succession des associations d'espèces d'Orthoptéroïdes selon la dynamique végétale. Pourcentage de variance exprimée sur les 2 premières dimensions : 83,0%.
Signification des codes d'espèces : voir tableau I.



Les groupements d'espèces indiqués par les ellipses sont justifiés par la classification hiérarchique de la figure 3.

Figure 3 : Groupements à lien simple des espèces d'après les coordonnées MDS.

Code des espèces : voir tableau I.



Cinq synusies ou groupes d'espèces peuvent être mises en évidence (tableau II)

| S1. Pelouse écorchée | | S4. Pelouse à brachypode de l'ourlet forestier | | code |
|---|---------------------------------|--|----------------------------------|------|
| | <i>Calliptamus barbarus</i> | code | <i>Phaneroptera falcata</i> | pfal |
| | <i>Oedipoda caerulescens</i> | cbar | <i>Phaneroptera nana</i> | pnan |
| | <i>Omocestus petraeus</i> | ocae | <i>Ephippiger ephippiger</i> | eeph |
| S2. Pelouse xérophile et thermophile | | opet | <i>Ruspolia nitidula</i> | rnit |
| | <i>Euchorthippus pulvinatus</i> | epul | <i>Leptophyes punctatissima</i> | lpun |
| | <i>Chorthippus biguttulus</i> | cbig | <i>Tettigonia viridissima</i> | tvir |
| | <i>Calliptamus italicus</i> | cita | <i>Nemobius sylvestris</i> | nsyl |
| | <i>Stenobothrus lineatus</i> | slin | S5. Sous-bois | |
| | <i>Platycleis grisea</i> | plgr | <i>Gomphocerripus rufus</i> | gruf |
| | <i>Platycleis tessellata</i> | plte | <i>Pholidoptera griseoaptera</i> | phgr |
| S3. Prairie fauchée / pelouse sèche méso- à mésoxérophile | | | | |
| | <i>Pezotettix giornai</i> | pgio | | |
| | <i>Euchorthippus declivus</i> | edec | | |
| | <i>Aiolopus strepens</i> | astr | | |
| | <i>Gryllus campestris</i> | gcam | | |
| | <i>Tylopsis lilifolia</i> | tlii | | |
| | <i>Mantis religiosa</i> | mrel | | |
| | <i>Empusa pennata</i> | epen | | |

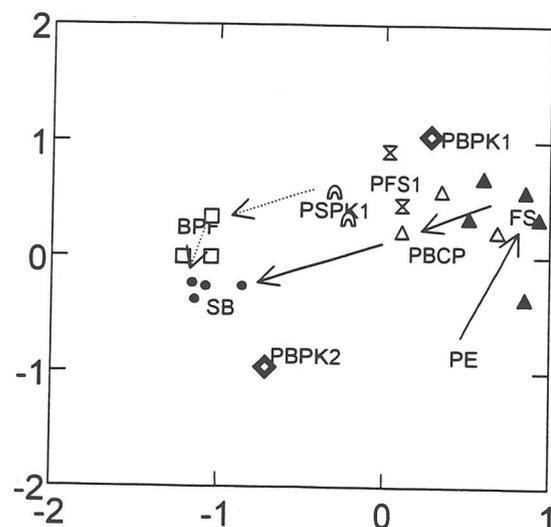
Tableau II. Synusies d'Orthoptéroïdes selon la dynamique végétale.

Les groupements extrêmes (pelouses écorchées et sous-bois) dans le gradient de dynamique végétale ont l'orthoptérofaune la plus pauvre avec des espèces très spécialisées. Les pelouses xérophiles et mésophiles sont surtout riches en criquets tandis que les stades préforestiers sont composés essentiellement de sauterelles. Ce mode de représentation ne traduit pas la largeur de niche de chaque espèce, c'est-à-dire la plus ou moins forte présence en dehors du milieu dans laquelle l'espèce a son centre de gravité.

3. Affinités entre relevés

La position des relevés par MDS est indiquée dans la figure 4.

Figure 4. Projection des relevés par MDS.
 Les flèches indiquent la dynamique végétale.
 Pourcentage de variance exprimée sur les 2 premières dimensions : 73,3%
 Signification des symboles (cf tableau I)
 Cercles vides : pelouse écorchée; triangles noirs: pelouse sèche à *Festuca gr. duriuscula*; triangles clairs : pelouse à brachypode de la côte pelée; sabliers vides : clairières sèches; losanges gras : pelouse à brachypode de l'entrée; dômes vides : prairie fauchée de l'entrée; carrés vides : pelouse à brachypode embuissonnée par des Rosacées; cercles noirs : sous-bois.



Dans une première approche, on peut reconnaître le sens de progression inverse des aiguilles d'une montre défini à propos des espèces. Les relevés de pelouse écorchée sont en bas à droite de la figure tandis que les sous-bois sont situés en bas à gauche. La composition de l'orthoptérofaune de l'ourlet préforestier est très voisine de celle des sous-bois.

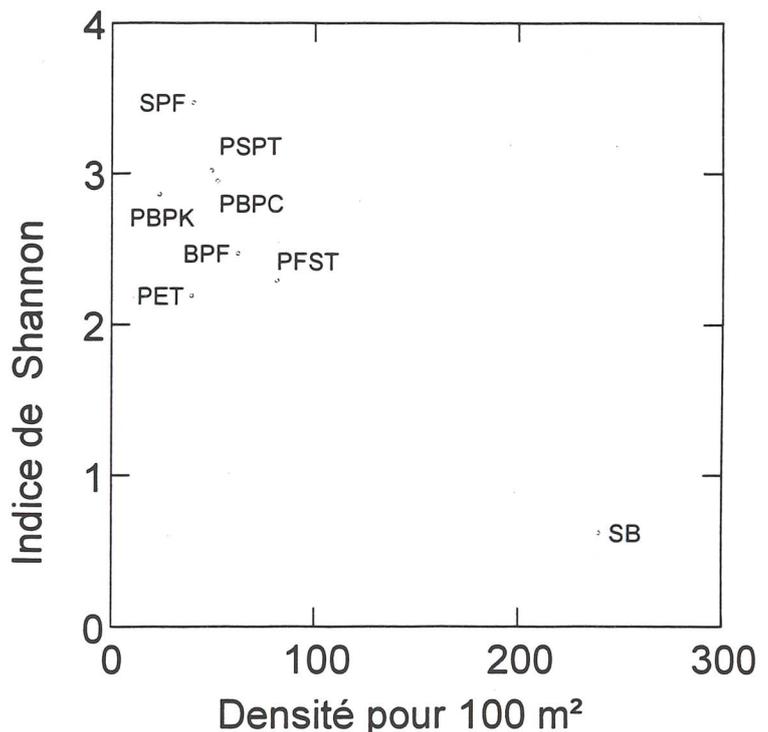
Dans le détail, on observe des situations différentes entre la partie Côte Pelée proprement dite et la partie entrée avec fauchage annuel. Les pelouses à brachypode en particulier sont extrêmement différentes. Dans la partie Côte Pelée, leur composition est très voisine de celle des pelouses à *Festuca gr. duriuscula*. En revanche, dans la partie entrée, elles ont une composition peu homogène et ne sont pas intermédiaires entre les prairies fauchées et l'ourlet préforestier. La composition des grandes clairières sèches, ou pelouses sèches préforestières, témoigne d'une originalité par rapport aux autres groupements herbacés.

4. Paramètres de peuplements

Les variations de diversité mesurée par l'indice de Shannon en fonction de la densité rapportée à 100 m² sont illustrées sur la figure 5.

Figure 5. Paramètres de peuplement des relevés synthétiques du tableau 1.

Code des relevés : voir tableau 1.



Les sous-bois sont caractérisés par une forte densité et une faible diversité puisqu'il n'y a que 3 espèces dont 2 vraiment spécifiques (*Gomphocerripus rufus* et *Pholidoptera griseoptera*), *Nemobius sylvestris* débordant largement dans l'ourlet préforestier.

Dans les groupements herbacés ouverts, les clairières sèches montrent des peuplements denses et diversifiés mais à l'opposé, les pelouses écorchées sont pauvres en individus et en espèces. Cependant, les densités les plus faibles sont observées dans les pelouses à brachypode de l'entrée.

DISCUSSION

La faune orthoptérologique de la Côte Pelée est très riche par rapport à la région du Limousin où 67 espèces ont été recensées. En effet, aux 25 espèces citées dans le tableau I, il faut rajouter *Oecanthus pellucens* (rencontré en Août 1995), *Omocestus rufipes* (Octobre 1998) et *Oedipoda germanica* (septembre 1999 et septembre 2000). La richesse faunistique du secteur serait bien entendue enrichie si l'on prenait en compte les milieux humides des vallées avoisinantes, avec notamment *Parapleurus alliaceus*, *Stetophyma grossum* et *Chrysochraon dispar* (BONNET, 1996).

Cette richesse globale est comparable à celle de la vallée de Planchetorte près de Brive (PETIT, 1991) où 27 espèces d'Orthoptères avaient été identifiées dans les milieux humides à xériques et sous-bois.

1. Affinités des différentes synusies rencontrées

Les synusies de S1 à S5 définies dans ce travail montrent une correspondance avec les unités syntaxonomiques supérieures du système de DEFAUT (1994).

- S1 (*Calliptamus barbarus*, *Oedipoda caerulescens*, *Omocestus petraeus*) ne comprend que des espèces appartenant aux *Oecanthea pellucentis*, c'est-à-dire des synusies méditerranéennes mésophiles à xérophiles.
- S2 comprend 3 espèces appartenant aux *Ephippigeretea vitium*, des synusies xérophiles de plaine (*Chorthippus biguttulus*, *Stenobothrus lineatus*, *Platycleis grisea*) et 2 autres aux *Oecanthea pellucenti* (*Platycleis tessellata*, *Euchorthippus pulvinatus*). *Calliptamus italicus* fait partie des synusies subméditerranéennes, les *Chorthippetea binotati*.
- S3 comprend surtout des espèces des *Oecanthea pellucenti* (*Pezotettix giornai*, *Aiolopus strepens*, *Tylopsis lilifolia*, *Mantis religiosa* et *Empusa pennata*). *Euchorthippus declivus* appartient aux *Roselianetea roeseli*, synusies des plaines eurosibériennes. *Gryllus campestris* est mal caractérisée.
- S4 est composée surtout d'espèces des *Nemobietea sylvestris*, c'est-à-dire les synusies des bois denses en climat eurosibérien à subméditerranéen (*Ruspolia nitidula*, *Leptophyes punctatissima*, *Tettigonia viridissima* et *Nemobius sylvestris*). *Phaneroptera nana* appartient aux *Oecanthea pellucenti*. *Phaneroptera falcata* appartient aux *Roselianetea roeseli*. Enfin, *Ephippiger ephippiger* est inclus dans les *Ephippigeretea vitium*.
- S5 ne comprend que 2 espèces (*Gomphocerripus rufus* et *Pholidoptera griseoptera*) appartenant aux *Nemobietea sylvestris*.

La division la mieux représentée (10 espèces) est donc celle des *Oecanthea pellucentis*, ce qui traduit l'affinité méditerranéenne de cette orthoptérofaune. Viennent ensuite les 7 espèces liées aux bois, faisant partie de la division des *Nemobietea sylvestris*.

2. Parallélisme entre dynamique végétale et succession entomologique

Les Orthoptères sont sensibles à la structure des formations végétales ainsi qu'aux conditions microclimatiques. Ainsi, les pelouses à brachypode ont une composition entomologique peu homogène avec une opposition entre 2 catégories. En effet, les

peuplements orthoptérologiques sur brachypode penné ± colonisé par le Genévrier commun dans la zone la plus thermophile ressemblent aux peuplements voisins du point de vue situation, c'est-à-dire ceux des pelouses à *Festuca gr. duriuscula*. Dans la zone moins xérophile et thermophile, vers l'entrée, les pelouses à brachypode, ± colonisées par des arbustes appartenant aux Rosacées, sont pauvres en criquets.

Cette opposition entre catégories se retrouve dans la conception qu'en donnent BARBARO et COZIC (1998) à propos de la flore des pelouses calcicoles du Vercors. Selon ces auteurs, le premier cas correspond à des groupements mésoxérophiles à mésophiles oligotrophes sur calcaires durs et marneux avec pâturage en parcours. Le second correspond à des groupements méso-neutrophiles (marnes, argiles de décarbonatation et colluvions), avec pâturage en parcs.

A notre sens, il y a 3 voies relativement indépendantes pouvant mener au stade climacique forestier c'est-à-dire la chênaie pubescente si l'on se base sur les peuplements d'Orthoptéroïdes.

- (i) Dans la zone la plus thermophile, avec un sol squelettique très peu profond, on a une transition entre peuplement de pelouse écorchée ⇒ peuplement de pelouse à *Festuca gr. duriuscula* ⇒ peuplement de pelouse à brachypode à Genévriers ⇒ peuplement de sous-bois
- (ii) Dans la zone la moins thermophile, avec sol plus épais et fauchage régulier des herbes, on a peuplement de pelouse mésoneutrophile ⇒ peuplement de pelouse à brachypode ± parsemée de Rosacées buissonnantes ⇒ peuplement de sous-bois. Il faut noter que les groupements à brachypode pur sont très pauvres en espèce s'ils sont fauchés.
- (iii) Les peuplements de clairières sèches sur sol squelettique peu profond constituent une troisième voie qui ne s'intercale pas de manière logique entre les précédentes. Ces formations résultent peut-être de l'évolution d'anciennes vignes.

3. Gestion des pelouses calcaires en relation avec la dynamique végétale

L'abandon des pratiques agricoles traditionnelles, comme le pâturage extensif d'ovins et caprins a favorisé l'installation de stades préforestiers et forestiers dans de nombreuses régions de France.

En Picardie, le Conservatoire des Sites Naturels créé en 1989 s'est donné pour but de gérer les milieux sensibles en particulier les pelouses calcicoles. On peut citer à titre d'exemple le Mont-Sainte-Hélène (commune de Saint-Pierre-des Champs, Oise), ainsi que la Montagne de Guizancourt (Somme). En effet, parmi les Lépidoptères Rhopalocères caractéristiques des pelouses calcicoles, 13 espèces sur les 29 recensées sont menacées en l'absence de gestion (COUTANCEAU *et al.*, 1993). Parmi les travaux engagés, il est question de détruire les 4/5èmes des arbustes et buissons au Mont-Sainte-Hélène de manière à maintenir une hétérogénéité des habitats puis de soumettre les milieux herbacés à des pâturages tournants.

Peut-on évaluer les risques pesant sur la biodiversité sur la Côte Pelée de Châteaux ?

Au niveau de la zone xérophile, la profondeur du sol est inférieure à 10 cm (lithosol) et le dynamisme végétal est très faible. Il s'agit en conséquence d'un milieu fragile se régénérant très lentement après perturbation. Ainsi, le sentier pédestre qui traverse la Côte Pelée elle-même présente des anastomoses de terrain nu parcourues régulièrement. Il est certain que cela constitue une perturbation qu'il est important de souligner. La quantification des effets de la mise à nu du sol a été entreprise de manière rigoureuse (DUFOUR, 2000) et a montré la chute

brutale de densité et diversité des insectes mais surtout l'absence des espèces caractéristiques des zones nues non perturbées. On n'y trouve en particulier ni *Omocestus petraeus* ni *Euchorthippus pulvinatus*.

Au niveau de la zone d'entrée, le dynamisme végétal important doit continuer à être canalisé par un fauchage et/ou un pâturage. Par ailleurs, il est nécessaire d'entretenir les arbustes et veiller à ce que l'extension actuelle, satisfaisante, ne progresse pas dans l'avenir. La zone est en tout cas très fréquentée actuellement par des promeneurs. On peut déplorer la présence de bouteilles, témoin du non respect de certains visiteurs.

Les clairières posent un problème spécifique et il convient de leur apporter une réponse adaptée. Leur entretien nécessiterait peut-être une pratique pastorale originale, en tout cas différente de la zone d'entrée.

Le but final est naturellement de préserver la diversité des habitats qui sont une des raisons de la remarquable richesse entomologique de la Côte Pelée.

CONCLUSION

La richesse entomologique remarquable de la Côte Pelée de Chasteaux s'explique par une bonne représentation des différents habitats que constituent les étapes de succession végétale depuis le terrain presque nu jusqu'à la forêt de chêne pubescent. Il existe en effet un bon parallélisme entre les peuplements d'insectes et les formations végétales. Il est à souhaiter que les faibles perturbations du milieu ainsi que la maîtrise du développement des formations végétales arbustives permettront un maintien de cette biodiversité.

BIBLIOGRAPHIE

BARBARO, L. et COZIC, P., 1998. Organisation agro-écologique des pelouses et landes calcicoles du Parc Naturel Régional du Vercors (Rhône-Alpes, France). *Ecologie*, 29(3): 443-457.

BONHOMME, M., Intérêt floristique des pelouses calcaro-marneuses du sud-est du bassin de Brive (Corrèze). *J. Bot. Soc. Bot. France* 11: 59-63.

BONNET, E., 1996. Phylogénie et partage des ressources chez les Orthoptères Acridiens. Thèse de Doctorat, Université de Limoges. 162 pp.

BONNET, E. et PETIT, D.P., 1998. Diversité, densité et biomasse des Orthoptères de la ZNIEFF de la source du Ruisseau des Dauges. *Ann. Sci. Du Limousin*.

BOULLET, V. 1986. Les pelouses calcicoles (Festuco-Brometea) du domaine atlantique français et ses abords au nord de la Gironde et du Lot. Essai de synthèse phytosociologique. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Lille. 333 p.

BOULLET, V. 1989. Organisations et dynamiques structurales des anciens parcours pastoraux en milieux calcicoles atlantiques. *Col. Phyto.*, 16 : 157-193.

BRISSE, H. et KERGUÉLEN, M., 1994. Code informatisé de la flore de France. *Bull. Assoc. Inform. Appl. Bot.*, 1, 1-128.

BRUGEL, E. 1995. Deux pelouses calcaires du département de la Corrèze : Côte Pelée de Chasteaux, proposition d'un plan de gestion d'un site protégé, et Puy de Fournet, potentialités écologiques et analyse comparée. Rapport de stage DESS Espace et Milieux, Univ. Paris VII, Jussieu.

COUTANCEAU, J.P., DUQUEF, M. et HERNANDEZ, O., 1993. Les Lépidoptères Rhopalocères menacés des pelouses calcaires en Picardie : inventaire, cartographie des

espèces et gestion écologique des biotopes. Collection patrimoines naturels, vol. 13, série patrimoine écologique. 83-91. Secrétariat de la faune et de la flore. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

DEFAUT, B., 1994. Les synusies orthoptériques en région paléarctique occidentale. Association des Naturalistes de l'Ariège ed., La-Bastide-de-Sérou. 275 pp.

DUFOUR, S., 2000. Etude de la répartition des Orthoptères en fonction de la structure du paysage. Mémoire de maîtrise de B.P.E., faculté des Sciences de Limoges, 35 pp + annexes.

GUEGUEN, A., 1976. Recherches écologiques sur les Orthoptères des zones d'inculture de basse altitude. Cas particulier de *Chrysochraon dispar*. Thèse de 3^{ème} cycle. Université de Rennes.

PETIT, D., 1991. Evaluation de la richesse faunistique de la vallée de la Planchetorte, sud de Brive (Corrèze). Ann. Sci. du Limousin, 7 : 41-59.

S.P.S.S. Inc., 1997. SYSTAT 7.0 pour Windows, statistics and graphics.

Remerciements

Nous remercions E. Brugel et A. Six du Conservatoire des Espaces Naturels du Limousin pour leurs remarques et corrections, ainsi que B. Defaut de l'ASCETE (Bédeilhac) pour ses suggestions.

ASPECTS BIOGEOGRAPHIQUES DE LA DISTRIBUTION DES MICROMAMMIFERES DANS LE LIMOUSIN (FRANCE)

N. INDELICATO

45, rue de l'Alma F-87100 Limoges¹

RESUME - Des investigations réalisées dans la partie granitique du Limousin ont porté sur près de vingt mille pelotes de réjection de *Tyto alba* afin d'étudier la distribution des micromammifères présents dans ces pelotes. Leur étude montre l'existence de vingt-deux petits Mammifères et met en lumière la diversité de la région. Des facteurs comme le paysage humide et fermé ou plus sec et ouvert, le nombre de jours de gel, la prairie temporaire commandent la distribution des espèces. Seuls *Microtus subterraneus* et *Muscardinus avellanarius* sont à la limite occidentale de leurs aires. Les lacunes dans la distribution d'*Apodemus flavicollis*, d'*Arvicola terrestris*, de *Microtus arvalis*, de *Myoxus glis* et de *Neomys anomalus* sont discutées. Le groupement médioeuropéen et le groupement sud-occidental de micromammifères participent au peuplement du Limousin.

MOTS CLES - Biogéographie, facteurs écologiques, distribution, micromammifères, Limousin.

BIOGEOGRAPHICAL ASPECTS IN THE DISTRIBUTION OF THE SMALL MAMMALS IN THE LIMOUSIN (FRANCE)

SUMMARY - Investigations were carried out in the granite part of the Limousin to study almost twenty thousand pellets of *Tyto alba* and analyse the distribution of small Mammals found in these pellets. Their study showed the existence of twenty-two small Mammals and emphasized the diversity of the country. Several ecological factors such as the wet and closed or drier and open landscape, the number of days with frost, artificial meadows mainly acted on the distribution of species. Only *Microtus subterraneus* and *Muscardinus avellanarius* were in the southwestern limit of their areas of distribution. The gaps in the distribution of *Apodemus flavicollis*, *Arvicola terrestris*, *Microtus arvalis*, *Myoxus glis* and *Neomys anomalus* are discussed. The central European group and the southwestern European group of small Mammals contributed to the population of the Limousin.

KEY WORDS - Biogeography, ecological factors, distribution, small Mammals, Limousin.

INTRODUCTION

Le Massif central est considéré par Saint Girons (1989) comme un carrefour de faunes et aussi comme une zone refuge. Dans cet ensemble, le Limousin apparaît comme une région de transition entre le bassin d'Aquitaine sédimentaire à l'ouest et les reliefs élevés du Massif central à l'est. L'atlas des Mammifères de France (S.F.E.P.M., 1984) met en évidence des traits de répartition spécifiques au Limousin : présence d'espèces jumelles dans les genres *Apodemus*, *Arvicola*, *Neomys*, *Pitymys* et *Sorex* du groupe *araneus*, extinction de *Microtus arvalis* au sud de la Corrèze difficile à interpréter (Saint Girons et Spitz, 1966 ; Le Louarn et Saint Girons, 1977). Le but du présent travail

est de montrer en quoi l'organisation de la distribution des petits Mammifères reflète l'hétérogénéité de notre région à travers l'effet de facteurs environnementaux. Des cartes replacent les Mammifères dans l'Eurasie (MacDonald et Barrett, 1995).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les Mammifères sont identifiés par l'analyse des pelotes de *Tyto alba* collectées sur 35 sites du Limousin granitique de 1994 à 1997, avec près de 800 à 1400 proies par site et par an (Tab. I ; Annexes I et II). Les sites se répartissent entre les plaines de la périphérie régionale (11), les zones de collines (13) et de montagne (11). Ils sont représentatifs de la diversité des paysages du Limousin (Fig. 1). La recherche des pelotes et l'identification des espèces proies sont de l'auteur.

| Espèces - taxons Paramètres du milieu | Années de récolte, communes et nombre de proies identifiées | | Effectif (n) de chaque espèce dans les 35 sites | Nombre de sites sur 35 où l'espèce est présente |
|--|--|-------------------------|--|--|
| | 1997 Auriac... | 1996 Chambonchard... | | |
| Micromammifères | | | | |
| <i>Apodemus flavicollis</i> | 13 | 13 | 505 | 29 |
| <i>A. sylvaticus</i> | 184 | 204 | 11628 | 35 |
| <i>Clethrionomys glareolus</i> | 34 | 24 | 2680 | 35 |
| <i>Microtus agrestis</i> | 158 | 112 | 9859 | 35 |
| <i>M. arvalis</i> | 200 | 613 | 13558 | 35 |
| <i>Crocidura russula</i> | 90 | 130 | 8239 | 35 |
| <i>Sorex coronatus</i> | 88 | 63 | 7262 | 35 |
| <i>S. minutus</i> | 14 | 10 | 1084 | 35 |
| <i>Neomys anomalus</i> | 2 | 1 | 157 | 28 |
| <i>N. fodiens</i> | 9 | 2 | 310 | 34 |
| <i>Arvicola sapidus</i> | 1 | 3 | 217 | 33 |
| <i>A. terrestris</i> | 38 | 43 | 1704 | 25 |
| <i>Microtus pyrenaicus</i> | 10 | 6 | 1017 | 35 |
| <i>M. subterraneus</i> | 0 | 5 | 232 | 18 |
| <i>Micromys minutus</i> | 8 | 7 | 233 | 32 |
| <i>Muscardinus avellanarius</i> | 0 | 3 | 29 | 10 |
| <i>Talpa europaea</i> | 0 | 4 | 61 | 27 |
| <i>Eliomys quercinus</i> | 0 | 2 | 23 | 12 |
| <i>Myoxus glis</i> | 0 | 3 | 17 | 10 |
| <i>Mus musculus</i> | 1 | 6 | 221 | 34 |
| <i>Rattus norvegicus</i> | 0 | 2 | 55 | 22 |
| <i>R. rattus</i> | 1 | 2 | 18 | 13 |
| groupe Amphibiens | 5 | 10 | 549 | 33 |
| groupe Divers | 1 | 5 | 125 | 33 |
| Total des proies | 857 | 1273 | 59783 | |
| Altitude (m) | 600 | 320 | | |
| Pluviométrie (mm) | 1250 | 801 | | |
| Nombre de jours de gel | 79 | 99 | | |
| Ouverture du milieu (%) | 48 % | 70 % | | |
| Nombre de bâtiments | 29 | 45 | | |

TABLEAU I - Tableau espèces - sites (une partie) relatif à l'inventaire des proies présentes dans les pelotes de réjection de *Tyto alba* récoltées sur les 35 sites de l'étude numérique.



Figure 1 - Localisation des 35 sites de l'analyse numérique. D'autres sites (croix) ne sont pas concernés par l'analyse statistique.

Brive-la-Gaillarde recouvre trois sites : Saint-Viance 140 m d'altitude, La Chapelle-aux-Brocs 220 m et Lissac-sur-Couze 200 m. La cartographie est celle de l'IGN au 1/50000e. Départements du Limousin : la Haute-Vienne, la Creuse et au sud la Corrèze. Surface du Limousin : 16942 km². Point culminant : 976 m, près de Meymac.

Selon le climat : symboles noirs, climat atlantique relativement humide et doux ; symboles clairs, climat atlantique évoluant progressivement vers une tendance continentale. La ligne de changement du régime des pluies va de Jouac au Mas-d'Artige et longe l'extrême Est de la Corrèze jusqu'à Aurillac, atlantique à l'ouest, continental de transition à l'est (Vilks, 1991).

Distribution altitudinale des sites : plaine (< 400 m, cercles), colline (< 650 m, carrés) et montagne (≥ 650 m, triangles, zone grise). La Montagne limousine comprend le plateau de Millevaches.

La ligne pointillée délimite les sites < 99 jours de gel par an à l'ouest et > 99 jours à l'est (jusqu'à 130). Les hauteurs de Meymac à Saint-Setiers dominent les adrets et marquent le partage des eaux vers les bassins de la Loire et de la Garonne. Les gros tirets indiquent le contact du Massif central granitique avec le bassin d'Aquitaine sédimentaire.

L'identification des proies recourt aux publications spécialisées et aux ouvrages suivants : Saint Girons, 1973 ; Chaline et al., 1974 ; Hausser et Jammot, 1974 ; Le Louarn et Saint Girons, 1977 ; Hausser, 1978 ; Wolff et al., 1980 ; Catalan et Poitevin, 1981 ; Erome et Aulagnier, 1982 ; Brunet-Lecomte, 1986 ; Poitevin et al., 1986 ; Menu et Popelard, 1987 ; Cuisin, 1989 ; Castells et Mayo, 1993 ; Brunet-Lecomte et al., 1996 ; Turni et Muller, 1996 ; Indelicato et Charissou, 1997.

Cinq paramètres du milieu sont étudiés sur chacun des trente-cinq sites de prospection. Le **premier** porte sur la pluviométrie annuelle (de 801 à 1661 mm) et le **second** sur le nombre annuel de jours de gel (de 64 à 130 jours) : ces données proviennent ou ont été extrapolées des cartes de Vilks (1991). Le **troisième** concerne l'altitude du lieu dans lequel les pelotes ont été récoltées (de 200 à 890 m, moyenne 524 m, écart-type 185 m) et a été déterminé d'après les cartes IGN au 1/50000e. L'altitude toutefois est corrélée au gel et à la pluie ($r_s = 0,84$ et $r_s = 0,72$ respectivement, $P < 0,001$), aux ruptures de pente aussi et aux refuges dans des paysages « d'hier ». Le rayon de chasse est fixé à 1 km autour du site car le nombre élevé de pelotes confirme que le rapace, la pluie aidant, est sédentaire. Le **quatrième** paramètre est l'ouverture du milieu (de 15 à 97 %) ou pourcentage de surface non boisée calculé dans un cercle transparent et millimétré correspondant à 1 km de rayon centré sur le site. Le **cinquième** est le nombre de bâtiments d'habitation et de ferme (entre 15 et 90) comptés dans le même cercle, élargi parfois à 1,25 km de rayon si les bâtiments touchent le cercle.

Les données sont traitées par une analyse factorielle des correspondances (AFC) et par une classification hiérarchique des espèces et des sites en utilisant le logiciel STAT-ITCF (1988). Ces traitements résument l'information contenue dans le tableau espèces - sites. Le logiciel EXCEL® a permis de réaliser les graphiques et de faire les calculs concernant le coefficient de corrélation et les indices qui permettent d'apprécier la diversité du peuplement en micromammifères des stations. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman (r_s) mesure la relation qui existe entre deux séries de données, sans la contrainte de « normalité », avec une probabilité (P) de commettre une erreur qui soit faible et inférieure à 0,05 ou 5 % (Couty et al., 1996). L'indice de Shannon (H) mesure la diversité spécifique du milieu qui dépend du nombre d'espèces présentes et de leur abondance, puis l'indice de régularité (E) permet de comparer la diversité spécifique de différents peuplements (in Dajoz, 1996).

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Le tableau espèces - sites réalisé contient en colonne les 35 sites et en ligne l'effectif en valeur absolue de 24 taxons. On recense 22 espèces de micromammifères (Rongeurs et Insectivores), le groupe des Amphibiens et celui des espèces accidentelles (Divers). Le total s'élève à 59783 proies.

Le tableau espèces - sites (Annexe II A et B) est traité par analyse factorielle des correspondances simples, en mettant les paramètres du milieu en éléments supplémentaires hors calculs. L'analyse extrait trois axes ou facteurs écologiques qui résument 76,6 % de l'information contenue dans les données. L'analyse renvoie le degré de dépendance des espèces aux axes dégagés (Tab. II) et les représentations graphiques des résultats (exemple en figure 2). Les contributions des sites et des espèces à la constitution des axes, indiquées par l'analyse des correspondances, sont utilisées pour trouver la signification des axes. Il est possible aussi, au moyen du coefficient de corrélation de Spearman (r_s), de mettre en relation les coordonnées des sites sur les axes issus de l'analyse des correspondances avec les paramètres du milieu, ce qui facilite l'interprétation de chaque axe.

L'axe 1 (49,2 % de l'inertie) est expliqué par l'altitude ($r_s = - 0,78$), par la pluie ($r_s = - 0,79$) et par l'ouverture du paysage ($r_s = 0,76$, $P < 0,001$). Si l'on en juge par ces valeurs, quand l'altitude s'abaisse, les précipitations annuelles diminuent et l'ouverture du paysage augmente (par l'impact de

l'activité humaine). Les contributions à la formation de l'axe sont celles de Saint-Yrieix-le-Déjalat face à Saint-Sulpice-le-Dunois, de *Microtus agrestis* face à *Microtus arvalis*. Les altitudes respectives des deux sites en cause sont de 747 m et 310 m, les hauteurs de pluie de 1661 mm et 880 mm, les ouvertures du paysage de 60 % et 85 %. L'axe 1, de direction S-N, oppose la montagne humide et fermée à la plaine plus sèche et découverte, et deux espèces typiques de ces paysages.

L'axe 2 (17,4 % de l'inertie) est en corrélation significative avec le gel ($r_s = 0,64$, $P < 0,001$). Les jours avec gel augmentent suivant un gradient d'orientation SO-NE. Châlus et *Crocidura russula* contribuent à la formation de l'axe par rapport à Le Compas et à *Sorex coronatus*. Le premier site côté doux au vent d'océan est caractérisé par 68 jours de gel par an, le second par 108 jours de gel. Le climat océanique évolue vers une tendance continentale (gel, remontée des pluies d'été et climat moins pluvieux dans l'ensemble) par opposition des versants et par éloignement vers l'est.

L'axe 3 (10 % de l'inertie) n'est pas corrélé aux paramètres du milieu définis. La présence d'*Arvicola terrestris* dans la commune de Mercoeur Est contribue à sa formation par rapport à celle des Amphibiens de la région de Châlus. Un agriculteur de Mercoeur Est (communication personnelle) a toujours connu le rongeur, pas le ravageur qui à présent pullule dans certaines prairies. L'extension de la prairie temporaire portant des plantes fourragères riches, au détriment de la prairie permanente ou semi-naturelle, est bénéfique à l'espèce (Saucy, 1988 ; Kopp, 1993).

| Signification donnée aux facteurs de l'AFC | Milieu moins pluvieux (ouvert) | Gel (continentalité) | Pas ou peu de prairie temporaire | Somme des valeurs |
|--|--------------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------|
| <i>Apodemus flavicollis</i> | 39 - | 6 | 5 - | 50 % |
| <i>A. sylvaticus</i> | 15 - | 30 - | 0 | 45 % |
| <i>Clethrionomys glareolus</i> | 27 - | 11 - | 1 - | 39 % |
| <i>Microtus agrestis</i> | 75 - | 0 | 1 | 76 % |
| <i>M. arvalis</i> | 90 | 8 | 1 - | 99 % |
| <i>Crocidura russula</i> | 26 | 52 - | 4 | 82 % |
| <i>Sorex coronatus</i> | 52 - | 35 | 3 | 90 % |
| <i>S. minutus</i> | 44 - | 14 | 8 | 66 % |
| <i>Neomys anomalus</i> | 30 - | 9 | 3 | 42 % |
| <i>N. fodiens</i> | 32 - | 19 | 9 | 60 % |
| <i>Arvicola sapidus</i> | 4 - | 12 - | 7 | 23 % |
| <i>A. terrestris</i> | 25 - | 0 | 67 - | 92 % |
| <i>Microtus pyrenaicus</i> | 4 - | 41 - | 7 | 52 % |
| <i>M. subterraneus</i> | 1 - | 42 | 3 | 46 % |
| <i>Micromys minutus</i> | 4 | 9 | 11 | 24 % |
| <i>Muscardinus avellanarius</i> | 1 | 21 | 0 | 22 % |
| <i>Talpa europaea</i> | 15 | 12 | 1 | 28 % |
| <i>Eliomys quercinus</i> | 2 | 4 | 0 | 6 % |
| <i>Myoxus glis</i> | 3 | 8 - | 2 | 13 % |
| <i>Mus musculus</i> | 1 | 9 - | 2 | 12 % |
| <i>Rattus norvegicus</i> | 9 | 0 | 0 | 9 % |
| <i>R. rattus</i> | 0 | 0 | 15 - | 15 % |
| groupe Amphibiens | 2 | 0 | 18 | 20 % |

TABLEAU II - Degré de dépendance des espèces par rapport aux facteurs dégagés par l'AFC (valeur en pourcentage).

Le signe « - » mis à droite des valeurs signifie que la coordonnée du point espèce est négative ; il donne le sens dans lequel agit le facteur. Les facteurs expliquent à près de 50 % ou plus les exigences écologiques de onze espèces.

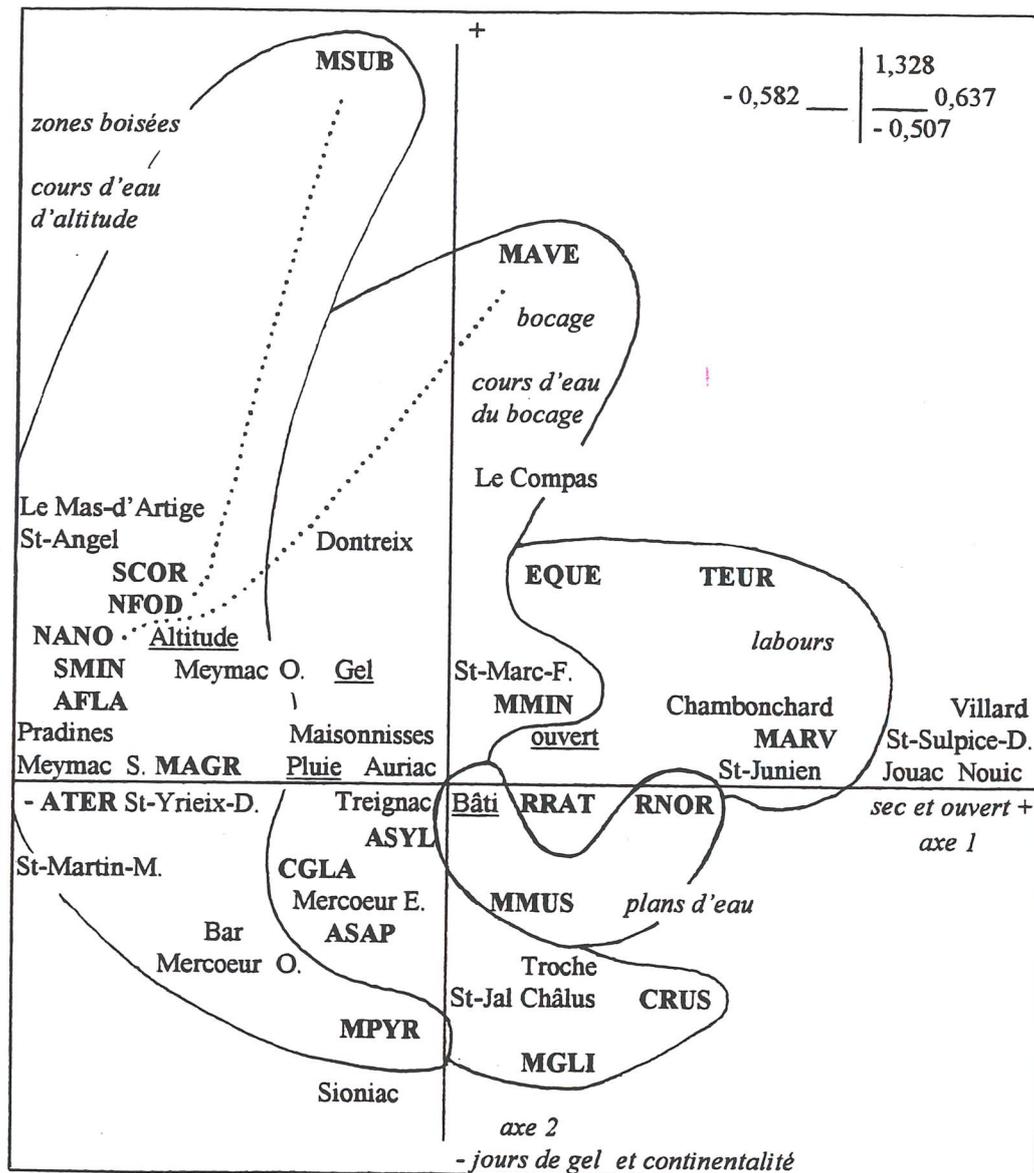


Figure 2 - Dispersion des espèces et de quelques sites du Limousin granitique dans le plan principal de l'AFC. Les résultats de la classification des espèces (voir ci-contre) sont ajoutés.

Les coordonnées extrêmes des espèces sont celles d'*Arvicola terrestris* et *Microtus arvalis* sur l'axe 1, de *Myoxus glis* et *Microtus subterraneus* sur l'axe 2. Amphibiens et Divers se confondent avec le point « Bâti ». Abréviations et noms des vingt-deux micromammifères :

| | | | |
|------|--|------|--|
| AFLA | <i>Apodemus flavicollis</i> , Mulot à collier | MMIN | <i>Micromys minutus</i> , Rat des moissons |
| ASAP | <i>Arvicola sapidus</i> , Campagnol amphibie | MMUS | <i>Mus musculus</i> , Souris grise |
| ASYL | <i>Apodemus sylvaticus</i> , Mulot sylvestre | MPYR | <i>Microtus pyrenaeicus</i> , Campagnol des Pyrénées |
| ATER | <i>Arvicola terrestris</i> , Campagnol terrestre | MSUB | <i>Microtus subterraneus</i> , Campagnol souterrain |
| CGLA | <i>Clethrionomys glareolus</i> , Camp. roussâtre | NANO | <i>Neomys anomalus</i> , Musaraigne de Miller |
| CRUS | <i>Crocidura russula</i> , Musaraigne musette | NFOD | <i>Neomys fodiens</i> , Musaraigne aquatique |
| EQUE | <i>Eliomys quercinus</i> , Lérôt | RNOR | <i>Rattus norvegicus</i> , Rat surmulot |
| MAGR | <i>Microtus agrestis</i> , Campagnol agreste | RRAT | <i>Rattus rattus</i> , Rat noir |
| MARV | <i>Microtus arvalis</i> , Campagnol des champs | SCOR | <i>Sorex coronatus</i> , Musaraigne couronnée |
| MAVE | <i>Muscardinus avellanarius</i> , Muscardin | SMIN | <i>Sorex minutus</i> , Musaraigne pygmée |
| MGLI | <i>Myoxus glis</i> , Loir gris | TEUR | <i>Talpa europaea</i> , Taupe d'Europe. |

Groupements des espèces par la classification hiérarchique descendante (distance du khi2)

Le tableau espèces - sites est traité par une méthode de classification qui subdivise l'ensemble des espèces en petits groupements qui montrent une forte similarité de biotope (Fig. 3). Le premier groupement, depuis *Arvicola terrestris* jusqu'à *Microtus pyrenaicus*, comprend les espèces fouisseuses ou forestières des biotopes pluvieux où les prairies toujours en herbe et la forêt sont en voisinage. Le second révèle les espèces plus actives à la surface du sol que fouisseuses : il est expliqué par *Clethrionomys glareolus* et par *Muscardinus avellanarius*, espèces caractéristiques des buissons et des boisements à sous-bois dense (Le Louarn et Saint Girons, 1977), souvent riverains ou en marge des terres cultivées. Le troisième rassemble *Rattus rattus*, *Microtus arvalis*, *Talpa europaea* et *Eliomys quercinus*, espèces fouisseuses qui occupent les biotopes ouverts, même dénudés, pourvu qu'ils ne soient pas hydromorphes. *Microtus subterraneus* et *Neomys fodiens*, aptes à creuser des terriers (Saint Girons, 1973), vont ensemble près des cours d'eau et forment le quatrième. La réunion de *Rattus norvegicus*, de *Mus musculus* et des Amphibiens dans le cinquième paraît résulter de leur propension à venir près des étangs. Liés aussi aux rives des cours d'eau, à condition que le couvert végétal soit dense, *Muscardinus avellanarius* et *Neomys anomalus* constitueraient le sixième. La classification fait ressortir l'importance du couvert végétal et des cours d'eau. Elle complète l'AFC. Si les *Neomys* amphibies sont largement répandus, *Muscardinus avellanarius* et *Microtus subterraneus* n'existent que dans le nord-est du Limousin : les espèces forment donc deux groupements localement forts, ce que ne suggère pas l'AFC qui est globale. Pour visualiser les groupements sur la figure 2, on peut dessiner des enveloppes autour des espèces ou les relier par un trait.

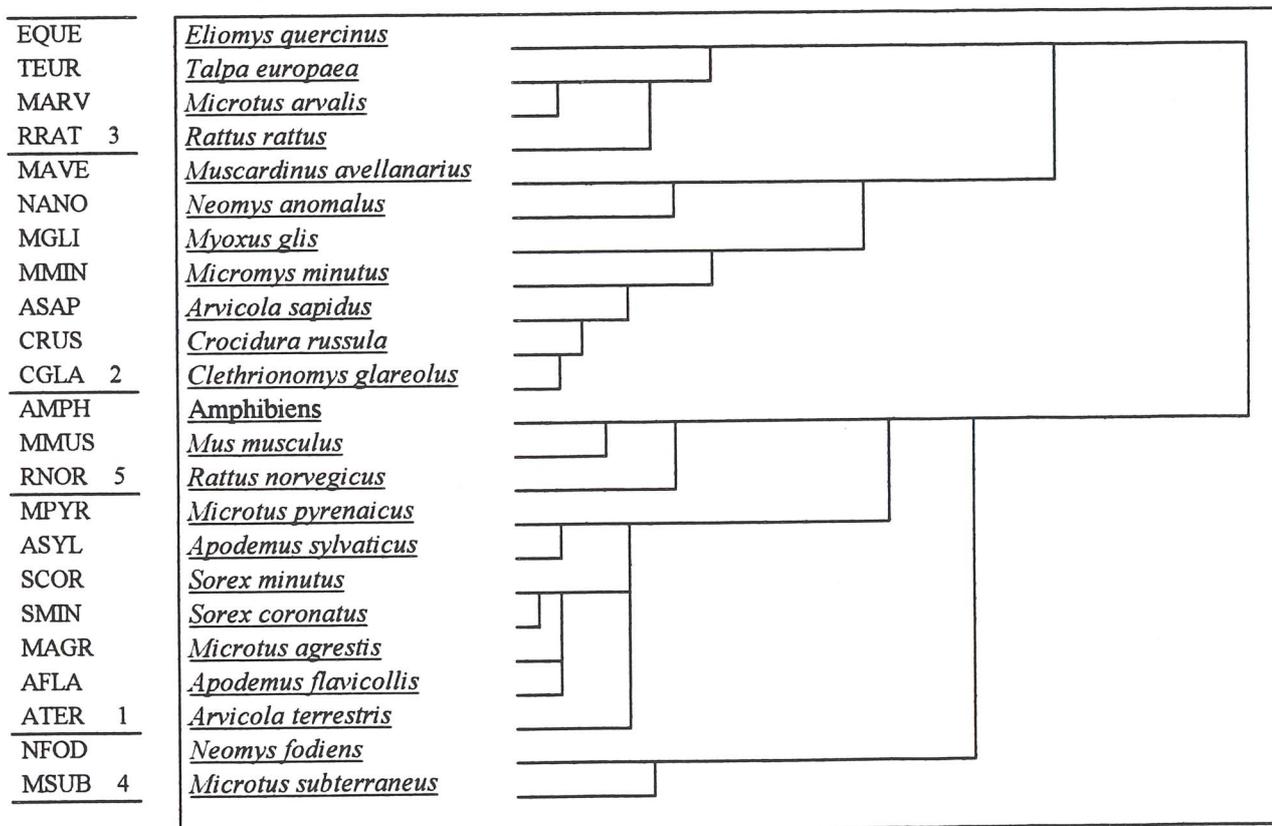


Fig. 3 - Arbre hiérarchique (dendrogramme) représentant les affinités écologiques entre les espèces.

Répartition des sites en sept groupes

Le sous-sol granitique imperméable et le climat atlantique caractérisent une large part du Limousin. Les températures moyennes annuelles chutent de 12 °C à 7,5 °C (Vilks, 1991). Toutefois, la frange méridionale de Brive à Sioniac (bassin de Brive sédimentaire) de type thermo-atlantique (Ozenda, 1994) fait exception. La bordure cristalline surélevée du Massif central s'arrête là au-dessus du bassin d'Aquitaine, par des versants en pente forte de plus de 30 % et laissés à la forêt par nécessité (Bonfils, 1976).

Sur la base seule de la composition en micromammifères, l'AFC rassemble les sites de plaine à droite de l'axe 1 à l'exception de Sioniac (Fig. 2). Châlus et Troche sont entraînés vers le bas de l'axe 2. Saint-Yrieix-le-Déjalat et Meymac Sud sont localisés à part des sites d'altitude. Les sites collinéens des adrets de St-Jal à Mercoeur ou Auriac, et des ubacs de Maisonnisses au Compas sont échelonnés le long de l'axe 2 à l'exception de Saint-Martin-la-Méanne. Mais Auriac éloigné à l'est se confond presque avec Maisonnisses. Dans chaque classe d'altitude, plaine, colline et montagne, les sites sont répartis en deux groupes : le premier face aux vents humides d'origine océanique est cerné par un climat humide et plus ou moins doux ; le second se rapporte à un climat océanique qui évolue progressivement vers une tendance continentale. Aux six groupes ainsi distingués, il faut ajouter le septième, l'extrême sud thermo-atlantique.

Le tableau III des espèces par rapport aux sept groupes de sites montre la présence de quatorze Mammifères sur la quasi-totalité de la région d'étude. *Myoxus glis* manque en montagne. *Muscardinus avellanarius* et *Microtus subterraneus* ne se rencontrent pas dans les zones de climat humide et doux. Il en est de même pour *Arvicola terrestris* et pour *Apodemus flavicollis* qui manquent dans la plaine de climat humide et doux. En plaine nord, la richesse spécifique (S 22) est maximale car les petites faunes venues de l'est et du sud s'imbriquent. La diversité spécifique et l'indice de régularité sont toutefois moins élevés car 48,3 % de *Microtus arvalis* dominant le peuplement. L'abondance des espèces change avec l'altitude. *Microtus arvalis* ne compte plus que pour 9,5 %, *Crocidura russula* fléchit, par contre *Microtus agrestis*, les *Sorex* et les *Neomys* progressent, ce qui produit un équilibre car les indices s'élèvent et se stabilisent. Le flanc sud-ouest, Monts de Châlus et Troche dans la plaine AH, possède une richesse spécifique moindre (S 16).

SYNTHÈSE SUR LA DISTRIBUTION DES PETITS MAMMIFÈRES

Les rongeurs forestiers se déplaçant en zone ouverte

Apodemus flavicollis est plus attaché à la forêt d'altitude, à la futaie, que le groupe *Clethrionomys glareolus* - *Apodemus sylvaticus* car ces derniers sont inféodés aussi aux taillis de basse altitude. Or *Apodemus flavicollis* n'est pas très lié au gel et il occupe aussi la forêt de plaine : bassin de Brive, gorges de la Benaize, chênes riverains de Villard, vallée de Chambonchard. Sa présence va de pair avec celle de grands arbres, essentiellement les feuillus car les résineux de la montagne AH lui conviennent moins (Tab. III). Si l'homme n'était pas intervenu, il serait présent partout. Les Monts de Châlus (plaine AH), boisés, assez humides mais séparés de la Montagne par une large plaine, en restent dépourvus : son faible pouvoir de dispersion est en cause. *Apodemus flavicollis* semble être un bioindicateur de la continuité forestière. Notre région convient moins aux dormeurs suivants.

| Classes des altitudes Groupes de sites Symboles de la figure 1 | plaine | | | colline | | montagne | | % sur 59783 proies |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|--------------------------|
| | TC ○ | AH ● | TH ● | TC □ | AH ■ | TC △ | AH ▲ | |
| <i>Apodemus flavicollis</i> | 0,2 | - | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 0,8 | <u>0,8</u> |
| <i>A. sylvaticus</i> | 15 | 22,5 | 31 | 18,7 | 23,5 | 18,5 | 18 | <u>19,3</u> |
| <i>Clethrionomys glareolus</i> | 2,2 | 4,7 | 4 | 4,9 | 6,2 | 4 | 5,5 | <u>4,5</u> |
| <i>Microtus agrestis</i> | 7 | 13 | 23 | 13,3 | 18,5 | 24 | 23 | <u>16,5</u> |
| <i>M. arvalis</i> | 48,3 | 22 | 0,3 | 24,5 | 13,8 | 13,7 | 9,5 | <u>22,7</u> |
| <i>Crocidura russula</i> | 17,7 | 24,2 | 27,5 | 8,5 | 14,5 | 6 | 12,2 | <u>13,8</u> |
| <i>Sorex coronatus</i> | 4,8 | 4,7 | 6,2 | 17,8 | 10,3 | 20 | 17,7 | <u>12,2</u> |
| <i>S. minutus</i> | 0,6 | 0,8 | 1 | 2,6 | 1,8 | 3 | 2,5 | <u>1,8</u> |
| <i>Neomys anomalus</i> | 0,05 | 0,2 | - | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | <u>0,3</u> |
| <i>N. fodiens</i> | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 1 | 0,5 | 0,9 | 0,4 | <u>0,5</u> |
| <i>Arvicola sapidus</i> | 0,1 | 1 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | <u>0,4</u> |
| <i>A. terrestris</i> | 0,3 | - | 0,1 | 1,4 | 5,3 | 3,3 | 6,5 | <u>2,9</u> |
| <i>Microtus pyrenaicus</i> | 0,8 | 3,5 | 1,7 | 1,2 | 2,4 | 1,5 | 1,5 | <u>1,7</u> |
| <i>M. subterraneus</i> | 0,2 | - | - | 1,3 | - | 1 | - | <u>0,4</u> |
| <i>Talpa europaea</i> | 0,2 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,05 | 0,1 | 0,04 | <u>0,1</u> |
| <i>Micromys minutus</i> | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 0,2 | 0,5 | 0,2 | <u>0,4</u> |
| <i>Muscardinus avellanarius</i> | 0,1 | - | - | 0,2 | - | 0,1 | - | <u>0,05</u> |
| <i>Eliomys quercinus</i> | 0,05 | - | - | 0,1 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | <u>0,04</u> |
| <i>Myoxus glis</i> | 0,03 | 0,1 | 0,1 | 0,04 | 0,02 | - | - | <u>0,03</u> |
| <i>Mus musculus</i> | 0,4 | 0,3 | 2,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | <u>0,4</u> |
| <i>Rattus norvegicus</i> | 0,2 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,03 | 0,1 | <u>0,1</u> |
| <i>R. rattus</i> | 0,05 | - | 0,1 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,07 | <u>0,03</u> |
| groupe Amphibiens | 1 | 2,2 | 0,2 | 1,3 | 0,4 | 0,7 | 0,9 | <u>1</u> |
| groupe Divers: Chiroptères, | 0,05 | | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | <u>0,1</u> |
| <i>Mustela nivalis</i> , | 0,01 | | | | | | | <u>0,002</u> |
| <i>M. erminea</i> , | | | | | 0,01 | | | <u>0,002</u> |
| <i>Oryctolagus cuniculus</i> , | | | | 0,01 | | | | <u>0,002</u> |
| Oiseaux. | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,04 | <u>0,1</u> |
| Total (%) aux arrondis près | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | <u>100</u> |
| S richesse spécifique (maximale 22) | 22 | 16 | 18 | 22 | 20 | 21 | 19 | moyen- |
| H diversité spécifique (maximale 4,5) | 2,25 | 2,65 | 2,45 | 2,95 | 2,9 | 2,9 | 2,95 | nes sur |
| E indice de régularité (de 0 à 1) | 0,55 | 0,65 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 35 sites |
| Moyenne des altitudes (m) | 280 | 360 | 300 | 565 | 526 | 742 | 699 | <u>524</u> |
| Moyenne annuelle des pluies (mm) | 876 | 1129 | 1125 | 1004 | 1324 | 1355 | 1506 | <u>1187</u> |
| Moyenne annuelle des jours de gel | 74 | 72 | 66 | 103 | 80 | 118 | 92 | <u>91</u> |
| Moyenne des ouvertures du paysage | 83 % | 77 % | 60 % | 71 % | 54 % | 58 % | 61 % | <u>65 %</u> |
| Moyenne des nombres de bâtiments | 43 | 58 | 90 | 38 | 43 | 40 | 50 | <u>44</u> |

TABLEAU III - Composition spécifique (fréquences en %) et autres données par rapport aux sept groupes de sites. Climat : TC, atlantique évoluant vers une tendance continentale ; AH, atlantique relativement humide et doux ; TH, thermo-atlantique à Sioniac.

Un sous-bois dense est favorable à *Myoxus glis* (deuxième groupement, fig. 3). Il est présent au revers nord du relief, de Maisonnisses à Chambonchard, son opposition au gel n'est donc pas flagrante. La lacune brutale de répartition en montagne semble d'ordre alimentaire. Elle coïncide bien avec le changement de qualité de la forêt nourricière. Au-dessus de 650 m (entre 600 et 750 m), le châtaignier thermophile ne fructifie plus et la hêtraie acidiphile à fruticée pauvre remplace la chênaie et la haie à gros fruits. *Eliomys quercinus* évite les sols hydromorphes (groupement avec *Talpa*) : c'est un animal saxicole qui préfère les éboulis de montagne (Le Louarn et Spitz, 1974). *Muscardinus avellanarius* franchit mal vers l'ouest la limite des régimes des pluies près de laquelle il est en-

core présent : gorges de la Benaize, Maisonnisses et, à 800 m en ubac, Le Mas-d'Artige. Les deux derniers sites sont, de surcroît, exposés durant sept mois à une moyenne des maximales inférieure à 15,5 °C. Rappelons que la température critique pour l'hibernation de *Muscardinus avellanarius* est 15-16 °C (Saint Girons, 1973). Ainsi au nord-est, les automnes plus frais, qui allongent la durée de l'hibernation, et les hivers moins pluvieux pourraient le protéger. Il se comporte comme une espèce continentale. L'anthropisation de la plaine nord-ouest et le sous-bois peu dense de la futaie acidiphile d'altitude le privent de son habitat et réduisent son aire naturelle. Mais la lacune qui s'étend des adrets à la plaine sud-ouest et au bassin de Brive, favorable par ses boisements, mais de climat atlantique humide et doux, s'apparente bien à une limite d'aire.

Les petits campagnols se nourrissant en surface

Un paysage moins pluvieux et très ouvert explique à 90 % les variations des effectifs de *Microtus arvalis* et son écologie. Les résultats concordent avec ceux des auteurs : il occupe le terrain dans le cas des terres dénudées car l'agriculture est intensive (Spitz, 1981) ; à climat égal, l'ouverture du paysage contrôle son abondance (Delattre et al., 1996). *Microtus agrestis*, à la fois hygrophile (voir aussi Grenot et al., 1982) et résistant à un peu de sécheresse estivale, est indifférent à la température aussi bien dans les prairies permanentes que dans les zones préforestières. Leur opposition traduit le partage du biotope et la séparation des niches écologiques.

Sur la figure 4, la disparition de *Microtus arvalis* se constate à Sioniac, 1125 mm de pluie, et à Saint-Martin-la-Méanne, 1275 mm. Comme le montre le tableau IV, la perturbation est méridionale et s'étend de la frange corrézienne aux régions avoisinantes du Limousin. La réduction de la surface du biotope bien qu'alarmante n'explique pas le fait car à Saint-Sulpice-les-Bois, 1400 mm de pluie, 8 % de *Microtus arvalis* résistent alors qu'ils sont dans le site le plus fermé (Fig. 4).

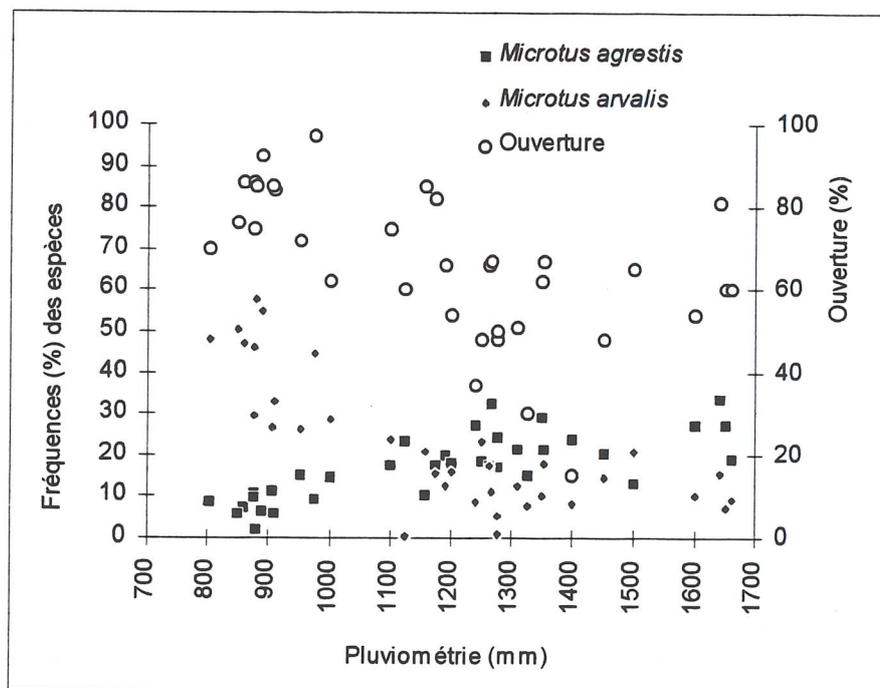


Figure 4 - Fréquences des deux campagnols prairiaux par rapport au degré d'ouverture du milieu et à la pluviométrie annuelle dans les 35 sites étudiés.

| | Altitude | <i>Microtus arvalis</i> Fréquence (%) | Ouverture du paysage | Géologie | <i>Microtus agrestis</i> Fréquence (%) |
|-----------------------------------|----------|--|----------------------------|------------------|---|
| Bassin de Brive : | | | | | |
| St-Viance à l'entrée ouest | 140 m | 16,5 | 65 % | grès | 33,5 |
| La-Chapelle-aux-Brocs | 220 m | 0 | 40 % | grès | 21,5 |
| Lanteuil | 189 m | 0 | 50 % | grès | 27,5 |
| Le Pescher | 200 m | 0 | 65 % | grès | 32,5 |
| Beynat | 460 m | 0 | 35 % | granite | 26 |
| Sioniac à l'entrée est | 300 m | 0,3 | 60 % | grès, diorite | 23 |
| Dampniat (Corrèze) | 200 m | 0 | 40 % | diorite | 32,5 |
| St-Martin-le-Vieux (Haute-Vienne) | 290 m | 42,5 | 95 % | diorite | 8,5 |
| Fanlac (Dordogne) | 223 m | 7 | 45 % | calcaire, argile | 14,5 |
| Gignac (Lot) | 250 m | 0 | 40 % | calcaire, argile | 23 |
| Gagnac-sur-Cère (Lot) | 180 m | 0 | 20 % | granite | 19 |
| Frayssinhes (Lot) | 345 m | 9,5 | 60 % | granite | 14 |
| Montlaur (Aveyron) | 350 m | 58,5 | 75 % | grès | 1,5 |

Tableau IV - Fréquences de *Microtus arvalis* et de *M. agrestis* dans le Limousin et dans les régions avoisinantes par rapport aux caractères des sites (pluviométries de 880 à 1100 mm).

L'extinction ne dépend pas de la nature du sous-sol, *Microtus arvalis* vit sur le granite, la diorite, le grès et le calcaire ou l'argile à graviers du causse. Saint Girons (1989) observe une coïncidence entre la disparition du rongeur à la pointe de la Bretagne ou en Méditerranée et la moyenne des maximales de juin (19 °C dans la première région, 25 °C dans la seconde). Cependant nos sites froids de Meymac Ouest et de Peyrelevade, où cette moyenne est de 19 °C, en fournissent 15 % et 30 % respectivement. Saint-Viance, Fanlac ou Montlaur l'abritent avec une moyenne de 24 °C, mais pas le bassin de Brive avec la même moyenne (donnée climatique, Kessler et Chambraud, 1990).

Microtus arvalis fait défaut quand les zones boisées enclavent les zones ouvertes. La topographie de Bar aux gorges de la Dordogne correspond à une pénéplaine à pente nulle, difficile à drainer et boisée. Les campagnes, larges ou non, prises dans la matrice forestière ne communiquent plus de proche en proche. La théorie de la biogéographie insulaire prédit que le risque d'extinction d'une population insulaire s'élève si son taux d'immigration ou de colonisation est faible (Mac Arthur et Wilson, 1967, in Dajoz, 1996). Par analogie avec les îles vraies, les campagnes isolées au sein des boisements sont des « îles continentales ». *Microtus arvalis* ne s'implante pas à Saint-Martin-la-Méanne car les voiries boisées peuplées de *Microtus agrestis* et la forêt doivent freiner sa dispersion. Son aire se fragmente. Des terres closes caractérisent non seulement cette pénéplaine, mais encore la bordure cristalline étagée de Brive aux gorges de la Dordogne, le bassin de Brive raviné et le causse boisé de Gignac (Quercy) ponctué de dolines discontinues en poche. La conjonction des quatre paysages fermés réalise une barrière continue de 60 km à l'immigration de *Microtus arvalis* depuis les zones ouvertes de l'Aquitaine et du Massif central. Cet ensemble, qu'il ne franchit pas par les entrées ouest et est du bassin de Brive, a pour lui un caractère « d'île continentale ».

Les deux petits campagnols ayant un mode de vie souterrain

Microtus subterraneus occupe tous les sites du nord-est de la région. Il suit les cours d'eau et la forêt d'altitude (groupement avec *Neomys fodiens*, fig. 3). Il s'arrête à la pointe nord-ouest du

Limousin près des gorges de la Benaize. Il parvient dans la zone pluvieuse et froide des sources, puis à la barrière des 99 jours de gel à Pradines, Meymac Ouest, Meymac Nord, Saint-Angel et Sarroux à l'extrême Est. Il disparaît en adret à Treignac, à Saint-Yrieix-le-Déjalat et à Meymac Sud. Il n'est plus à l'abri, comme à l'ubac du relief, des vagues de douceur hivernale venues du sud. Il se heurte à l'hiver doux, c'est une espèce continentale. Il représente la seule espèce à la limite nette de sa répartition dans notre région. *Microtus pyrenaicus* est partout présent, plus souvent en exposition méridionale. Il ne fuit pas le gel, il n'est corrélé qu'avec la pluie ($r_s = 0,43$, $P < 0,02$) et sans excès. Il lui faut des prairies humides, toujours en herbe et voisines de boisements (premier groupement, fig. 3). C'est une espèce atlantique. Sa progression est freinée par la prairie temporaire. Classées dans l'ex-genre *Pitymys*, ces espèces presque jumelles (Chaline et Mein, 1979 ; Chaline et Brunet-Lecomte, 1992) occupent des aires complémentaires mais sont en sympatrie dans notre région.

Les cinq musaraignes

Crocidura russula se sépare du groupe écologique formé par les autres musaraignes. Le gel ne l'épargne pas et les constructions l'attirent : elle est thermophile et anthropophile, relativement xérophile. La corrélation avec le nombre de bâtiments est significative ($r_s = 0,47$, $P < 0,01$). Le groupement avec *Clethrionomys glareolus* souligne une prédilection pour les lieux où le couvert végétal est suffisant (Fig. 3). Tous les résultats concordent avec ceux des auteurs : l'anthropophilie lui permet de survivre dans un climat rude en Suisse, sa répulsion pour les endroits trop découverts est capitale (Genoud et Hausser, 1979) ; *Crocidura russula*, espèce ouest-méditerranéenne, abonde dans les garrigues denses du Midi de la France (Poitevin et al., 1987).

Les quatre espèces sauvages, *Sorex coronatus*, *S. minutus*, *Neomys anomalus* et *N. fodiens* progressent dans les lieux humides et boisés d'altitude car elles sont acclimatées au froid, la partie continentale paraissant plus hospitalière (Tab. III). Les musaraignes trouveraient là un milieu pérenne et peu perturbé car le caractère continental n'est pas une nécessité. Ainsi l'ubac moins pluvieux par un « effet de foehn » et plus froid par inversion des températures dans les vallées (sites TC, Tab. III), maintient la chênaie-hêtraie et la litière hivernale favorable tandis que l'adret hyperatlantique, où deux mètres d'eau sont déversés certaines années, permet l'enrésinement et la prairie temporaire. Fanlac, dans un paysage de falaise calcaire présentant une pluviométrie annuelle de 900 mm, une température annuelle de 11,5 °C, retient les cinq musaraignes. Alors que *Crocidura russula* et *Sorex coronatus* sont présents à des taux respectifs élevés (28 et 19 %), *Neomys anomalus*, parti à la reconquête de son aire disjointe (S.F.E.P.M., 1984), déborde enfin le Limousin. Le biotope de ce dernier se rapproche de celui de *Muscardinus avellanarius* (noté aussi par Taberlet, 1982). Les bois riverains que sauvegardent les ruptures de pente sur Meymac ou Maisonnisses sont propices à *Neomys anomalus*, autant que le relief accidenté du sud de l'Europe où l'espèce est confinée.

Les eaux froides d'altitude, peu minéralisées en calcium et oligotrophes sur granite, ne font pas obstacle aux gammares qui durcissent leur carapace et muent même en hiver (Vincent, 1971). Or les deux *Neomys* amphibies en consomment. Le réseau hydrographique de 500 m de cours d'eau par km² est dense dans le Limousin. Il tombe à 200 m dans quelques poches que *Neomys anomalus* déserte entre Nouic et Villard. *Neomys fodiens* occupe seul le milieu grâce à un pouvoir de dispersion supérieur (Taberlet, 1982), protégé peut-être par un mode de vie plus souterrain. La restauration des haies devrait résorber les lacunes. Descendus du plateau granitique avec la rivière Vézère, les deux *Neomys* côtoient Meymac, Treignac, Troche et Fanlac. *Neomys anomalus* effleure donc le bassin de Brive (par Beynat aussi) qu'il pourrait occuper un jour. Ces espèces jumelles sont des bioindicateurs de la qualité de l'eau et des rives préservées.

Les musaraignes coexistent le plus souvent mais n'occupent pas les mêmes niches. La plus grande similarité de biotope dans le Limousin existe pourtant entre *Sorex minutus* et *S. coronatus* (Fig. 3). L'opposition entre *Crocidura russula* et *Sorex coronatus*, espèces analogues par la taille et litiécoles, résume la disjonction suffisante des deux niches grâce au climat et à l'éthologie. Ainsi le décalage saisonnier des abondances atténue la compétition en pleine nature (Fig. 5). Si le pic de printemps et le déclin hivernal de *Sorex coronatus* évoquent le cycle de la reproduction, le pic hivernal de *Crocidura russula* étonne. Mais nos printemps maussades retardent sa reproduction.

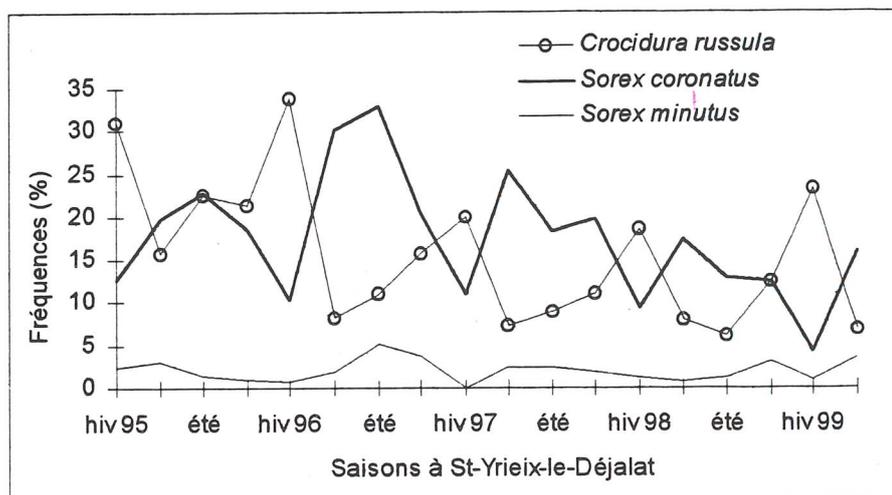


Figure 5 - Variations saisonnières des fréquences chez trois musaraignes communes chassées par *Tyto alba* pendant quatre années dans une prairie de fauche barrée par la forêt, et alternance des maxima d'abondance (l'hiver regroupe les mois de décembre, janvier et février).

Les gros campagnols du genre *Arvicola*

Arvicola sapidus est répandu le long des cours d'eau si la végétation riveraine est dense (deuxième groupement, fig. 3). Il dépend de la pluie ($r_s = 0,49$, $P < 0,01$). C'est une espèce hygrophile de tendance atlantique. *Arvicola terrestris*, hygrophile (et Grenot *et al.*, 1982), dépendant fortement d'un couvert végétal (et Saucy, 1988), appartient au premier groupement. Il est indifférent au gel. Entré dans le bocage par la vallée boisée de Chambonchard sous 801 mm de pluie, il se comporte comme un ravageur à effectif instable dans la prairie temporaire (Fig. 6). Il pourrait occuper toute la région, mais sa progression d'est en ouest s'arrête dans la plaine large et découverte à l'ouest de Saint-Sulpice-le-Dunois et de Saint-Jal, ainsi que dans le bassin de Brive morcelé. En conséquence, il reste coupé des Monts de Châlus assez humides et favorables (plaine AH). Nos cours d'eau non gelés favorisent la dispersion des deux espèces affines et sympatriques.

La longueur du diastème supérieur (espace sans dents entre les incisives et les prémolaires) est corrélée au poids d'*Arvicola terrestris* (Saucy, 1988). Sur 192 individus dénombrés dans les pelotes de 1996-1997 à Saint-Yrieix-le-Déjalat, les chiffres ont fourni 28 % de juvéniles pesant moins de 45 g, 43 % de subadultes pesant moins de 65 g et 29 % d'adultes. Le poids moyen de ces campagnols est de 55 g, les poids extrêmes sont de 11 et 96 g. Les piégeages à la pince surprennent rarement des individus de 100 à 130 g, ce qui indique que la dispersion est surtout le fait des jeunes animaux. L'apparition des juvéniles contribue aux pics d'abondance si bien que le rythme annuel des variations reflète le cycle de la reproduction (Fig. 6).

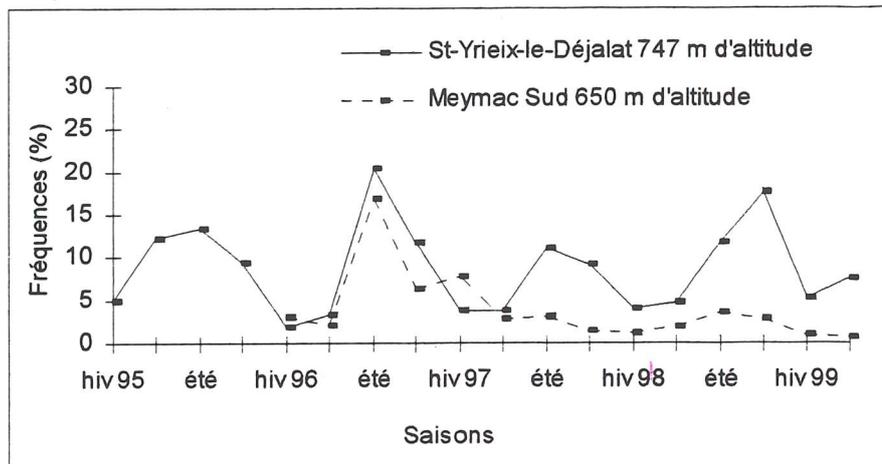


Figure 6 - Variations saisonnières (trait plein) et fluctuations (tirets) sans action de l'homme des fréquences d'*Arvicola terrestris* sur deux sites boisés des adrets qui représentent la montagne AH.

Les Muridés non forestiers

Micromys minutus est disséminé à toutes les altitudes, depuis Saint-Viance (140 m) jusqu'à Meymac Ouest (890 m) où il fournit son plus fort taux (1,4 %). Le bocage cultivé et riverain de points d'eau, comme à Saint-Junien (1,2 %), lui est favorable. Son habitat d'origine est dans les roselières. Sa place près d'*Arvicola sapidus* n'est donc pas étonnante (Fig. 3). Il délaisse un milieu trop fermé et la prairie temporaire perturbée : c'est pourquoi il se raréfie en adret (AH) et manque dans trois sites (les deux Mercoeur et Saint-Martin-la-Méanne). Parmi les espèces commensales, *Rattus rattus* se distingue de ses congénères, *Rattus norvegicus* et *Mus musculus*. Il circule en terrain plus sec (avec *Microtus arvalis* et *Talpa*, fig. 3). En Méditerranée où il vit à l'état sauvage, *Rattus rattus* mange les plantes à rhizomes, à feuilles ou à fleurs de valeur nutritionnelle élevée ainsi que les cônes des résineux (Cheylan, 1988). Comme le montre le tableau II, à l'instar d'*Arvicola terrestris*, la prairie temporaire bien qu'humide lui serait propice.

CONCLUSION

Le peuplement du Limousin n'est pas homogène car les espèces du groupement médioeuropéen et du groupement sud-occidental y participent. Le premier comprend des espèces de large amplitude écologique et de large répartition : *Sorex minutus* et *Neomys fodiens* occupent même l'Eurasie tandis que *Microtus subterraneus* et *Muscardinus avellanarius* sont à la limite occidentale de leurs aires. Le second groupement montre des aires réduites et une minorité de quatre espèces parentes de celles du premier mais caractéristiques du domaine atlantique : *Microtus pyrenaicus*, *Arvicola sapidus*, *Sorex coronatus* et une fraction de *Neomys anomalus*. En raison de son anthropophilie, *Crocidura russula* représente de façon marginale le groupement méditerranéen.

Sur les terres hautes affectées par la déprise agricole, l'ensémençement excessif constitue un danger pour la biodiversité. Par contre, les alvéoles granitiques avec le creux humide et le haut drainé structurent les paysages et tempèrent l'action de l'homme. Les espèces du bocage, des rives, de la forêt et des écotones correspondants coexistent et le milieu reste favorable à la biodiversité.

REMERCIEMENTS

P. Brunet-Lecomte de l'Université de Bourgogne a vérifié des déterminations (*Apodemus flavicollis*, *Neomys anomalus*, *Microtus pyrenaicus*). F. Spitz Directeur de Recherches honoraire à l'INRA a encouragé l'orientation biogéographique de l'étude. D. Dumont et deux réviseurs anonymes ont apporté leurs conseils lors de la relecture du texte.

RÉFÉRENCES

- BONFILS, P. (1976) - Carte pédologique de la France au 1/100000e de Brive. INRA, Paris, 135 p.
- BRUNET-LECOMTE, P. (1986) - Etude anatomique de deux populations de Mulot, genre *Apodemus* (Rodentia, Muridae), du Bas-Dauphiné (Sud-Est de la France). *Bull. Mens. Soc. Linn. de Lyon*, 55, 331-335.
- BRUNET-LECOMTE, P., NADACHOWSKI, A., SIRUGUE, D. & INDELICATO, N. (1996) - A propos d'un rhombe pitomyen à la première molaire inférieure chez les campagnols *Microtus arvalis* et *Microtus agrestis* (Rodentia, Arvicolidae). *Mammalia*, 60, 491-495.
- CASTELLS, A. & MAYO, M. (1993) - Guía de los mamíferos en libertad de España y Portugal. Ediciones Pirámide, Madrid, 470 p.
- CATALAN, J. & POITEVIN, F. (1981) - Les crocidures du midi de la France : leurs caractéristiques génétiques et morphologiques; la place des populations corses. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 292, 1017-1020.
- CHALINE, J., BAUDVIN, H., JAMMOT, D. & SAINT GIRONS, M.-C. (1974) - Les proies des rapaces (petits mammifères et leur environnement). Doin, Paris, 141 p.
- CHALINE, J. & BRUNET-LECOMTE, P. (1992) - Anatomie de la radiation européenne des Arvicolidés (Rodentia) : un test quantifié du modèle des équilibres/déséquilibres ponctués. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 314, 251-256.
- CHALINE, J. & MEIN, P. (1979) - Les Rongeurs et l'évolution. Doin, Paris, 235 p.
- CHEYLAN, G. (1988) - Les adaptations écologiques de *Rattus rattus* à la survie dans les îlots méditerranéens (Provence et Corse). *Bull. Ecol.*, 19, 417-426.
- COUTY, F., DEBORD, J. & FREDON, D. (1996) - Probabilités et statistiques. Collection Flash U. Masson, Paris, 2^e édition, 208 p.
- CUISIN, J. (1989) - L'identification des crânes de Passereaux. D.E.S., Fac. Sci., Bourgogne, 340 p.
- DAJOZ, R. (1996) - Précis d'écologie. Dunod, Paris, 6^e édition, 551 p.
- DELATTRE, P., GIRAUDOUX, P., BAUDRY, J., QUERE, J.-P. & FICHET, E. (1996) - Effect of landscape structure on Common Vole (*Microtus arvalis*) distribution and abundance at several space scales. *Landsc. Ecol.*, Amsterdam, 11, 279-288.
- EROME, G. & AULAGNIER, S. (1982) - Contribution à l'identification des proies des Rapaces. *Bièvre*, 4, 129-135.
- GENOUD, M. & HAUSSER, J. (1979) - Ecologie d'une population de *Crocidura russula* en milieu rural montagnard (Insectivora, Soricidae). *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 33, 539-554.
- GRENOT, C., PASCAL, M. & SELLAMI, M. (1982) - L'équilibre hydropondéral chez le Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 294, 629-634.
- HAUSSER, J. (1978) - Répartition en Suisse et en France de *Sorex araneus* et de *Sorex coronatus* (Mammalia, Insectivora). *Mammalia*, 42, 329-341.
- HAUSSER, J. & JAMMOT, D. (1974) - Étude biométrique des mâchoires chez les *Sorex* du groupe *araneus* en Europe continentale (Mammalia, Insectivora). *Mammalia*, 38, 324-343.

- INDELICATO, N. & CHARISSOU, I. (1997) - Les musaraignes du genre *Neomys* en Limousin. *Epops*, 97 (1), 41-56.
- KESSLER, J. & CHAMBRAUD, A. (1990) - Météo de la France. J.C. Lattès éditeur, 391 p.
- KOPP, R. (1993). - Étude de l'impact de la forme fouisseuse du Campagnol terrestre, *Arvicola terrestris* Scherman, sur la végétation d'une prairie. Thèse Doct. Fac. Sci., Lausanne, 120 p.
- LE LOUARN, H. & SAINT GIRONS, M.-C. (1977) - Rongeurs de France. INRA, Paris, 161 p.
- LE LOUARN, H. & SPITZ, F. (1974) - Biologie et écologie du Lérot, *Eliomys quercinus*, dans les Hautes-Alpes. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 28, 544-563.
- MACDONALD, D. & BARRETT, P. (1995) - Guide complet des Mammifères de France et d'Europe. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 304 p.
- MENU, H. & POPELARD, J.-B. (1987) - Utilisation des caractères dentaires pour la détermination des Vespertilionidés de l'ouest européen. *Le Rhinolophe*, 4, 88 p.
- OZENDA, P. (1994) - Végétation du Continent Européen. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 271 p.
- POITEVIN, F., CATALAN, J., FONS., R. & CROSET, H. (1986) - Biologie évolutive des populations ouest - européennes de crocidures. I - Critères d'identification et répartition géographique de *Crocidura russula* et *Crocidura suaveolens*. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 41, 299-314.
- POITEVIN, F., CATALAN, J., FONS., R. & CROSET, H. (1987) - Biologie évolutive des populations ouest - européennes de crocidures. II - Ecologie comparée de *Crocidura russula* et de *Crocidura suaveolens* dans le Midi de la France et en Corse : rôle probable de la compétition dans le partage des milieux. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 42, 39-58.
- SAINT GIRONS, M.-C. (1973) - Les Mammifères de France et du Bénélux. Doin, Paris, 481 p.
- SAINT GIRONS, M.-C. (1989) - Les Mammifères en France. Sang de la terre, Paris, 248 p.
- SAINT GIRONS, M.-C. & SPITZ, F. (1966) - A propos de l'étude des micromammifères par l'analyse des pelotes de Rapaces. Intérêt et limites de la méthode. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 113, 3-18.
- SAUCY, F. (1988) - Dynamique de population, dispersion et organisation sociale de la forme fouisseuse du Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris* Scherman). Thèse Doct., Fac. Sci., Neuchâtel, 366 p.
- S.F.E.P.M. (1984) - Atlas des Mammifères sauvages de France. Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères, Paris, 299 p.
- SPITZ, F. (1981) - Un mode de traitement mathématique des données numériques concernant les petits Mammifères en France. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 298, 189-194.
- STAT-ITCF (1988) - Manuel d'utilisation. Institut Technique des Céréales et des Fourrages. Service des études statistiques, Boigneville, 210 p.
- TABERLET, P. (1982) - Étude de l'écologie des micromammifères du Bas-Chablais (Haute-Savoie) à partir des pelotes de réjection de Chouette effraie. Thèse Doct., Fac. Sci., Grenoble, 112 p.
- TURNI, H. & MULLER, E.-F. (1996) - Unterscheidung der Spitzmausarten *Sorex araneus* und *Sorex coronatus* mit Hilfe einer neuen Diskriminanzfunktion. *Z. Säugetierkunde*, 61, 73-92.
- VILKS, A. (1991) - Analyse chorologique de la flore vasculaire du Limousin. Thèse Doct., Fac. Sci., Limoges, 1, 241 p., 2, 374 p.
- VINCENT, M. (1971) - Ecologie et écophysologie des Gammaridés épigés du Centre-Ouest. Thèse Doct., Fac. Sci., Limoges, 132 p.
- WOLFF, P., HERTIG-STRASCHIL, B. & BAUER, K. (1980) - *Rattus rattus* und *Rattus norvegicus* in Österreich und deren Unterscheidung an Schädel und postcraniallem Skelett. *Mitt. Abt. Zool. Landesmus. Joanneum*, 9, 141-188.

| N° INSEE | Année (s) de récolte | Commune des sites | Altitude (m) | N proies |
|----------|----------------------|-----------------------------|--------------|----------|
| 19 014 | 1997 | 1 Auriac | 600 | 857 |
| 19 016 | 1993 et 1997 | 2 Bar | 510 | 2021 |
| 87 032 | 1995 à 1997 | 3 Châlus | 360 | 3900 |
| 23 046 | 1996 | 4 Chambonchard | 320 | 1273 |
| 23 073 | 1996 | 5 Dontreix | 650 | 1113 |
| 87 066 | 1996 et 1997 | 6 Flavignac | 326 | 1601 |
| 87 080 | 1995 | 7 Jouac | 200 | 1213 |
| 23 066 | 1995 et 1996 | 8 Le Compas | 598 | 1748 |
| 23 125 | 1996 | 9 Le-Mas-d'Artige | 800 | 1135 |
| 87 090 | 1995 | 10 Mailhac-sur-Benaize | 260 | 920 |
| 23 118 | 1994 à 1996 | 11 Maisonnisses | 580 | 2984 |
| 19 133 | 1997 | 12 Mercoeur Ouest | 420 | 1062 |
| 19 133 | 1995 et 1996 | 13 Mercoeur Est | 532 | 2037 |
| 19 136 | 1995 et 1996 | 14 Meymac Nord | 710 | 2254 |
| 19 136 | 1996 | 15 Meymac Ouest | 890 | 999 |
| 19 136 | 1995 à 1997 | 16 Meymac Sud | 650 | 2866 |
| 19 137 | 1994 et 1995 | 17 Meyrignac-l'Eglise | 550 | 2203 |
| 19 145 | 1994 | 18 Moustier-Ventadour | 609 | 1130 |
| 87 108 | 1996 et 1997 | 19 Nouic | 231 | 2073 |
| 19 168 | 1994 | 20 Pradines | 730 | 784 |
| 19 260 | 1994 | 21 Sioniac | 300 | 945 |
| 19 180 | 1995 | 22 Saint-Angel | 720 | 796 |
| 19 213 | 1995 | 23 Saint-Jal | 430 | 1390 |
| 87 154 | 1996 et 1997 | 24 Saint-Junien | 251 | 2567 |
| 23 211 | 1994 et 1995 | 25 Saint-Marc-à-Frongier | 540 | 1817 |
| 19 222 | 1996 | 26 Saint-Martin-la-Méanne | 524 | 901 |
| 23 220 | 1994 | 27 Saint-Médard-la-Rochette | 540 | 1288 |
| 19 241 | 1995 | 28 Saint-Setiers | 720 | 1247 |
| 23 244 | 1996 et 1997 | 29 Saint-Sulpice-le-Dunois | 310 | 2088 |
| 19 244 | 1996 | 30 Saint-Sulpice-les-Bois | 770 | 860 |
| 19 249 | 1995 à 1997 | 31 Saint-Yrieix-le-Déjalat | 747 | 4054 |
| 19 265 | 1994 et 1995 | 32 Tarnac | 690 | 1972 |
| 19 269 | 1995 et 1996 | 33 Treignac | 560 | 2362 |
| 19 270 | 1996 et 1997 | 34 Troche | 360 | 2317 |
| 23 263 | 1997 | 35 Villard | 340 | 1006 |
| | | Total | | 59783 |
| 19 023 | 1996 | Beynat | 460 | 607 |
| 19 068 | 1994 | Dampniat | 200 | 968 |
| 19 043 | 1996 | La-Chapelle-aux-Brocs | 220 | 1322 |
| 19 105 | 1994 | Lanteuil | 189 | 1061 |
| 19 163 | 1994 | Le Pescher | 200 | 1054 |
| 19 117 | 1997 | Lissac-sur-Couze | 210 | 269 |
| 19 164 | 1993 | Peyrelevade | 840 | 772 |
| 19 252 | 1996 | Sarroux | 660 | 912 |
| 87 166 | 1995 | Saint-Martin-le-Vieux | 290 | 147 |
| 19 246 | 1994 | Saint-Viance | 140 | 353 |
| 24 174 | 1997 | Fanlac | 223 | 1497 |
| 46 115 | 1994 | Frayssinhes | 345 | 535 |
| 46 117 | 1994 | Gagnac-sur-Cère | 180 | 317 |
| 46 118 | 1996 | Gignac | 250 | 507 |
| 12 154 | 1995 | Montlaur | 350 | 1148 |

ANNEXE I - Liste des 35 sites de l'étude et des autres stations non référencées dans l'AFC.

Le suivi des sites a permis de pallier la rareté de certaines espèces ou a confirmé les absences. La récolte des pelotes de *Tyto alba* a couvert 90 secteurs de cartes à 1/50000e du Limousin, soit le tiers des secteurs de la région (les 35 sites choisis occupent 33 secteurs). Les données sont celles de l'auteur.

| Numérotation des stations | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Apodemus flavicollis</i> | 15 | 0 | 11 | 0 | 0 | 20 | 22 | 1 |
| <i>A. sylvaticus</i> | 506 | 770 | 180 | 178 | 212 | 314 | 149 | 172 |
| <i>Clethrionomys glareolus</i> | 115 | 182 | 39 | 36 | 30 | 50 | 51 | 41 |
| <i>Microtus agrestis</i> | 345 | 406 | 165 | 147 | 90 | 103 | 225 | 100 |
| <i>M. arvalis</i> | 111 | 820 | 293 | 712 | 571 | 573 | 145 | 272 |
| <i>Crocidura russula</i> | 480 | 1016 | 52 | 356 | 206 | 89 | 40 | 183 |
| <i>Sorex coronatus</i> | 279 | 250 | 256 | 67 | 49 | 389 | 319 | 65 |
| <i>S. minutus</i> | 95 | 43 | 21 | 11 | 5 | 45 | 61 | 6 |
| <i>Neomys anomalus</i> | 2 | 6 | 6 | 1 | 0 | 1 | 9 | 0 |
| <i>N. fodiens</i> | 6 | 22 | 10 | 3 | 1 | 17 | 10 | 2 |
| <i>Arvicola sapidus</i> | 3 | 51 | 14 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| <i>A. terrestris</i> | 11 | 0 | 25 | 0 | 0 | 15 | 65 | 0 |
| <i>Microtus pyrenaicus</i> | 44 | 174 | 8 | 24 | 9 | 12 | 6 | 8 |
| <i>M. subterraneus</i> | 0 | 0 | 11 | 0 | 4 | 62 | 18 | 5 |
| <i>Micromys minutus</i> | 3 | 12 | 5 | 10 | 5 | 8 | 3 | 3 |
| <i>Muscardinus avellanarius</i> | 0 | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 |
| <i>Talpa europaea</i> | 0 | 1 | 1 | 4 | 7 | 5 | 1 | 2 |
| <i>Eliomys quercinus</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Myoxus glis</i> | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 |
| <i>Mus musculus</i> | 1 | 13 | 0 | 12 | 5 | 8 | 2 | 7 |
| <i>Rattus norvegicus</i> | 1 | 3 | 2 | 13 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| <i>R. rattus</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| groupe Amphibiens | 3 | 123 | 8 | 19 | 2 | 26 | 1 | 40 |
| groupe Divers | 0 | 6 | 1 | 4 | 7 | 7 | 2 | 6 |

| Numérotation des stations | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Apodemus flavicollis</i> | 37 | 22 | 30 | 28 | 8 | 35 | 25 | 22 |
| <i>A. sylvaticus</i> | 654 | 322 | 515 | 397 | 108 | 647 | 504 | 200 |
| <i>Clethrionomys glareolus</i> | 205 | 200 | 71 | 77 | 20 | 109 | 165 | 27 |
| <i>Microtus agrestis</i> | 535 | 158 | 269 | 393 | 336 | 828 | 454 | 240 |
| <i>M. arvalis</i> | 479 | 80 | 421 | 391 | 155 | 297 | 325 | 144 |
| <i>Crocidura russula</i> | 255 | 83 | 312 | 297 | 68 | 187 | 222 | 140 |
| <i>Sorex coronatus</i> | 534 | 78 | 80 | 352 | 215 | 435 | 222 | 240 |
| <i>S. minutus</i> | 80 | 9 | 8 | 67 | 14 | 98 | 44 | 18 |
| <i>Neomys anomalus</i> | 23 | 1 | 0 | 15 | 3 | 15 | 2 | 3 |
| <i>N. fodiens</i> | 33 | 1 | 2 | 17 | 4 | 10 | 13 | 8 |
| <i>Arvicola sapidus</i> | 11 | 3 | 8 | 7 | 9 | 7 | 12 | 1 |
| <i>A. terrestris</i> | 11 | 68 | 280 | 111 | 31 | 112 | 116 | 46 |
| <i>Microtus pyrenaicus</i> | 41 | 30 | 26 | 61 | 3 | 41 | 58 | 22 |
| <i>M. subterraneus</i> | 3 | 0 | 0 | 28 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Micromys minutus</i> | 27 | 0 | 0 | 4 | 14 | 7 | 3 | 2 |
| <i>Muscardinus avellanarius</i> | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Talpa europaea</i> | 5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| <i>Eliomys quercinus</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Myoxus glis</i> | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Mus musculus</i> | 2 | 3 | 5 | 4 | 1 | 8 | 11 | 1 |
| <i>Rattus norvegicus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| <i>R. rattus</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| groupe Amphibiens | 37 | 1 | 5 | 2 | 4 | 22 | 15 | 11 |
| groupe Divers | 1 | 1 | 4 | 2 | 3 | 5 | 8 | 2 |

ANNEXE II A - Tableau espèces - sites de l'analyse numérique (effectifs en données brutes). Pour les noms des sites, se reporter l'annexe I. Auriac (1) et Chambonchard (4) sont dans le texte.

| Numérotation des stations | 19 | 20 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
|---------------------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| <i>Apodemus flavicollis</i> | 0 | 8 | 5 | 17 | 0 | 19 | 14 | 15 |
| <i>A. sylvaticus</i> | 436 | 157 | 119 | 299 | 269 | 233 | 216 | 262 |
| <i>Clethrionomys glareolus</i> | 50 | 42 | 32 | 53 | 54 | 95 | 65 | 33 |
| <i>Microtus agrestis</i> | 120 | 213 | 215 | 241 | 243 | 268 | 218 | 144 |
| <i>M. arvalis</i> | 1047 | 57 | 69 | 215 | 1180 | 519 | 9 | 345 |
| <i>Crocidura russula</i> | 310 | 46 | 42 | 355 | 516 | 176 | 118 | 153 |
| <i>Sorex coronatus</i> | 52 | 168 | 184 | 95 | 184 | 327 | 137 | 144 |
| <i>S. minutus</i> | 8 | 28 | 27 | 11 | 19 | 48 | 11 | 28 |
| <i>Neomys anomalus</i> | 0 | 0 | 4 | 3 | 1 | 5 | 5 | 1 |
| <i>N. fodiens</i> | 0 | 10 | 15 | 5 | 2 | 17 | 9 | 10 |
| <i>Arvicola sapidus</i> | 1 | 5 | 3 | 8 | 0 | 2 | 6 | 2 |
| <i>A. terrestris</i> | 0 | 14 | 18 | 0 | 0 | 45 | 71 | 41 |
| <i>Microtus pyrenaicus</i> | 22 | 22 | 11 | 54 | 27 | 12 | 13 | 25 |
| <i>M. subterraneus</i> | 0 | 6 | 26 | 0 | 0 | 10 | 0 | 28 |
| <i>Micromys minutus</i> | 2 | 1 | 5 | 5 | 31 | 5 | 0 | 3 |
| <i>Muscardinus avellanarius</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| <i>Talpa europaea</i> | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 3 | 0 | 2 |
| <i>Eliomys quercinus</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 5 |
| <i>Myoxus glis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Mus musculus</i> | 14 | 2 | 3 | 13 | 5 | 5 | 1 | 13 |
| <i>Rattus norvegicus</i> | 0 | 1 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| <i>R. rattus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| groupe Amphibiens | 6 | 0 | 16 | 5 | 5 | 17 | 7 | 25 |
| groupe Divers | 4 | 2 | 2 | 6 | 4 | 5 | 0 | 3 |

| Numérotation des stations | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
|---------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Apodemus flavicollis</i> | 12 | 7 | 27 | 23 | 11 | 28 | 0 | 7 |
| <i>A. sylvaticus</i> | 208 | 251 | 212 | 589 | 533 | 544 | 622 | 150 |
| <i>Clethrionomys glareolus</i> | 53 | 31 | 50 | 262 | 84 | 139 | 112 | 11 |
| <i>Microtus agrestis</i> | 407 | 36 | 206 | 762 | 534 | 508 | 400 | 62 |
| <i>M. arvalis</i> | 140 | 1202 | 70 | 370 | 203 | 423 | 554 | 550 |
| <i>Crocidura russula</i> | 34 | 405 | 4 | 656 | 97 | 226 | 486 | 148 |
| <i>Sorex coronatus</i> | 255 | 73 | 192 | 789 | 306 | 215 | 42 | 58 |
| <i>S. minutus</i> | 44 | 12 | 29 | 77 | 38 | 41 | 4 | 2 |
| <i>Neomys anomalus</i> | 11 | 3 | 3 | 14 | 3 | 6 | | 0 |
| <i>N. fodiens</i> | 10 | 2 | 6 | 20 | 12 | 16 | 3 | 1 |
| <i>Arvicola sapidus</i> | 5 | 0 | 3 | 14 | 6 | 8 | 12 | 1 |
| <i>A. terrestris</i> | 18 | 0 | 8 | 334 | 77 | 105 | 0 | 0 |
| <i>Microtus pyrenaicus</i> | 17 | 5 | 3 | 61 | 39 | 71 | 34 | 2 |
| <i>M. subterraneus</i> | 7 | 4 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| <i>Micromys minutus</i> | 13 | 7 | 1 | 4 | 9 | 9 | 12 | 3 |
| <i>Muscardinus avellanarius</i> | 0 | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Talpa europaea</i> | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Eliomys quercinus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| <i>Myoxus glis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| <i>Mus musculus</i> | 6 | 3 | 3 | 19 | 5 | 7 | 8 | 2 |
| <i>Rattus norvegicus</i> | 0 | 2 | 0 | 9 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| <i>R. rattus</i> | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| groupe Amphibiens | 4 | 37 | 35 | 36 | 3 | 5 | 12 | 0 |
| groupe Divers | 3 | 4 | 1 | 9 | 5 | 3 | 2 | 1 |

ANNEXE II B - Tableau espèces - sites de l'analyse numérique (effectifs en données brutes). Pour les noms des sites, se reporter à l'annexe I. Sioniac (21) est dans le texte.

**ELABORATION DE PLASTIQUES BIODEGRADABLES A PARTIR DE
COPRODUITS AGRICOLES ET FORESTIERS.**

Revue - Chimie et environnement

**Fredon E., Gourson C., Branlant P., Granet R., Benhadou R.,
Gloaguen V., Verneuil B., Krausz P.**

*Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Université de Limoges, Faculté des
Sciences, 123 rue A. Thomas, Limoges 87060.*

RESUME

Cet article présente quelques travaux du laboratoire sur l'obtention de plastiques biodégradables à partir de coproduits agricoles et forestiers, notamment les celluloses et hémicelluloses qu'ils contiennent. La cellulose est estérifiée par l'acide laurique, alors que les hémicelluloses subissent, après oxydation *periodique*, une amination réductrice par la dodécylamine. Les qualités physiques (plasticité, élasticité, couleur ...) des plastiques obtenus sont variables et dépendent essentiellement de la structure des polysaccharides contenus dans les substrats utilisés. Enfin, la biodégradabilité de ces polymères a pu être mesurée en laboratoire dans des conditions standardisées aboutissant à un taux de dégradation massique compris entre 10 et 30 % sur une période de 3 mois.

Mots clés : Cellulose, hémicellulose, déchets agricoles, déchets forestiers, plastiques biodégradables.

**CHEMISTRY AND ENVIRONMENT : PRODUCTION OF BIODEGRADABLE
POLYMERS FROM AGRICULTURAL AND FORESTRY BY-PRODUCTS.**

ABSTRACT

This paper presents new methods developed for the transformation of agricultural and forestry by-products into biodegradable polymers. The chemical transformations leading to these productions essentially depend on the starting materials, namely cellulose or hemicellulose. Cellulose is simply esterified with lauric acid, hemicellulose is subjected to *periodic* oxidation followed by a reductive amination using laurylamine. These reactions were made in water (for hemicellulose) or without solvent by microwave irradiation (for cellulose). The physical properties of the products (plasticity, ductility, elasticity, colour, etc.) are reliable and are mainly dependent on the starting polysaccharides. Microbial degradation of the final products has been estimated in laboratory conditions and led to a 10 to 30 % loss of overall mass over a three month incubation.

Key words : Cellulose, hemicelluloses, agricultural wastes, forestry wastes, biodegradable polymer

Auteur pour correspondance : Pr P. KRAUSZ. Tél : 05 55 45 74 75 ; Fax : 05 55 45 72 02;
email : krausz@unilim.fr.

INTRODUCTION : POURQUOI ET COMMENT VALORISER ?

Les usines pétrochimiques du monde engloutissent chaque année 270 millions de tonnes de pétrole et de gaz dans la fabrication des matières plastiques (Gerngross et Slater, 2000). Les combustibles fossiles fournissent en effet l'énergie et la matière première nécessaires à la transformation du pétrole brut en matériaux tels que le polystyrène, le polyéthylène ou le polypropylène. Des emballages de lait aux bouteilles de boissons gazeuses ou d'eau minérale, en passant par les pièces automobiles et les vêtements, les matières plastiques sont omniprésentes dans notre environnement culturel. Les mêmes auteurs estiment, sur la base des gisements connus à ce jour, que les ressources mondiales en pétrole seront épuisées dans environ 80 ans, celles du gaz naturel dans 70 ans et les gisements de charbon dans 700 ans. La raréfaction progressive de ces matières organiques s'accompagnera inmanquablement d'une augmentation sensible de leur coût. Par ailleurs, les voies actuelles d'élimination des plastiques par incinération libèrent du gaz carbonique dont l'impact n'est plus à démontrer sur ce que l'on qualifie d'effet de serre. L'ensemble de ces observations, associé à la sensibilité de l'opinion publique européenne en matière de défense et de protection de l'environnement, montre tout l'intérêt de travaux qui proposeraient des voies de production alternatives de plastiques d'origine naturelle partiellement ou totalement biodégradables.

La littérature en la matière propose sur ce thème quelques références (Paillet and Peguy, 1990 ; Nawrath *et al.*, 1995 ; Wang and Tao, 1995 ; Johnson *et al.*, 1997 ; Wawro and Struszczyk, 1999 ; Colonna, 1999). Les industries agro-alimentaires et biotechnologiques privilégient trois approches pour remplacer les matières plastiques actuelles par des produits dérivés des plantes : la production directe de plastique par des micro-organismes, par des plantes cultivées ou la transformation des sucres. C'est en 1977 que les sociétés américaines *Cargill* et *Dow Chemical* ont associé leurs efforts pour produire, après fermentation des sucres d'origine végétale en acide lactique et polymérisation de ce dernier, un plastique nommé acide polylactique (Gerngross et Slater, 2000) ou APL (PLA en anglais). Ce polymère est doté de propriétés semblables à celles du téréphtalate de polyéthylène, un plastique d'origine pétrochimique très utilisé pour la fabrication de bouteilles d'eau minérale. Quelques années plus tard, la société *Imperial Chemical Industries* commercialisait un autre plastique obtenu après fermentation de sucres d'origine végétale (Gerngross et Slater, 2000), le polyhydroxyalcanoate (PHA). Ce bioplastique est toutefois nettement plus coûteux que ses homologues synthétiques dérivés de combustibles fossiles. Son seul avantage est sa biodégradabilité. Face à ces coûts de production élevés, les scientifiques ont orienté leurs recherches vers la synthèse directe des plastiques par les plantes. L'objectif est ici de modifier le patrimoine génétique des plantes cultivées afin de leur faire synthétiser le plastique directement sur pied. Ces travaux se heurtent néanmoins à une série de problèmes liés :

- à la *physiologie de la plante* : les chloroplastes des feuilles qui sont le siège de la photosynthèse semblent être un lieu privilégié de la production des plastiques par la plante. Une synthèse trop importante à ce niveau abaisse les rendements de la photosynthèse et donc la quantité de plastique produit.
- aux *méthodes d'extraction et de purification des plastiques à partir de la plante* : ces méthodes imposent l'utilisation d'énormes quantités de solvant.
- à l'*opinion publique* : la dissémination d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans notre environnement suscite actuellement des polémiques parfois violentes. L'énoncé récent du *principe de précaution* ainsi que le durcissement de la réglementation liée à ce type de manipulation constitue sans doute un frein sérieux au développement de telles technologies

puisqu'il impose des conditions de culture strictement contrôlées incompatibles avec une production à grande échelle.

Dans ces conditions, peut-on envisager la production de plastiques « verts » biodégradables ? C'est la question à laquelle se propose de répondre cette revue dont l'objectif est de présenter les méthodologies développées à Limoges, au Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, qui permettront de valoriser les déchets agricoles (son de céréales, paille) ou forestiers (sciures, écorces) en les transformant en films plastiques si possible biodégradables.

QUELLES MOLECULES PEUT-ON TRANSFORMER ?

Sciures, écorces, son de céréale, paille sont des déchets agricoles et forestiers qui présentent un certain nombre de caractéristiques chimiques communes. Parmi celles-ci, il est possible de noter la présence parfois prépondérante de macromolécules polysaccharidiques telles que la cellulose et les hémicelluloses. Les proportions relatives de chacune de ces deux catégories de molécules sont variables, de 7 à 99 % massiques pour la cellulose et de 5 à 50 % massique pour les hémicelluloses (Bonnin, 1997).

la cellulose

La cellulose (figure 1a) est la molécule organique naturelle la plus abondante sur la Terre. Elle est présente dans tout le règne végétal et résulte de la photosynthèse. C'est un homopolymère de glucose (Barnoud, 1980) : les unités successives de D-glucopyranose en configuration 4C_1 sont liées par des liaisons glucosidiques en β -(1 \rightarrow 4) pour former le motif cellobiose. La disposition des glucoses permet l'établissement de liaisons hydrogène intrachânes stabilisant la macromolécule sous forme d'un ruban, et de liaisons interchânes, permettant l'association des macromolécules en microfibrilles élémentaires. Dans la cellulose native, les chaînes présentent une orientation parallèle. Les microfibrilles sont rassemblées au sein de fibres qui présentent une structure partiellement cristalline. Cette cristallinité, bien que n'affectant qu'un pourcentage réduit des fibres, explique la grande résistance physique et chimique de la cellulose ainsi que son absence totale de solubilité dans l'eau. Le degré de polymérisation (DP), c'est-à-dire le nombre d'unités de glucose constituant le polymère, varie de quelques centaines à plusieurs milliers en fonction de l'origine et de la localisation dans la paroi cellulaire (tableau 1). Il est donc raisonnable de considérer que les modifications chimiques ainsi que les propriétés des matériaux obtenus seront sensibles au degré de polymérisation de la cellulose utilisée pour la transformation.

Tableau 1 :
Degré de polymérisation de la cellulose (DP) chez différents végétaux

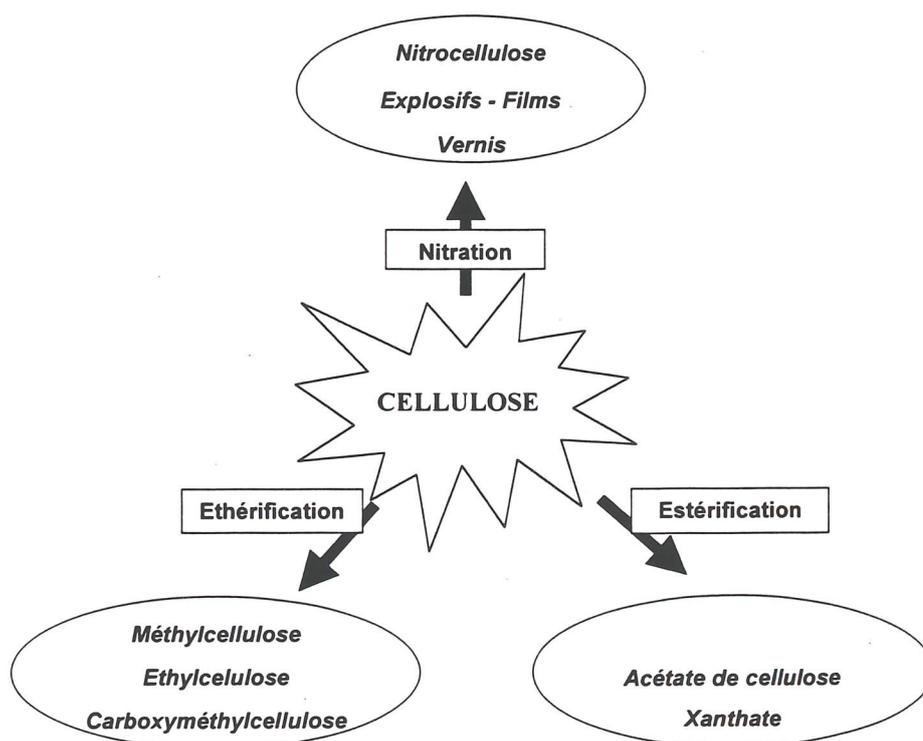
| <i>Espèce végétale</i> | <i>Degré de polymérisation (DP)</i> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Coton (Barnoud, 1980) | 10000 |
| Lin, Chanvre (Barnoud, 1980) | 9000 |
| Bouleau (Barnoud, 1980) | 10000 |
| Epicéa (Barnoud, 1980) | 8000 |
| Algue <i>Valonia</i> (Barnoud, 1980) | 8000 |
| Son de céréale (Remond-Zilliox, 1996) | 8000 |
| Paille (Remond-Zilliox, 1996) | 3000 |

Si les techniques de modification chimique de la cellulose pure sont connues depuis longtemps (Klemm *et al.*, 1998), on ne dispose en revanche que d'un nombre très limité de méthodes permettant la modification de la cellulose sans purification préalable. Parmi les voies de transformation les plus répandues, on peut citer (figure 2) :

- des réactions de nitration qui conduisent aux nitrocelluloses qui sont à l'origine de produits aussi différents que des explosifs ou, en présence de plastifiants comme le camphre, des films ou des vernis ;
- des réactions d'éthérisation qui permettent d'accéder aux méthyl- ou éthylcelluloses (colloïdes protecteurs, émulsionnants) ou encore aux carboxyméthylcelluloses (polyélectrolytes, apprêts des étoffes, encollage de fibres textiles...) ou l'hydroxyéthylcellulose (épaississant de peintures) ;
- les estérifications qui mènent à des acétates de cellulose (vernis, films...) ou des xanthates (films, solutions visqueuses).

L'élaboration de tels produits dépend de traitements laborieux et polluants et nécessitent l'utilisation préalable de cellulose purifiée.

Figure 2 : transformations actuelles de la cellulose



Les hémicelluloses

Les hémicelluloses forment également une source abondante de matière organique. Ce sont des hétéropolysaccharides alcali-solubles de plus faible masse moléculaire que la cellulose. Contrairement à cette dernière qui ne comprend que du glucose, les hémicelluloses comportent des unités glucidiques de nature différente. Du fait de la diversité des types végétaux et de la grande variété de types cellulaires, y compris au sein d'une même plante, il n'est pas possible de décrire ces hémicelluloses de manière unique. Cependant quelques

généralisations peuvent être faites. Ces composés représentent en moyennent 30 à 40 % de la masse végétale. Les monosaccharides qui entrent dans sa composition chimique sont : le glucose, le galactose, l'acide glucuronique, le xylose, l'arabinose, le mannose. Contrairement à la cellulose, les hémicelluloses sont solubles en milieu aqueux et donc faciles à extraire. Les principales familles d'hémicelluloses identifiées dans les parois primaires et secondaires des cellules végétales sont les xyloglucanes et les hétéroxylanes (Bonnin *et al.*, 1997 ; Chanliaud *et al.*, 1995 ; figure 1b). Malgré son abondance et sa richesse structurale, aucune méthodologie de transformation de ce polysaccharide n'est, à notre connaissance, exploitée à ce jour.

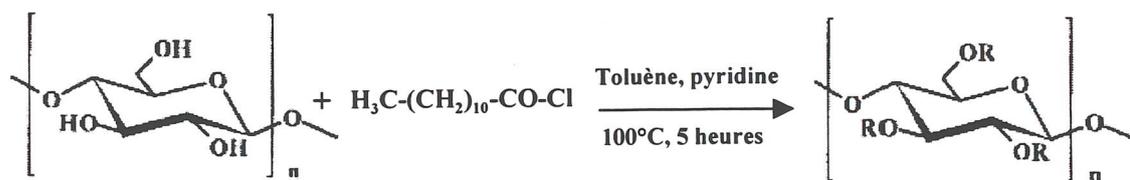
OBTENTION DE FILMS PLASTIQUES

La cellulose

Nous obtenons des films plastiques à partir de fibres de cellulose brute par estérification des fonctions hydroxyles de la cellulose en présence du chlorure de l'acide laurique. La première approche développée au laboratoire (Chauvelon *et al.*, 1998, 1999, 2000) utilisait une méthodologie empruntée à la chimie classique (figure 3). Un traitement des substrats (son de céréales, rafle de maïs, sciures ...) par la soude diluée permet au préalable d'éliminer totalement ou partiellement les composés pectiques et hémicellulosiques présents dans les parois cellulaires. Le résidu cellulosique obtenu est ensuite activé par l'acide sulfurique dilué (3 %) ou par explosion à la vapeur (190°C, 13 bars) afin d'améliorer l'accessibilité des fonctions hydroxyles (hydrolyse partielle, augmentation du gonflement). Ces dernières sont ensuite estérifiées par le chlorure d'acide laurique en milieu pyridine/toluène à chaud (5 heures à 100°C) et les films plastiques sont recueillis après évaporation du solvant. La méthode employée est lourde et nécessite l'utilisation de solvants toxiques ou polluants ce qui limite par la même son avenir sur le plan industriel.

La tendance actuelle de la Chimie contemporaine est orientée vers une Chimie propre, c'est-à-dire une chimie qui s'affranchit de l'utilisation de tout solvant organique ou réactif toxique. C'est la raison pour laquelle nous avons développé une méthodologie particulière (Gourson *et al.*, 1999a, 1999b) où la cellulose et le chlorure d'acide gras sont déposés sur de l'alumine en présence de traces de diméthyl-amino-pyridine (DMAP). Le chauffage est remplacé par une activation par rayonnement micro-ondes pendant seulement 10 minutes. L'induction micro-onde présente l'avantage de chauffer les réactifs à cœur et très rapidement. L'emploi d'une telle méthodologie nous a permis d'obtenir des films d'une qualité équivalente avec néanmoins des rendements massiques inférieurs (environ 80 %). Les études en cours dans notre laboratoire visent à optimiser ces rendements.

Figure 3 :
transformation chimique de la cellulose

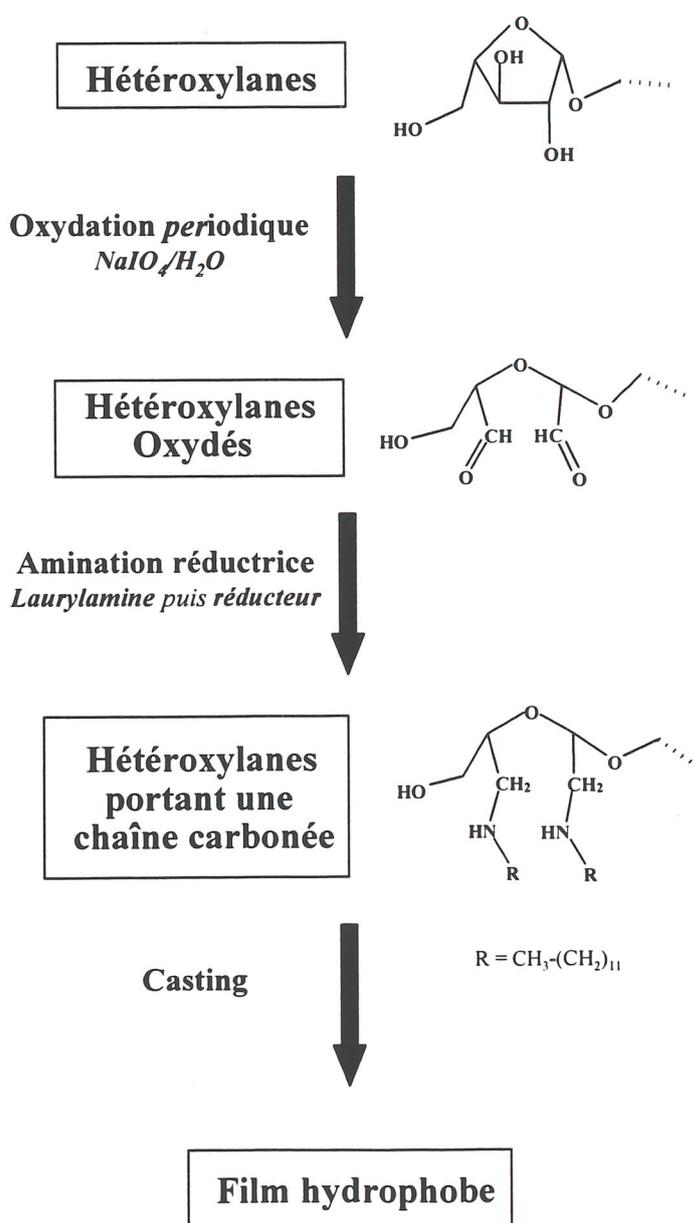


Avec R = H ou H₃C-(CH₂)₁₀-CO
Selon le DS

Les hémicelluloses

Dans le cadre de nos travaux (Messenger *et al.*, 1999), nous nous sommes particulièrement intéressés à une hémicellulose présente à plus de 40 % dans le son de maïs et qui porte le nom d'hétéroxylane (figure 1b). Les produits obtenus après estérification des fonctions hydroxyles de cette hémicellulose en présence d'acide laurique n'ont pas conduit à des films. Nous avons dû avoir recours à une stratégie tout à fait différente de celle utilisée pour la cellulose. Le principe consiste tout d'abord à effectuer une oxydation *periodique* suivie d'une amination réductrice par la laurylamine en présence d'un agent réducteur tel que le borohydrure de sodium ou le cyanoborohydrure de sodium (figure 4). Il est intéressant de constater que le seul solvant employé dans cette méthode est l'eau. La figure 4 illustre sur le plan chimique ce concept au niveau d'une des unités glucidiques, dans le cas présent, l'arabinose. Il est nécessaire de garder à l'esprit que toutes les unités glucidiques de l'hétéroxylane portant deux hydroxyles contigus présenteront le même comportement vis-à-vis des réactifs utilisés.

Figure 4 : transformation chimique des hétéroxylanes



CARACTERISTIQUES DES FILMS PLASTIQUES OBTENUS

L'application des protocoles opératoires décrits précédemment sur les polysaccharides cellulosiques et hémicellulosiques aboutit à la formation de films plastiques hydrophobes qui possèdent des propriétés mécaniques et physiques intéressantes puisqu'ils sont déformables (élastique - plastique) et stables jusqu'à des températures comprises entre 150 et 250°C. Le rendement massique de la réaction est compris entre 100 et 150 %. De plus, les degrés de substitution varient de 1 à 2,5 unités d'acides gras par unité de glucose (maximum 3). Par ailleurs, le plastique produit par estérification de la cellulose est partiellement biodégradable (Gourson *et al.*, 1999b ; Benhaddou *et al.*, 1994). En effet, la bactérie *Chromobacterium violaceum* est capable, en milieu liquide et dans des conditions standardisées de culture, de dégrader jusqu'à 30 % massique du plastique pour un temps de contact de 3 mois. Ce pourcentage n'est plus que de 10 % dans le cas du plastique obtenu par transformation des hémicelluloses. Un tel résultat suggère que l'équipement enzymatique, notamment cellulolytique, de *C. violaceum* est suffisamment adapté à la dégradation de la cellulose modifiée. Le faible taux de dégradation constaté dans le cas des plastiques issus de la transformation des hémicelluloses indique, quant-à lui, que cette souche bactérienne présente une faible activité hydrolytique de type hémicellulasique ou alors que les hémicellulases présentes ont une faible affinité et donc, un faible pouvoir catalytique sur les hémicelluloses modifiées. Cette hypothèse reste néanmoins à confirmer expérimentalement. Enfin, l'efficacité de la transformation par estérification peut être facilement appréciée par spectroscopie infra-rouge. La figure 5 illustre ces propos dans le cas de la cellulose en indiquant clairement la disparition d'une quantité importante de fonctions hydroxyle (signal caractéristique 3336 cm^{-1}) et l'apparition concomitante de la fonction ester (signal caractéristique 1743 cm^{-1}).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons démontré que la cellulose et les hémicelluloses étaient de bons candidats pour la transformation en films plastiques et que la qualité des films obtenus était satisfaisante. Leur biodégradabilité a d'ailleurs pu être estimée à cette occasion. La méthodologie employée pour la production de plastiques à partir de polysaccharides cellulosiques répond à l'évolution perceptible dans le domaine de la chimie organique contemporaine. En effet, les stratégies impliquées dans la formation de ce plastique ne requièrent pas l'utilisation de solvants toxiques. Il s'agit donc d'une chimie propre. Par ailleurs, la mise en place de la réaction proprement dite après activation par un rayonnement micro-onde induit un coût énergétique de production tout à fait modeste, ce qui constitue en soi un argument économique non négligeable. Enfin, la possibilité de former, à partir d'une matière inépuisable puisque totalement renouvelable (productions agricoles et forestières) et parfois encombrante, des plastiques biodégradables ouvre la porte à des travaux de recherche innovants qui auront pour objectif de mettre en place une chimie des matières plastiques palliative aux procédés classiques actuels qui font appel aux combustibles et matières premières d'origine fossiles. Cette perspective met en lumière tout l'intérêt de ces travaux qui devraient désormais s'orienter vers l'étude de l'impact de la variabilité biologique et donc structurale des polysaccharides pariétaux utilisés (nature chimique, degré de polymérisation, degré de substitution ...) sur les qualités physiques et chimiques des plastiques formés.

Figure 5 :
Caractérisation des esters cellulosiques par spectroscopie infrarouge.

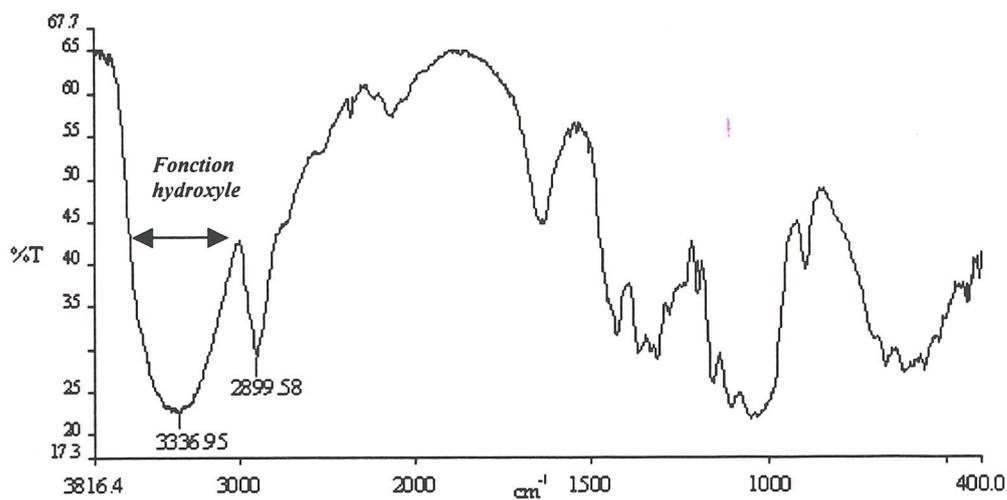


Figure 5a : spectre infrarouge de la cellulose microcristalline.

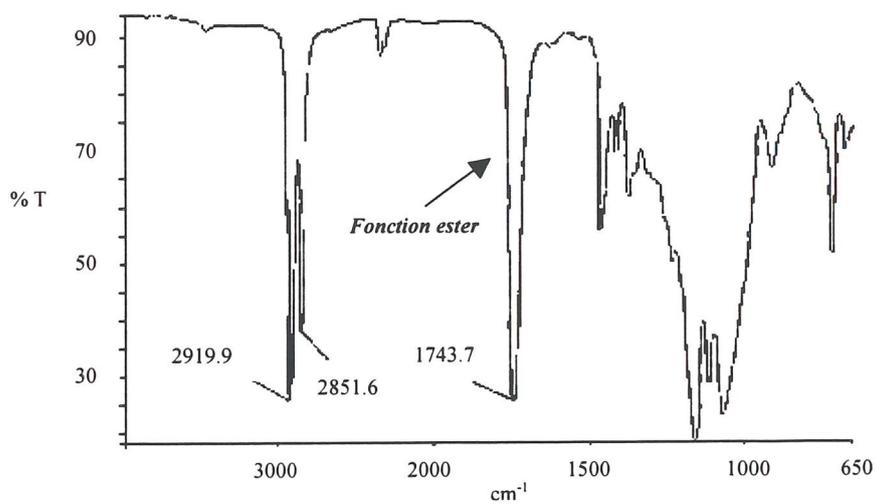


Figure 5b : spectre infrarouge d'une cellulose modifiée (film plastique de DS = 2)

Remerciements :

Les auteurs remercient le Conseil Régional du Limousin, la société Ulice-Limagrain ainsi que l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) pour leurs soutiens financiers. Nous remercions également M. Guilloton pour son aide à la préparation du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- BARNOUD, F., 1980.-** La cellulose, *dans* : Les polymères végétaux. Polymères pariétaux et alimentaires non azotés. B. Monties ed., Gauthier-Villars, Paris, pp 66-86.
- BENHADDOU, R., GRANET, R., GUILBERT, S., KRAUSZ, P., CHANLIAUD, L., SAULNIER, L., THIBAUT, J.F., 1994.-** Obtention de polymères biodégradables à partir de résidus cellulosiques. *Annales de l'INRA*; **71**, 231-244.
- BONNIN, E., RENARD, C., THIBAUT, J.F., DUCROO, P., 1997.-** Les enzymes de dégradation des parois végétales : mode d'action et utilisations alimentaires, *dans* : enzymes en agroalimentaire. V. Larreta Garde Ed, Lavoisier collection Tec & Doc, pp 168-200.
- CHANLIAUD, E., SAULNIER, L., THIBAUT, J.F., 1995.-** Alkaline extraction and characterization of heteroxylans from maize bran. *J. Cereal Sci.*, **21**, 195-203.
- CHAUVELON, G., GERGAUD, N., SAULNIER, L., LOURDIN, D., BULÉON, A., THIBAUT, J.F., KRAUSZ, P., 2000.-** Esterification of cellulose-enriched agricultural by-products and characterization of mechanical properties of cellulosic films. *Carbohydr. Polym.*, **42**, 385-392.
- CHAUVELON, G., SAULNIER, L., BULÉON, A., THIBAUT, J.F., GOURSON, C., BENHADDOU, R., GRANET, R., KRAUSZ, P., 1999.-** Acidic activation of cellulose and its esterification by long-chain fatty acid. *J. Applied Polym. Sc.*; **74**(8), 1933-1940.
- CHAUVELON, G., RENARD, C., SAULNIER, L., BULÉON, A., THIBAUT, J.F., BENHADDOU, R., GRANET, R., KRAUSZ, P., 1998.-** Preliminary study of formation of films from cellulose-enriched agricultural by-product. *J. Applied Polym. Sc.*, **68** (2), 331-337.
- COLONNA, P., 1999.-** Les biomatériaux détrôneront-ils les plastiques ? *Biofutur*, **193**, 16-18.
- GERNGROSS, T., SLATER, S., 2000.-** Des plastiques extraits des plantes. *Pour la science*, **276**, 66-71.
- GOURSON, C., BENHADDOU, R., GRANET, R., KRAUSZ, P., SAULNIER, L., THIBAUT, J.F., 1999a.-** Preparation of biodegradable plastic in microwave oven and solvent free conditions. *C. R. Acad. Sci. Paris, t.2, Série IIC*, 75-78.
- GOURSON, C., BENHADDOU, R., GRANET, R., KRAUSZ, P., VERNEUIL, B., BRANLAND, P., CHAUVELON, G., THIBAUT, J.F., SAULNIER, L., 1999b.-** Valorization of maize bran to obtain biodegradable plastic films. *J. Applied Polym. Sc.*, **74**(13), 3040-3045.

JOHNSON, D.A., MACLEAN, W.D., JACOBSON, R., 1997.- Agro-plastics composites : replacing polypropylene and polyethylene with wheat straw. *Third biomass of the Americas conference*, Montréal (Canada), 1-7.

KLEMM, D., PHILIPP, T., HEINZE, T., HEINZE, U., WAGENKNECHT, W., 1998.- Comprehensive cellulose chemistry, fundamentals and analytical methods, *Vol 1 et 2*, Wiley-VCH Eds, Wein, 260 p.

MESSAGER, A., GUY, C., DESPRE, D., FREDON, E., GRANET, R., BENHADDOU, R., KRAUSZ, P., 1999.- Ulice - Brevet Français n° 99 11637, Composés dérivés de polysaccharides, leurs procédés d'obtention et leurs utilisations.

NAWRATH, C., POIRIER, Y., SOMERVILLE, C., 1995.- Plant polymers for biodegradable plastics : cellulose, starch and polyhydroxyalkanoates. *Molecular Breedings*, *1*, 105-122.

PAILLET, M., PEGUY, A., 1990.- New biodegradable films from exploded wood solutions. *J. Applied Pol. Sci.*, *40*, 427-433.

REMOND-ZILLIOX, C., 1996.- Etude des mécanismes de dégradation enzymatique des parois végétales. Application à l'hydrolyse de la paille de blé par une endoxylanase purifiée. Thèse de Doctorat de l'Université de Reims, 190 p.

WANG, P., TAO, B.Y., 1995.- Synthesis of cellulose fatty acid esters for use as biodegradable plastics. *J. Env. Polym. Degradation*, *3(2)*, 115-119.

WAWRO, D., STRUSZCZYK, H., 1999.- Biodegradable films made on the basis of biotransformed cellulose/starch blends. *Fibres and Textiles in eastern Europe*, *25*, 49-51.

**POLLUTION DIFFUSE PAR LES METAUX
A PARTIR DES ANCIENNES MINES ; L'EXEMPLE DU LIMOUSIN**

**BRIL, H., ROUSSEL, C., FLOCH, J.P., NEEL, C.,
COURTIN-NOMADE, A., DUTREUIL, J.P.**

LASEH-géologie, Université de Limoges, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges cedex

Résumé

En Limousin, la fermeture des exploitations minières a laissé des déblais riches en métaux et des galeries par lesquelles s'écoulent les eaux souterraines. Ces installations sont la source de contaminations métalliques diffuses pouvant déboucher sur une pollution : certains éléments toxiques sont mis en solution ou transportés sous forme de fines particules jusqu'au réseau hydrographique. Les menaces ne présentent jamais un tour catastrophique, mais il importe de continuer la surveillance des anciens sites y compris ceux qui ont été abandonnés avant 1976.

Mots clés : mines, pollution métallique, sols, sédiments, eau.

Abstract

**DIFFUSE METALLIC POLLUTION FROM THE FORMER MINES,
THE LIMOUSIN AREA AS AN EXAMPLE**

In the Limousin region, the closing of the mines left metal-rich tailings and galleries from which underground waters flow. These sites are the location of a diffuse metallic pollution : some toxic elements are released from the waste and transported as solubilized ions or as suspended material to the hydrographic network. The threats cannot be considered as catastrophic, but the watching of the former mining sites, is of importance.

Key-words : mines, metallic pollution, soils, sediments, water

INTRODUCTION

Les mines d'or, de tungstène, d'antimoine ou d'uranium ont été durant de nombreuses années une des richesses du Limousin (Bril et Watelet, 1986; Bril et Floch, 1994; Landais, 1996) : près de 35 tonnes d'or et 30000 tonnes d'uranium ont été extraites du sous-sol de la région. Si l'on excepte les aurières antiques (Cauet, 1994), leur exploitation a débuté à partir du milieu du XIX^{ème} siècle ; certaines mines ont fermé au moment de la crise économique des années 1930, l'uranium a connu un bel essor après la seconde guerre mondiale tandis que

l'époque actuelle est celle des fermetures : les dernières mines (d'or dans la région de Saint-Yrieix-La-Perche, d'uranium près de Jouac dans le nord de la Haute-Vienne) cesseront leur activité d'ici une à deux années.

Jusqu'à la fin des années 1970, une fois le minerai épuisé, les travaux miniers (anciennes galeries, tas de déblais, matériels divers...) étaient abandonnés sur place. Depuis la loi sur l'environnement (1976), un plan et un calendrier d'exploitation suivis d'une remise en état et d'une surveillance des sites après l'arrêt des activités, sont imposés à l'exploitant par l'administration compétente, la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche). L'application de cette loi a eu pour effet de réduire les nuisances, sans qu'il soit évidemment possible de les supprimer.

L'un des impacts de l'activité minière est la dispersion des métaux non valorisables contenus dans le minerai, vers les eaux ou les sols environnants. Le laboratoire de géologie de l'Université de Limoges (LASEH) travaille depuis plusieurs années sur le problème des pollutions par les métaux à partir des déblais laissés par les anciennes mines. Le but de ces études est d'abord de caractériser la nature et les niveaux de contamination puis de tenter de prédire leur évolution dans le temps et l'espace (figure 1) afin de permettre un choix réfléchi de solutions de réaménagement.

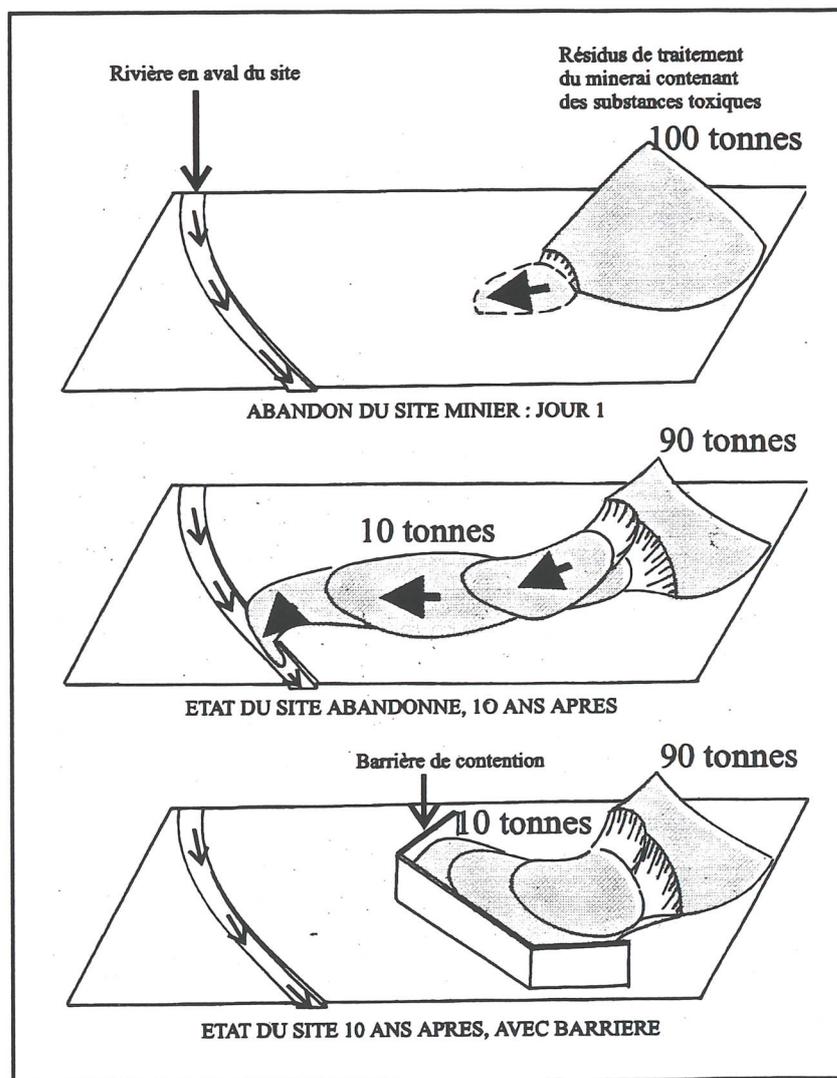


Figure1 - Représentation schématique du déplacement d'une pollution avec le temps.

MATERIELS ET METHODES

Qu'est-ce qu'une pollution ?

Ce mot très employé, n'est pas toujours bien défini (Chassin et al., 1996). De plus, on en parle avec l'idée fautive que ce qui est naturel est bon : mais l'arsenic même naturel, n'est pas bon pour la santé.

Une pollution est une concentration d'éléments ou de molécules *toxiques* susceptibles de passer dans la chaîne alimentaire et donc de nuire à l'un de ses maillons (végétaux, animaux, humains). Les milieux intermédiaires entre le minéral et le végétal ou l'animal, entre le végétal et l'homme sont souvent les eaux et les sols (figure 2). Il est donc nécessaire d'étudier correctement ces milieux et les transferts de l'un à l'autre.

Les pollutions ont des origines diverses. Elles peuvent être organiques (bactéries, virus, molécules organiques) ou inorganiques (métaux lourds comme le plomb, le zinc, le cuivre, le cadmium ou encore l'uranium, autres éléments comme l'arsenic, l'antimoine etc.). Dans cet article il ne sera question que de la pollution inorganique dont une des caractéristiques est la permanence, c'est à dire qu'elle n'est pas "biodégradable".

Cette définition de la pollution implique en outre qu'une forte concentration n'est pas dangereuse si elle est correctement isolée du milieu environnant. C'est sur ce principe que sont installés et gérés les sites de stockage (décharges) d'ordures ménagères ou industrielles : ils contiennent de grandes quantités d'éléments toxiques à des concentrations élevées, mais le conditionnement (mise en place de barrières imperméables) est tel qu'il n'y a pas ou peu de fuites possibles vers les eaux ou la biosphère.

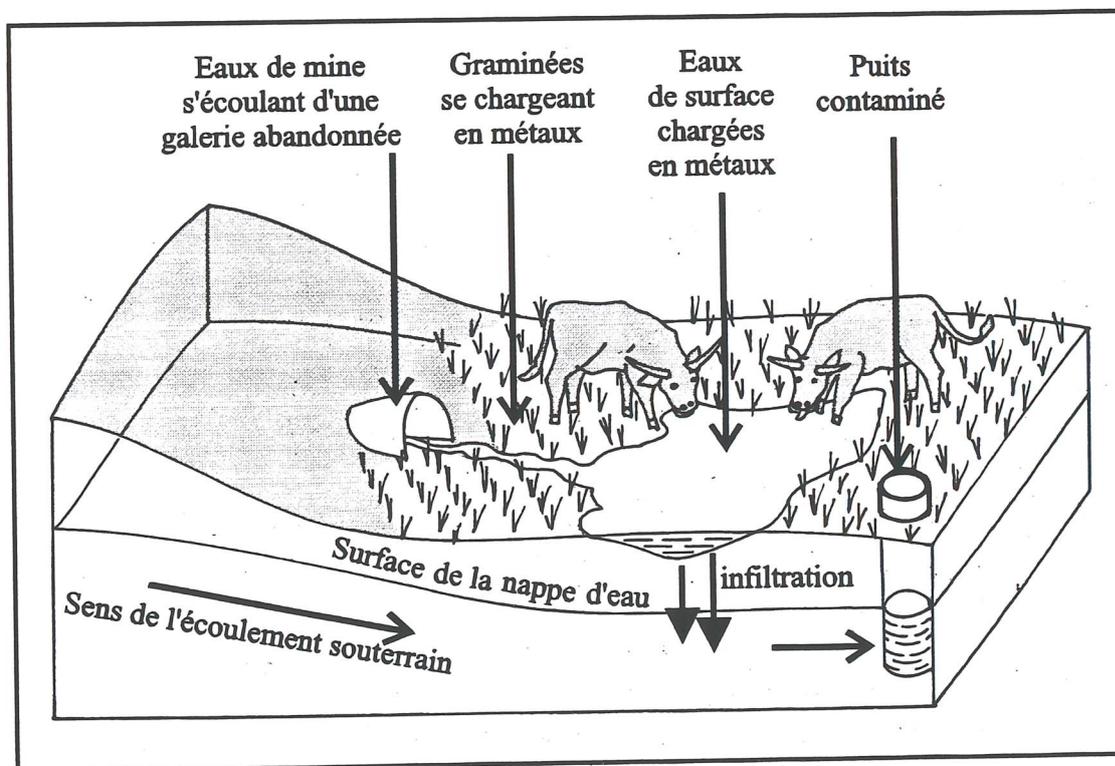


Figure 2 - Mécanismes qui permettent le passage d'un métal de la mine à la chaîne alimentaire

Mines, minerais et contamination

Une mine exploite des éléments lourds (généralement des métaux) utiles aux activités humaines, de la sidérurgie à l'électronique. Comme les conditions économiques ont largement varié au cours de cent cinquante dernières années, certaines concentrations métallifères ont été exploitées puis abandonnées. De nos jours, une mine ferme lorsqu'il n'y a plus de minerai exploitable aux conditions du marché ou/et lorsque les problèmes annexes (d'environnement par exemple) deviennent trop lourds à gérer.

Si l'on ne prend pas de précautions, les mines sont des sources de contamination chimique du milieu environnant pour trois raisons principales :

- les gisements contiennent toujours en grandes quantités des substances annexes, inintéressantes pour l'exploitant et souvent toxiques : en Limousin, ce sont le plomb, le fer, l'arsenic, le zinc, le soufre. De surcroît, dans le minerai, les métaux sont généralement présents sous forme de sulfures (exemple galène = PbS , sulfure de plomb; pyrite = FeS_2 , sulfure de fer), qui sont des minéraux instables à l'air et dans l'eau ;
- les travaux miniers (creusement de galeries à l'explosif, creusement de carrières...) ouvrent des voies pour la circulation des eaux dans des zones qui n'étaient pas fissurées auparavant, mettant ainsi les eaux en contact prolongé avec des éléments potentiellement polluants;
- la masse des stériles miniers, c'est à dire des déchets dont il faut se débarrasser est énorme : par exemple pour l'uranium, on compte en moyenne 995 kilos de stériles par tonne de minerai extrait et pour une tonne de minerai aurifère, il reste 999,990 kilos de stériles.

On peut donc dire en résumé que l'exploitation d'une mine met en contact des matériaux riches en soufre et en métaux avec les eaux souterraines (galeries) ou les eaux de pluie (tas de minerai entreposés à l'air libre, mines à ciel ouvert). Ainsi exposés aux conditions de la surface, ces matériaux libèrent les éléments qu'ils renferment, plomb, arsenic, fer etc. Lorsqu'elles sont en contact avec ces substances, les eaux superficielles ou souterraines en dissolvent une partie et entraînent une autre partie, sous forme de poussières riches en métaux, vers les cours d'eau puis les lacs où elles sédimentent. Par la suite, ces éléments peuvent rejoindre la chaîne alimentaire en étant absorbés par les végétaux ou les animaux.

Prenons l'exemple de l'arsénopyrite (appelé aussi mispickel) qui est un sulfure de fer et d'arsenic que l'on trouve à des teneurs de l'ordre de 1% dans de nombreux gisements limousins, qui contiennent de l'or, de l'uranium, du tungstène ou de l'antimoine. La formule de ce minéral s'écrit $Fe As S$, ce qui signifie qu'il est constitué par le même nombre d'atomes de fer, d'arsenic et de soufre. Un rapide calcul en fonction des masses moléculaires de ces éléments permet donc de constater qu'un kilo d'arsénopyrite renferme 460 grammes d'arsenic ou que pour une tonne de minerai d'or, on extrait 10 grammes d'or et 4600 grammes d'arsenic qu'il faut éviter de mettre en contact avec les eaux souterraines et les intempéries sous peine de le voir polluer l'eau, les sédiments des rivières ou les sols.

Le législateur a donc été amené à définir, au niveau européen les seuils maximums admissibles dans l'eau destinée à la consommation humaine pour toutes les substances jugées néfastes pour la santé (loi sur l'eau de 1989 et ses décrets d'applications). Ces seuils se chiffrent pour la plupart des métaux en microgrammes par kilo ($1\mu g = 0,000000001kg$) : 50 μg pour le plomb, 50 et bientôt 10 $\mu g/litre$ pour l'arsenic, 10 μg pour l'antimoine, 5 pour le cadmium etc.

Pour les sols, et la plupart des végétaux, il n'y a pas de normes précises et certains végétaux intègrent plus facilement que d'autres tel ou tel élément à leur métabolisme : certaines sont capables de se développer malgré des concentrations de plusieurs mg/kilo de matière sèche. Il est donc nécessaire pour comprendre cette chaîne très complexe d'étudier la façon dont les polluants métalliques sont transférés du sol à l'eau, de l'eau au sol et à la plante.

RESULTATS

L'ancienne mine des Farges (Haute Vienne)

Parmi d'autres sites, nous avons étudié le cas de Chéni (Roussel et al., 1998; Roussel et al., 2000), dans la région de Saint-Yrieix-La-Perche, où 600000 tonnes de stériles miniers très fins et de couleur jaune, répartis en un terril d'une hauteur de 30 mètres et trois bassins de décantation ont été abandonnés en l'état en 1944, date à laquelle la résistance fit sauter le puits de la mine voisine. A une teneur comprise entre 0,7 et 0,8 % la quantité d'arsenic totale pouvait être estimée à 4500 tonnes d'arsenic entreposé initialement sous la forme d'un sulfure de fer et d'arsenic, l'arsénopyrite.

Durant une année (en 1995-1996), nous avons échantillonné puis analysé les eaux de Chéni tous les dix jours, en 13 points différents. Les résultats ont montré qu'à la sortie du site elles contenaient de l'arsenic, souvent bien au delà des normes. De même, les concentrations mesurées dans l'eau pouvaient varier fortement en un même point d'une semaine à l'autre, mais les quantités totales exportées sous forme dissoute étaient relativement faibles par rapport au débit de la rivière Isle qui coule à une centaine de mètres en contrebas. Cela signifie que l'impact du site sur la rivière était très faible pour ce qui concerne l'arsenic en solution.

La seconde partie de l'étude a mis en évidence que la configuration actuelle des stériles permettait finalement une assez bonne rétention du polluant principal, l'arsenic, et qu'il serait très mauvais de changer les conditions d'acidité et de contact avec l'air (pH-Eh) qui régnaient au sein des stériles car on augmenterait alors la solubilité de l'arsenic. En d'autres termes cela signifie qu'il ne fallait pas, par exemple, aplanir le terril pour en diminuer la perception visuelle depuis les hauteurs environnantes.

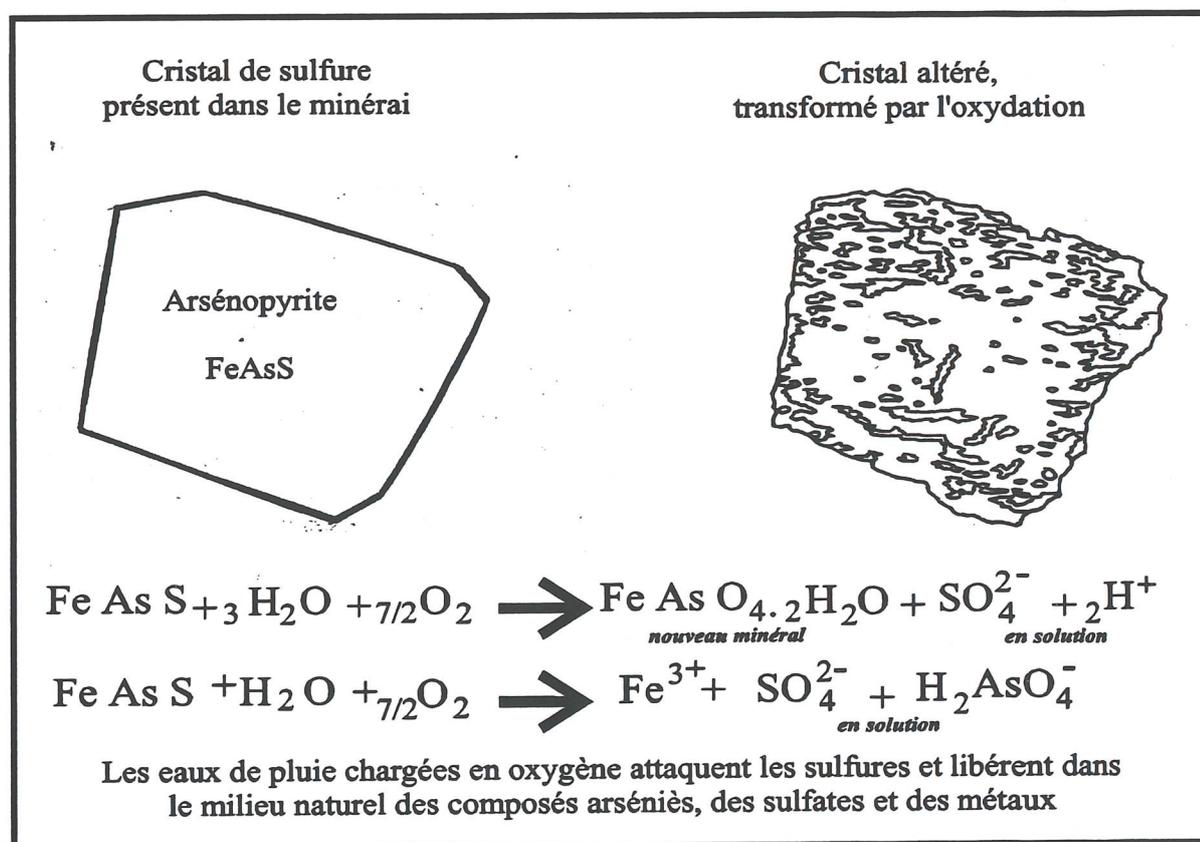


Figure 3 - Altération des sulfures.

Malgré ces "bonnes nouvelles", l'impact du site n'était pas nul puisque, lors des pluies d'orage de l'été, les stériles étaient soumis à une forte érosion qui colorait la rivière en jaune sur quelques dizaines de mètres et qu'à chaque épisode pluvieux, plusieurs kilos d'arsenic y étaient amenés sous forme de fines particules appelées matières en suspension. Nous ne connaissons pas le devenir de cet arsenic à l'aval de Chéni, mais il constitue aujourd'hui une (petite) partie des sédiments sur lesquels coule l'Isle et il est vraisemblable qu'il se met tout doucement en solution puisqu'il est assez soluble sous cette forme. Les travaux de remédiation devaient donc comporter avant toute chose la mise en place de nouvelles digues empêchant les matières en suspension d'être amenées jusqu'à la rivière. C'est ce que l'ancien exploitant a fait réaliser à la fin de 1999. Néanmoins, à l'aval de cette région où l'arsenic est fortement présent, les concentrations dans les eaux superficielles sont encore préoccupantes.

Nous avons étudié aussi d'autres sites en Limousin et dans tout le Massif central (Roussel et al., 2000; Courtin et al., 2000). Une partie des résultats obtenus montre qu'il faut prêter plus d'attention qu'on ne le fait habituellement aux particules fines, souvent fortement chargées en polluants, qui sont entraînées hors des déblais ou hors des anciennes galeries jusqu'au réseau hydrographique. Et cela est vrai pour de nombreux éléments et sur tous les anciens sites miniers. Une autre conclusion est qu'il est nécessaire d'effectuer une surveillance (et donc des analyses) de l'eau sur au moins un cycle hydrologique complet, c'est à dire une année, sans oublier les solides qu'elle transporte .

L'ancienne mine de La Petite Faye (Creuse)

La Petite Faye près de Bénévent-l'Abbaye, est le nom d'une ancienne mine d'or qui n'a produit que 321 kilos d'or au début des années 1960, à comparer aux 7 tonnes de la mine des Farges dont il vient d'être question (Floc'h et Bril, 1994). Une des particularités de ce site, beaucoup plus petit et moins spectaculaire que le précédent, est d'avoir traité également en 1965 un minerai venant de Suède avec de très fortes teneurs en or, mais aussi en plomb et en arsenic. Tous les résidus de traitement ont été abandonnés sur place.

Après avoir procédé aux analyses nécessaires pédologiques et chimiques pour caractériser le milieu (Néel et al., 2001) et connaître les quantités de métaux encore présentes dans les sols (Roussel et al., 2000), nous avons procédé à des analyses minéralogiques qui nous ont révélé la présence en abondance, d'un sulfate arsenié de plomb (la beudantite) et d'un sulfate arsenié de fer (la scorodite) qui se sont formés depuis l'arrêt de l'exploitation sur le site abandonné.

Sur divers échantillons de sols et nous avons ensuite procédé au laboratoire à des essais de solubilisation de ces nouveaux minéraux qui se sont révélés stables dans les conditions qui règnent actuellement sur le site. En d'autres termes, ces nouveaux minéraux immobilisent de façon durable les éléments toxiques présents dans les déblais de La Petite Faye et les empêchent de rejoindre le réseau hydrographique. Il n'y a donc pas de risque, pour ce qui concerne le plomb et l'arsenic, si le site est convenablement isolé.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les risques en Limousin

En Limousin, il n'y a pas lieu de craindre de grandes pollutions comme celles qui se sont produites en Europe au cours des dernières années. Dans le sud de l'Espagne en avril 1998, un peu en amont du Parc Naturel de la Doñana, dans le célèbre district minier de Rio Tinto, ce sont cinq millions de mètres cubes (de 15 à 20 millions de tonnes) de pyrite qui ont été déversés dans un affluent du Guadalquivir à la suite de la rupture d'une digue. En Roumanie, le 30 janvier 2000 à la mine d'Aurul, la même cause a provoqué le déversement de cyanure, utilisé dans les

procédés de concentration du minerai, dans un affluent du Danube.

Cependant, les anciennes mines limousines relarguent quotidiennement des eaux contenant des métaux dissous ou transportant des sédiments très fins sur lesquels sont piégés des métaux qui vont se mêler plus en aval, aux alluvions des cours d'eau ou aux sédiments des lacs. Là, ils peuvent constituer un nouveau réservoir de substances polluantes.

Il existe aussi des risques naturels moins connus : en Limousin, certaines formations géologiques (des gneiss, des granites etc.) ou certaines structures géologiques (des failles) sont naturellement riches en métaux. C'est le cas d'une grande faille appelée la faille d'Argentat qui contient plusieurs dizaines de milligrammes d'arsenic par kilo de roche à certains endroits. C'est aussi le cas, dans des districts miniers actuels ou anciens (Saint-Yrieix-La-Perche, Monts de Blond, Bénévent-l'Abbaye...), de certaines failles qui sont susceptibles de constituer des aquifères utilisés pour l'eau potable. En conséquence, certaines sources captées et certaines rivières présentent de temps à autre, ou de manière chronique, des concentrations en arsenic ou en métaux supérieures aux normes. Il n'existe que deux remèdes : abandonner les captages ou traiter les eaux brutes concernées lorsque la ressource est utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Les autres sources potentielles de métaux dans l'environnement

Les mines et leurs annexes ne constituent pas la seule source potentielle de contamination de l'environnement par les métaux. Les industries métallurgiques où sont pratiqués notamment l'électrolyse ou la galvanisation, sont une source importante de métaux lourds. Dans les imbrûlés des usines d'incinération des déchets ménagers (résidus ultimes), les métaux sont très concentrés et présentent de forts risques de relargage. De même, les boues des stations d'épuration urbaines que l'on élimine notamment en procédant à des épandages agricoles, possèdent aussi de fortes teneurs en métaux, zinc, plomb ou cadmium par exemple. Dans tous les cas, il est nécessaire d'éviter les fuites incontrôlées de ces éléments toxiques, en stabilisant ces matériaux ou en les préservant de contacts prolongés avec les eaux superficielles ou souterraines. C'est à cause de toutes ces applications potentielles que nous avons étudié les pollutions minières et que nous nous intéressons aujourd'hui à d'autres foyers de pollution riches en métaux susceptibles de contaminer les eaux superficielles et souterraines.

Dans tous les cas que nous venons de citer, les mécanismes de contamination sont les mêmes, même si les concentrations sont différentes. Les enjeux de ces études sur la distribution des substances potentiellement polluantes dans l'environnement, sont une aide à la gestion des espaces naturels ou anthropisés. Dans le cas des mines, il s'agit aussi d'assumer l'héritage du passé. Mais comme nous l'avons dit au début de cet article, ce n'est pas parce qu'une zone contient des métaux qu'elle est polluée ou susceptible de l'être: éviter une pollution, c'est éviter que les métaux ne passent dans la chaîne alimentaire.

BIBLIOGRAPHIE

- Bril, H., Floc'h, J.P. 1994. - Sous le sol du Limousin, éd. I.E.O. Aurillac collection *escapade*, 32 pages.
- Bril, H., Watelet, P., coordonnateurs, 1986.- Les richesses du sous-sol en Auvergne et Limousin. *Editions Ville d'Aurillac*, 283 pages.
- Cauuet, B., 1994. - Les mines d'or gauloises du Limousin. *Culture et patrimoine en Limousin*, Limoges, 40 pages.
- Chassin P., Baize, D., Cambier, P., Sterckeman, T., 1996.- Les éléments traces métalliques et la qualité des sols. *Etude et gestion des sols*, 3, 4, p. 297-306.
- Courtin, A. , Bril, H. and Néel, C., 2000. - Arsenic iron crust developed within tailings of a

former metallic mine. *1st International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining areas, July 2000, Essen, Germany*, Proc. Vol III, 1029-1032.

Landais, G., 1996.- Entrailles; petites histoires du sous-sol limousin. Ed. PULIM, 40 p.

Néel, C., Bril, H., Courtin, A. & Dutreuil, J.P., 2001.- Fate of As and heavy metals in acid anthroposoils developing on the tailing of a former gold mine. *Geoderma*, (soumis)

Néel, C., Bril, H. & Fernandez, A., 1998.- Hydrogeochemical survey and mobility of As and heavy metals on the site of a former gold mine (Saint-Yriex mining district, France). *Hydrogéologie*, 1, 3-12.

Roussel, C., Bril, H. & Fernandez, A., 2000.- Arsenic speciation : involvement in the evaluation of environmental impact caused by mine wastes (sous presse). *J. Environ. Qual.*, 29, 182-188.

Roussel, C., Néel, C. & Bril, H., 2000.- Minerals controlling and lead solubility in an abandoned gold mine tailing. *The Science of the Total Environment*, 263, 209-219.



INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Les articles publiés dans la revue concernent tous les aspects ayant trait à l'étude du milieu de la région Limousin et doivent présenter des résultats originaux. Les articles de synthèse ne sont acceptés que s'ils conduisent à des généralisations nouvelles et importantes. Tous sont soumis à l'avis de deux réviseurs.

Présentation du texte : Les manuscrits devront être dactylographiés en simple interligne avec une machine à écrire de bonne qualité ou être imprimés avec une imprimante de type "laser". Ils pourront se présenter sous la forme de fichiers informatiques créés avec le logiciel "Word", soit pour compatible PC, soit pour Macintosh. Les noms latins sont à taper en italique.

Un espace de 5 cm sera laissé en haut de la première page afin que la rédaction puisse mettre les références de l'article.

Le manuscrit ne devra pas dépasser 24 pages imprimées. La largeur du texte par page sera de 17 cm avec marges de 2 cm de chaque côté. Les marges du haut et du bas auront 2,5 cm. La page 1 doit comporter le titre de la publication écrit en majuscules (sauf pour le noms latins qui seront en minuscules), les noms des auteurs suivi du prénom en abrégé et de leur adresse.

Les articles doivent être rédigés en français et comporter un résumé en français et en anglais ainsi que des mots clés dans les deux langues placés en fin de chaque résumé. Le titre traduit en bon anglais doit également figurer au début du résumé anglais.

Figures et tableaux : Les figures seront numérotées successivement avec des chiffres arabes et auront chacune une légende descriptive. Les tableaux seront numérotés de même avec des chiffres romains et seront pourvus chacun d'un titre. Pour un manuscrit dactylographié ou imprimé au format définitif, les figures et les tableaux seront disposés à leur place dans le texte. Pour les autres cas, les figures et les tableaux seront fournis sur des feuilles séparées. Leur qualité devra être suffisante pour supporter une réduction les amenant à la largeur maximale du texte de la page, soit 17 cm.

Photographies : Les photographies en noir et blanc devront être suffisamment nettes, tirées sur papier brillant et normalement contrastées. Leur largeur doit être inférieure à 17 cm. Elles doivent être mises en place dans les textes définitivement dactylographiés ou imprimés, accompagnées d'une légende. Les photographies en couleurs ne sont pas acceptées.

Références bibliographiques : Les noms des auteurs seront mentionnés dans le texte avec l'année de publication entre parenthèses. Les références seront classées par ordre alphabétique à la fin du texte selon les exemples suivants :

CHAUDRONNET, J., 1978. - La phylogénèse du système nerveux annélido-arthropodien. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 103, 69-95.

PATT, D.I., PATT, G.R., 1968. - Comparative vertebrate histology. Harper and Row éd., New-York, 438 p.

Epreuves et tirés-à-part : Les manuscrits (en 3 exemplaires) ou fichiers informatiques sont à envoyer à l'attention des secrétaires de rédaction. L'auteur sera informé de l'acceptation, du rejet, ou de modifications nécessaires dans les trois mois qui suivent la réception du manuscrit. Les auteurs recevront un seul jeu d'épreuves pour corriger les erreurs typographiques. Aucune correction d'auteur ne sera acceptée. Les épreuves devront être retournées dans un délai de deux semaines.

Vingt tirés-à-part sont fournis gracieusement à l'ensemble des auteurs. Des exemplaires supplémentaires pourront être demandés mais ils seront facturés en supplément.