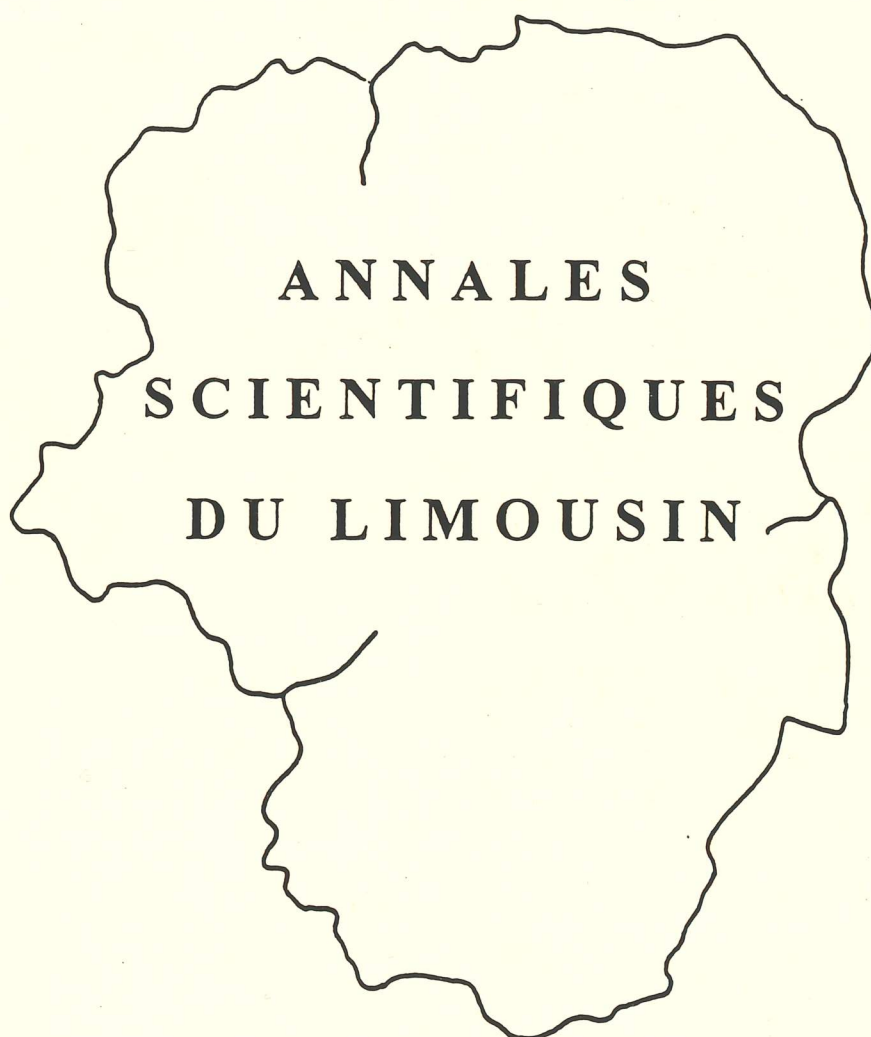


ASSOCIATION UNIVERSITAIRE LIMOUSINE POUR L'ETUDE  
ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
(A.U.L.E.P.E.)



---

**Tome 13 - 2002 - LIMOGES**

## 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.

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



---

**Tome 13 - 2002 - LIMOGES**

N° ISSN : 0765-0477

## SOMMAIRE

---

<b>Sur la présence de <i>Crocidura leucodon</i> (Micromammifère) dans le département de l'Indre (France). Indelicato N. ....</b>	<b>1</b>
<b>Essai de valorisation d'un coproduit de la filière bois : Etude des capacités de fixation de métaux lourds par les écorces. Martin-Dupont F., Gloaguen V., Granet R., Guilloton M., Morvan H. &amp; Krausz P. ....</b>	<b>13</b>
<b>Etude de la qualité des eaux de l'Auvézère corrézienne. Principaux H. &amp; Comby F. ....</b>	<b>25</b>
<b>Les larves de diptères Sciomyzidae dans le département de la Haute-Vienne. Leur impact sur le système <i>Galbra truncatula</i> - <i>Fasciola hepatica</i>. Dreyfuss G., Vignoles Ph. &amp; Rondelaud D. ....</b>	<b>39</b>
<b>Premières données écologiques et biométriques sur quelques bytinelles (Gastéropodes, Hydrobiidae) vivant dans les ruisseaux de la région Limousin. Vignoles Ph., Rondelaud D., Dreyfuss G. &amp; Vareille - Morel C. ....</b>	<b>47</b>

## CONTENTS

---

<b>On the presence of <i>Crocidura leucodon</i> (small mammal) in the Indre department (France). Indelicato N. ....</b>	<b>1</b>
<b>Valorization of forestry byproduct : study of the adsorption of heavy metal by natural barks. Martin-Dupont F., Gloaguen V., Granet R., Guilloton M., Morvan H. &amp; Krausz P. ....</b>	<b>13</b>
<b>Water quality of the Auvézère river (Corrèze, France). Principaux H. &amp; Comby F. ....</b>	<b>25</b>
<b>The larvae of Sciomyzid Diptera in the department of Haute-Vienne (France). Their effect on the system host - parasite <i>Galbra truncatula</i> - <i>Fasciola hepatica</i>. Dreyfuss G., Vignoles Ph. &amp; Rondelaud D. ....</b>	<b>39</b>
<b>First ecological and biometric data on some bythinellini (Gastropoda, Hydrobiidae) living in the brooks of the Limousin region. Vignoles Ph., Rondelaud D., Dreyfuss G. &amp; Vareille - Morel C. ....</b>	<b>47</b>

**SUR LA PRESENCE DE *CROCIDURA LEUCODON* (MICROMAMMIFERE)  
DANS LE DEPARTEMENT DE L'INDRE (FRANCE)**

N. INDELICATO

45, rue de l'Alma, F-87100 Limoges

**RESUME** – La limite sud de la distribution de *Crocidura leucodon* (Musaraigne bicolore) traverse le département de l'Indre, sans raison climatique ou topographique. Le peuplement en petits mammifères de l'Indre a été étudié en se servant des pelotes de réjection fournies par la chouette *Tyto alba*. Les résultats d'une analyse statistique montrent une opposition entre *C. leucodon* et une autre musaraigne, *C. russula* (Musaraigne musette). La niche écologique de *C. leucodon* est, de plus, resserrée, car cette espèce est repoussée vers l'openfield et la forêt refuge. La compétition entre ces deux espèces similaires sur le plan écologique et éthologique est l'hypothèse la plus probable pour expliquer l'absence de *C. leucodon* de son aire potentielle au sud de l'Indre.

**MOTS CLES** – Composition des paysages, micromammifères, distribution, *Crocidura leucodon*, *C. russula*.

**ON THE PRESENCE OF *CROCIDURA LEUCODON* (SMALL MAMMAL)  
IN THE INDRE DEPARTMENT (FRANCE)**

**SUMMARY** – The southern limit of the distribution of *Crocidura leucodon* (bicoloured white-toothed shrew) crosses the Indre department, without climatic or topographic reason. The community of small mammals was studied using the pellets of the owl *Tyto alba*. The results of a statistical analysis showed an opposition between *C. leucodon* and an other shrew, *C. russula* (greater white-toothed shrew). Moreover, the ecological niche of *C. leucodon* was limited, and this species was pushed back towards the openfield and the forest shelter. To explain the absence of *C. leucodon* from a potential area in the southern part of the Indre department, the more likely hypothesis is that of a competition between these two species almost identical on the ecological and ethological levels.

**KEY WORDS** – Landscape composition, small mammals, distribution, *Crocidura leucodon*, *C. russula*.

**INTRODUCTION**

*Crocidura leucodon* occupe la moitié Nord de la France, elle ne se rencontre pas dans le Sud-Ouest thermo-atlantique ni dans la majeure partie du Massif central et de la région méditerranéenne. Cette répartition dépendrait d'un facteur climatique (Saint Girons, *in* SFPEM, 1984). Une observation va à l'encontre d'une action directe de ce facteur. Les plantes méditerranéo-atlantiques, thermophiles, comme *Erica scoparia*, *Ruscus aculeatus* ou *Rubia peregrina* sont des bioindicateurs du climat. Elles bordent et effleurent le nord-ouest du Limousin où elles sont rapidement à la limite de leur répartition (Vilks, 1991). Elles pénètrent largement dans le département contigu de l'Indre où les altitudes sont basses (Rameau *et al.*, 1989 ; Indelicato, données non publiées). En effet, le climat de l'Indre et celui du nord-ouest du Limousin présentent

Terroirs de l'Indre	Champagne berrichonne			Boischaud Nord					Brenne		Boischaud Sud		
	Rendzine			Argile calcaire					Argile - Sol podzolique)		Arène granitique		
	Openfield (forêt)			Bocage mixte (forêt, une part d'openfield)					Bocage (étang lande ou forêt)		Bocage typique ou simplifié		
Communes des sites	Bouges-le-Château	Liniez	Villegongis	Giroux	Heugnes	Jeu-Maloches	Moulins-sur-Céphons	Sougé	Migné	Vendœuvres	Crevant	Eguzon-Chantôme	% sur 16323 proies
<b>Micromammifères communs :</b>													
<i>Apodemus sylvaticus</i>	70	46	96	109	169	144	109	140	114	284	126	252	10
<i>Clethrionomys glareolus</i>	9	4	38	19	39	25	34	52	22	103	34	14	2
<i>Microtus agrestis</i>	3	2	1	9	17	26	22	18	104	148	105	79	3
<i>M. arvalis</i>	1266	950	333	733	692	767	498	540	686	468	594	1565	56
<i>M. subterraneus</i>	0	0	2	2	9	13	0	1	0	2	15	0	0,3
<i>Arvicola sapidus</i>	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	0	0,1
<i>Mus musculus</i>	5	8	4	2	7	4	0	8	3	8	5	9	0,4
<i>Rattus norvegicus</i>	4	6	3	3	3	12	1	3	3	8	1	7	0,3
<i>Crocidura leucodon</i>	0	0	10	3	0	1	2	3	0	0	0	0	0,1
<i>C. russula</i>	138	356	76	208	338	241	153	117	385	218	229	539	18
<i>Sorex coronatus</i>	14	20	27	15	79	74	46	69	130	103	129	79	5
<i>S. minutus</i>	0	0	9	1	9	5	4	6	9	22	22	2	0,5
<i>Neomys fodiens</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	1	3	2	1	0,1
<i>Talpa europaea</i>	0	2	1	0	3	2	0	2	2	1	2	5	0,1
<i>Eliomys quercinus</i>	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	0,1
<i>Micromys minutus</i>	5	9	5	10	33	42	71	7	76	42	8	39	2
<b>Micromammifères rares :</b>													
<i>Apodemus flavicollis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	6	0,1
<i>Microtus pyrenaicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	9	10	0,1
<i>Rattus rattus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0,02
<i>Neomys anomalus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,01
<i>Muscardinus avellanarius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,02
<b>Autres taxons :</b>													
Chiroptères	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,01
Oiseaux	7	2	0	3	2	6	7	2	4	3	1	2	0,2
Amphibiens	0	0	1	0	2	1	12	2	54	6	38	0	0,7
<b>Total</b>	<b>1521</b>	<b>1406</b>	<b>607</b>	<b>1118</b>	<b>1404</b>	<b>1366</b>	<b>961</b>	<b>974</b>	<b>1595</b>	<b>1420</b>	<b>1334</b>	<b>2617</b>	<b>100</b>
<b>Variables paysagères :</b>													Moy.
Taille moyenne des parcelles agricoles (en %)	99	72	70	90	22	23	21	18	15	12	9	24	40
Zones boisées (en %)	1	5,5	30	10	13,5	10,5	18,5	29	12	41	18	20	14
Rives (longueur en km)	0	1,25	0	0,25	2,15	2,5	1,7	3,25	3,5	3,75	4	4,5	2,2
Nombre de bâtiments	3	80	5	40	54	50	57	30	28	35	55	60	41
<b>Descripteurs de la biodiversité :</b>													
S richesse spécifique / 21	9	10	14	13	14	16	12	16	14	14	18	17	
H' diversité Shannon / 4,5	0,9	1,3	2,1	1,6	2,1	2,1	2,1	2,1	2,3	2,7	2,4	1,8	
E indice de régularité (0 à 1)	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	
Altitude (m)	151	160	183	143	137	140	140	134	121	117	370	220	168
Pluviométrie annuelle (mm)	670	670	700	600	700	700	670	700	700	770	850	780	709

TABLEAU I – Inventaire des proies de *Tyto alba*, retrouvées dans les pelotes de réjection récoltées sur 12 sites de l'Indre, et caractéristiques géographiques et écologiques des sites.

L'auteur a recherché les pelotes et a déterminé les espèces. Le suivi annuel des sites a permis de détecter les petits mammifères peu fréquents, et de minimiser les variations saisonnières et les hasards de l'échantillonnage.

des caractéristiques similaires : température moyenne annuelle de 10,5 °C à 11,5 °C et pluviométrie modérée de 700 à 900 mm. Dans ce contexte, *C. leucodon* apparaît dans l'Indre et non dans le Limousin. De plus, la bordure granitique du Massif central finit en pente douce sous la couverture sédimentaire. La limite observée de la distribution du micromammifère coupe donc l'Indre sans qu'une barrière climatique ou topographique s'interpose.

Dans l'Indre cependant, par le jeu combiné de la diversité des sols, de la topographie plate et de l'action de l'homme, les paysages de plaine sont contrastés depuis les divers bocages et leurs prairies en herbe jusqu'à l'openfield très cultivé. Cet openfield conserve toutefois, portées sur les cartes IGN et observées sur le terrain, des « îles » de forêts feuillues et compactes, de rayon supérieur à 600 m pour ne pas être assimilées à des haies et pour ne pas souffrir d'un effet de lisière (Dajoz, 1996). A première vue, *Crocidura leucodon* se tient dans les paysages en contact avec l'openfield. Par conséquent, le but de ce travail est de déterminer quelle est la composition des paysages responsable de sa distribution.

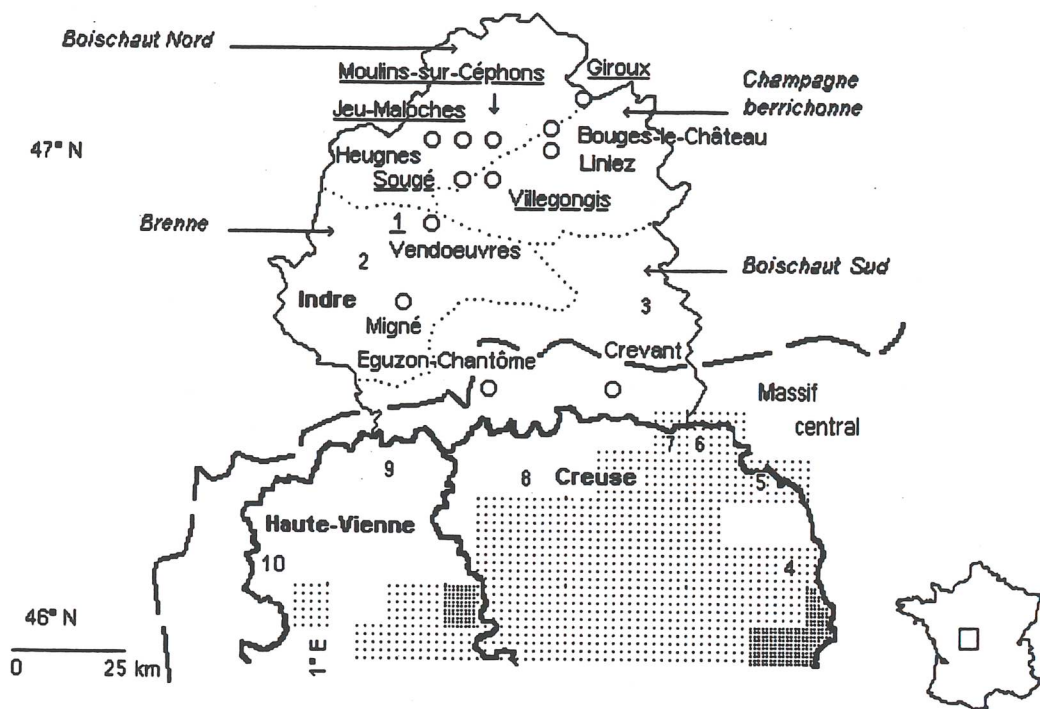


Figure 1 – Localisation des sites de l'étude numérique (cercles clairs), des autres sites (numérotés) et des sites de présence de *Crocidura leucodon* (soulignés), vers le centre-ouest de la France.

Gros tirets : limite du Massif central granitique.

Distribution des altitudes : < 400 m, plaine (blanc), ≥ 400 m, colline (trame large), ≥ 650 m, montagne (trame serrée).

Trait fin continu : le département de l'Indre, en région Centre. Trait fort continu : les départements de la Haute-Vienne et de la Creuse, en région Limousin. Les pointillés délimitent les quatre terroirs du département de l'Indre :

- la Champagne berrichonne, plateau perméable et dénudé sur calcaires jurassiques (Dupuis, 1967), openfield céréalier,
- le Boischaud Nord, bocage mixte avec des forêts sur placages de limons à teneur en calcaire faible (Alcaydé, 1980),
- le parc naturel régional de la Brenne, bocage humide avec des landes arbustives et thermophiles à *Erica scoparia*,
- le Boischaud Sud, sédimentaire et granitique, bocage typique avec un réseau de haies, ou bocage simplifié.

Autres sites :

- |                          |                          |                   |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 Sainte-Gemme           | 4 Fontanières            | 7 Nouzerines      |
| 2 Saint-Michel-en-Brenne | 5 Nouhant                | 8 Villard         |
| 3 Thévet-Saint-Julien    | 6 Bussière-Saint-Georges | 9 Jouac 10 Nouic. |

## MATERIEL ET METHODES

Quatre variables paysagères décrivent les sites (Tab. I). Elles sont établies d'après les cartes IGN au 1/50 000<sup>e</sup>, dans un cercle de 1 km de rayon centré sur le site. La première évalue le taux des zones boisées : forêt, bois, bosquets et haies, un taux élevé traduisant la présence d'une forêt. La seconde est la taille moyenne des parcelles agricoles, égale à l'ouverture globale du paysage divisée par le nombre de parcelles, une parcelle étant une terre délimitée par une zone boisée, un cours d'eau ou des bâtiments. La troisième ou rive est la longueur des ruisseaux, des rivières et des étangs. La quatrième compte le nombre de bâtiments : habitations, fermes et hangars.

Les restes des micromammifères ont été identifiés par l'analyse des pelotes de réjection de *Tyto alba*, recueillies entre 1996 et 2000. La prospection de 12 sites dans l'Indre a fourni 5300 pelotes et 16323 proies appartenant à 21 espèces de micromammifères et à d'autres taxons : Oiseaux, Chiroptères et Amphibiens (Tab. I). Cinq sites sur douze ont fourni dix-neuf *Crocidura leucodon* seulement. Les sites sont représentatifs des quatre terroirs de l'Indre (Fig. 1). Dix autres relevés ont été réalisés (Ann. II). Les ouvrages de détermination des espèces et d'étude du climat sont cités dans une étude antérieure (Indelicato, 2000).

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) a permis de découvrir comment s'ordonne la distribution des micromammifères de l'Indre, dont *Crocidura leucodon*. Elle s'appuie sur la partie du tableau I qui regroupe, à partir d'*Apodemus sylvaticus* et jusqu'à *Micromys minutus*, 16 micromammifères communs sur 12 sites. Les espèces rares et les autres taxons sont exclus. Les variables paysagères sont sous la forme de points supplémentaires sur le graphique généré par l'AFC. Les contributions à la construction des axes, la représentation des espèces et des variables paysagères par les axes sont fournies par l'AFC (valeurs en pourcentages). La classification ascendante hiérarchique (CAH : critère de Ward) est élaborée sur les coordonnées factorielles des espèces et des sites. Le coefficient de corrélation de Spearman ( $r_s$ ) mesure les relations espèces - variables paysagères. Les calculs sont effectués avec StatBox Pro 5.0 (Grimmer logiciels, 2000).

## RESULTATS

### *Organisation générale du peuplement en petits mammifères de l'Indre*

L'axe 1 de l'AFC explique 55 % de la variance des données (Fig. 2). Il sépare les espèces selon l'humidité et la fermeture du milieu, les bocages étant opposés à l'openfield homogène de la Champagne berrichonne sans arbres. En effet, les rives et les zones boisées sont en relation inverse avec la taille des parcelles agricoles (Tab. II). L'axe est construit par les contributions de Vendœuvres (40 %) et de Crevant du côté positif, par celles de Bouges-le-Château (24 %) et de Liniez du côté négatif. Nous constatons que les rives, les zones boisées et la taille des parcelles agricoles sont contrastées entre Vendœuvres et Bouges-le-Château (Tab. I). Il est construit encore par les contributions de *Microtus agrestis*, suivi de *Sorex coronatus*, *Apodemus sylvaticus* et *Clethrionomys glareolus*, tous opposés à *M. arvalis*. Les deux premiers sont hygrophiles voire prairiaux, les deux autres sont attirés par les zones boisées, à l'inverse de *M. arvalis* (Tab. III).

L'axe 2 de l'AFC explique 18 % de la variance des données. Il sépare les espèces selon la qualité des zones boisées : forestières ou bocagères, la forêt isolée dans la plaine cultivée de la Champagne berrichonne « fermée » étant opposée au bocage et aux landes denses de la Brenne. Les zones boisées et l'openfield sont cette fois conjugués, et éventuellement en relation inverse avec le nombre de bâtiments (Tab. II). L'axe est construit par les contributions de Villegongis (32 %) du



côté positif et de Migné (31 %) du côté négatif. Une partie de la petite forêt de Villegongis couvre 30 % du site et une vaste parcelle agricole le restant (Tab. I). Les zones boisées de Migné couvrent 12 % du site et les parcelles agricoles 15 % chacune. *Clethrionomys glareolus*, puis *Apodemus sylvaticus* et *Crocidura leucodon* construisent l'axe du côté positif, ils ont besoin de la forêt plutôt que des haies boisées et des landes arbustives, à l'inverse de *C. russula* bocagère. Vers le centre des axes, le bocage mixte de Sougé et de Moulins-sur-Céphons a des rives boisées et des prairies en herbe (axe 1), une part d'openfield et une forêt (axe 2).

L'axe 2 oppose très peu les sites selon le nombre de bâtiments (Tab. II, 8 %). Or ils attirent *C. russula* et éloignent *C. leucodon* (Tab. III et IV). La perturbation est due à *C. russula*, espèce à la fois anthropophile et sauvage. Sa population explose dans l'openfield quand le nombre de bâtiments passe de trois ou cinq à quatre-vingts entre Bouges-le-Château ou Villegongis et Liniez (taux de 25 %, d'après Tab. I). Elle explose aussi en Brenne : à Migné (24 %, Tab. I), qui compte à peine vingt-huit bâtiments ; à Saint-Michel-en-Brenne (35 %, Ann. II), qui compte une seule ferme. A l'instar des garrigues denses du Midi de la France (Poitevin *et al.*, 1987), le bocage de la Brenne avec des landes arbustives et thermophiles à *Erica scoparia*, même désert, est accueillant pour *C. russula*.

Plan principal de l'AFC	Taille des parcelles agricoles	Zones boisées	Rives	Bâtiments
Axe 1	30 (-)	39	58	1
Axe 2	30	45	6 (-)	8 (-)

TABLEAU II – Représentation des variables paysagères par les axes de l'AFC.

Valeurs exprimées en pourcentages. Coordonnées négatives indiquées par le signe (-).

Micromammifères	Taille des parcelles agricoles	Zones boisées	Rives	Bâtiments
<i>Apodemus sylvaticus</i>	- 0,34	<b>0,80</b>	0,22	- 0,14
<i>Clethrionomys glareolus</i>	- 0,51	<b>0,76</b>	0,18	- 0,14
<i>Microtus agrestis</i>	- <b>0,89</b>	0,34	<b>0,86</b>	0,25
<i>M. arvalis</i>	<b>0,89</b>	- <b>0,61</b>	- 0,53	- 0,05
<i>Crocidura russula</i>	0,05	- 0,34	0,27	<b>0,59</b>
<i>Sorex coronatus</i>	- <b>0,97</b>	0,49	<b>0,69</b>	0,00
<i>S. minutus</i>	- <b>0,77</b>	<b>0,70</b>	0,29	- 0,23

TABLEAU III – Corrélations espèces – variables paysagères sur les douze sites ( $r_s$  de Spearman).

Valeurs significatives en gras :  $r_s$  0,58,  $P < 0,05$  ;  $r_s$  0,71,  $P < 0,01$  ;  $r_s$  0,82,  $P < 0,001$  ;  $r_s$  0,88,  $P < 0,0001$ . Les espèces sans corrélation ne sont pas reportées.

Micromammifère	Taille des parcelles agricoles	Zones boisées	Rives	Bâtiments
<i>Crocidura leucodon</i>	0,10	0,70	- 0,40	- <b>0,90</b>

TABLEAU IV – Corrélations *Crocidura leucodon* – variables paysagères sur les cinq sites qui l'abritent ( $r_s$  de Spearman).

Valeur significative en gras :  $r_s$  0,90,  $P < 0,04$ .

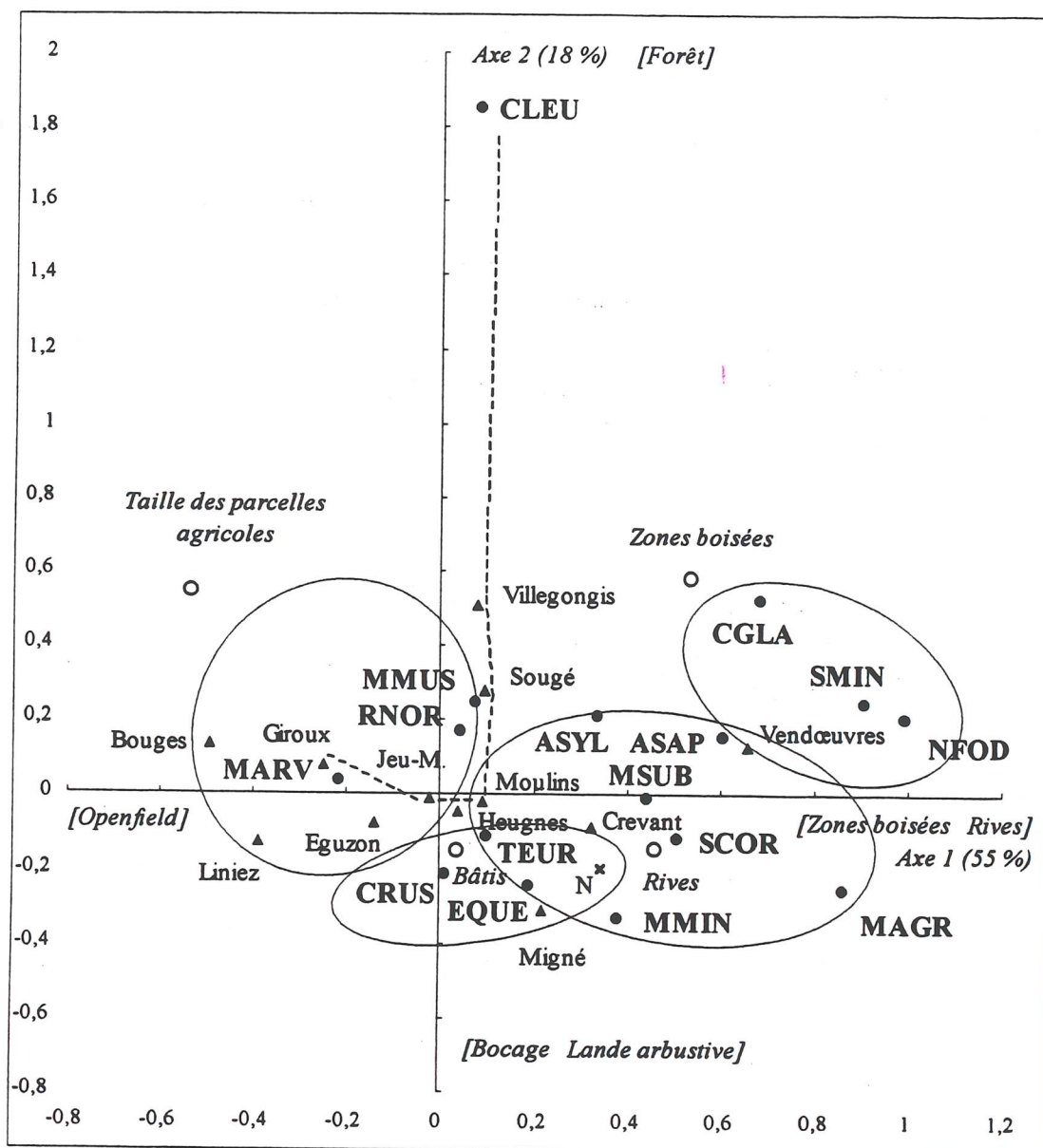


Figure 2 – Graphique de dispersion des points-micromammifères et des points-sites de l'Indre dans le plan principal de l'AFC, et représentation des groupements déterminés par la CAH.

Eléments supplémentaires : ronds clairs, les quatre variables paysagères ; N, Nouzerines, un site du Limousin (Fig. 1 ; Ann. II). Les groupements des espèces et des sites (CAH) sont visualisés par des ellipses, tandis que *Crocidura leucodon* est reliée par des tirets aux sites qui l'abritent. La suppression de *C. leucodon* ne changerait pas la construction des axes de l'AFC, ni la dispersion des espèces restantes.

Abréviations et noms des seize micromammifères communs :

ASAP	<i>Arvicola sapidus</i> , Campagnol amphibie	MMIN	<i>Micromys minutus</i> , Rat des moissons
ASYL	<i>Apodemus sylvaticus</i> , Mulot sylvestre	MMUS	<i>Mus musculus</i> , Souris grise
CGLA	<i>Clethrionomys glareolus</i> , Campagnol roussâtre	MSUB	<i>Microtus subterraneus</i> , Campagnol souterrain
CLEU	<i>Crocidura leucodon</i> , Musaraigne bicoloré	NFOD	<i>Neomys fodiens</i> , Musaraigne aquatique
CRUS	<i>Crocidura russula</i> , Musaraigne musette	RNOR	<i>Rattus norvegicus</i> , Rat surmulot
EQUE	<i>Eliomys quercinus</i> , Lérot	SCOR	<i>Sorex coronatus</i> , Musaraigne couronnée
MAGR	<i>Microtus agrestis</i> , Campagnol agreste	SMIN	<i>Sorex minutus</i> , Musaraigne pygmée
MARV	<i>Microtus arvalis</i> , Campagnol des champs	TEUR	<i>Talpa europaea</i> , Taupe d'Europe.

Micromammifères	Rives (Zones boisées présentes)	Forêt (Openfield présent)	Cumul des représentations (≥ 50 % souligné)
<i>Crocidura leucodon</i>	0	47	<u>47 %</u>
<i>Clethrionomys glareolus</i>	59	35	<u>94 %</u>
<i>Mus musculus</i>	2	25	27 %
<i>Sorex minutus</i>	73	5	<u>78 %</u>
<i>Apodemus sylvaticus</i>	62	24	<u>86 %</u>
<i>Neomys fodiens</i>	62	3	<u>65 %</u>
<i>Rattus norvegicus</i>	0	7	7 %
<i>Arvicola sapidus</i>	30	2	32 %
<i>Microtus arvalis</i>	92 (-)	3	<u>95 %</u>
<i>M. subterraneus</i>	9	0	9 %
<i>Talpa europaea</i>	3	3 (-)	6 %
<i>Sorex coronatus</i>	74	4 (-)	<u>78 %</u>
<i>Crocidura russula</i>	0	62 (-)	<u>62 %</u>
<i>Eliomys quercinus</i>	6	9 (-)	15 %
<i>Microtus agrestis</i>	75	6 (-)	<u>81 %</u>
<i>Micromys minutus</i>	19	14 (-)	33 %

TABLEAU V – Représentation des espèces par les axes ou facteurs définis grâce à l’AFC.

Valeurs exprimées en pourcentages. Espèces classées suivant leurs coordonnées sur l’axe 2, du plus vers le moins.

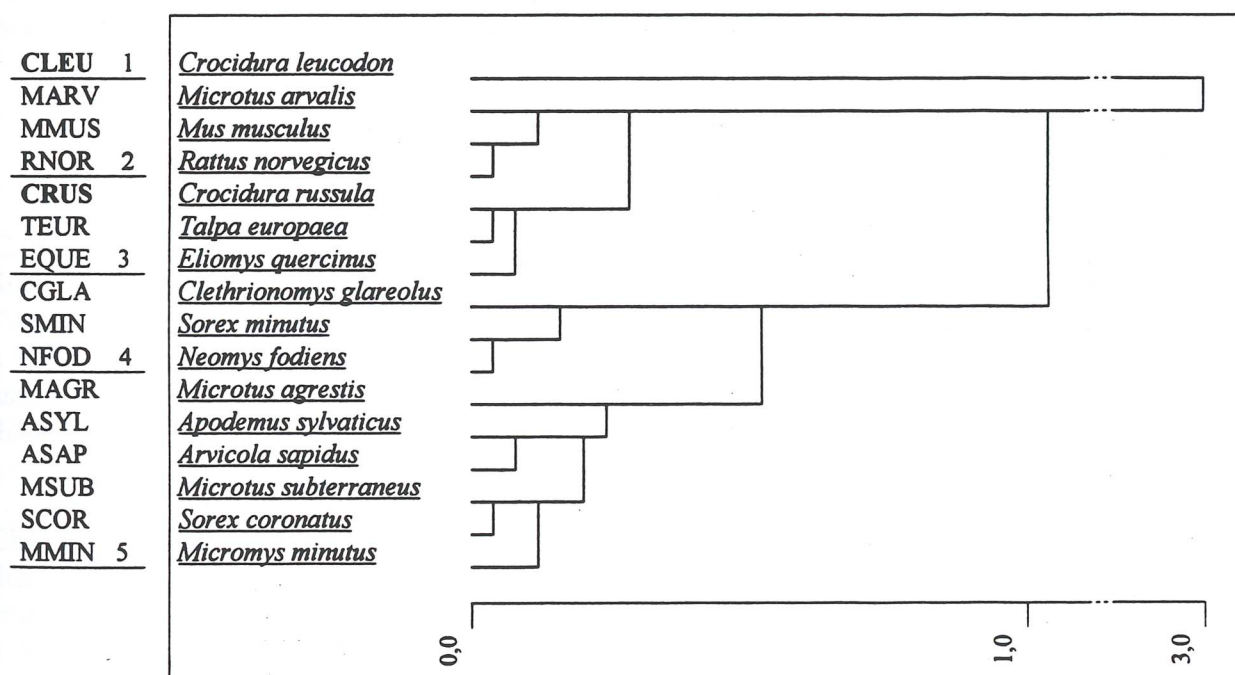


Figure 3 – Dendrogramme (CAH) montrant les groupements par affinités écologiques des espèces.

Les micromammifères de l’Indre sont distribués selon les deux facteurs de l’AFC qui expliquent 73 % de la variance des données. Leur influence exprime à près de 50 % ou plus les besoins écologiques de neuf espèces, dont *C. leucodon* (Tab. V). L’opposition entre les *Crocidura*, espèces congénériques et de taille similaire, reflète la séparation des niches écologiques : leurs besoins sont différents ou elles sont en compétition pour le partage des ressources. La discussion aborde le sujet. La présence des rives ne détermine pas leur distribution (Tab. II à V).

## Groupements des espèces (des sites) par classification ascendante hiérarchique (CAH)

*Crocidura leucodon* (Sougé, Villegongis) est isolée dans le groupe 1 (Fig. 3 et 2) : elle est unique par son opposition à l'environnement humain ; elle seule, pas même *Microtus arvalis*, a besoin d'une part d'openfield pour exister ; elle n'est pas forestière stricte mais elle a besoin de la forêt (Tab. IV ; axe 2). Le groupe 2 de *M. arvalis* (terres cultivées de Giroux, Liniez, Bouges, Eguzon) est placé à gauche du plan de l'AFC. Le groupe 3 de *C. russula* et des espèces bocagères (landes de Migné, bocage typique de Crevant) est tiré vers le bas. A droite, le groupe 4 de *Sorex minutus* a des effectifs petits, la grande forêt humide le protège de l'extinction (Vendœuvres). Il est associé au groupe 5 hygrophile, bocager et forestier (Boischaud Nord ; Tab. I, tous les bocages).

### Analyse de la biodiversité

A Bouges-le-Château (Tab. I), les indices sont bas : richesse spécifique faible (9), chute de la diversité spécifique (0,9) et de l'indice d'égalité de répartition (0,3), car l'openfield homogène est inhospitalier et les effectifs sont concentrés sur *Microtus arvalis*. Par rapport à Crevant et à Eguzon-Chantôme qui ont la plus forte richesse spécifique (18 et 17), Vendœuvres ne comporte que 14 espèces, car la forêt de plaine n'est plus en continuité avec le Limousin, mais le peuplement est assez diversifié (2,7) et équilibré (0,7). *Crocidura leucodon* n'est pas totalement dominée, car elle occupe des sites dont les indices de biodiversité sont au-dessus de la moyenne (Tab. I). Son aire devrait être plus large au regard des espèces côtoyées, tel *Clethrionomys glareolus* (axe 2).

## DISCUSSION SUR L'OPPOSITION DES DEUX *CROCIDURA*

La famille des Crocidurinae aurait une origine tropicale (Vogel, 1976 ; Vogel *et al.*, 1981). *C. russula* s'étend du Maghreb et de la péninsule ibérique jusqu'à l'ouest de l'Allemagne et de la Suisse, c'est une espèce ouest-méditerranéenne (Poitevin *et al.*, 1986). *C. leucodon* s'étend de l'Asie centrale (Zholnerovskaya, 1998) aux péninsules balkanique et italique et à l'Europe du nord, à l'exception du grand Sud-Ouest de l'Europe, c'est une espèce continentale-méditerranéenne ou asiatique. Les deux *Crocidura* sont méridionales, thermophiles et d'origine biogéographique différente. Leurs aires de diffusion nordique se recouvrent au nord-ouest de l'Europe.

Dans l'Indre, l'aire de *C. leucodon* traverse le Boischaud Nord, effleure l'entrée de la Champagne berrichonne et de la Brenne, puis s'interrompt vers le sud. L'aire couvre des paysages discontinus, où le degré de connectivité et l'effet de lisière sont faibles (Southwood, 1977, Merriam *et al.*, 1991, *in* Dajoz, 1996 ; Paillat et Butet, 1994). En effet, la forêt est tranchée sur les terres rases à Villegongis, les unités d'habitat sont disjointes ou pas assez interconnectées par des « haies corridors » dans le Boischaud Nord, il ne reste qu'un minimum de couverture permanente à Giroux. Cette distribution et l'opposition à l'omniprésente *C. russula* font penser que *C. leucodon* est repoussée par la compétition de *C. russula*, hors bocage typique et hors bâtiments, vers l'openfield inhospitalier et que la forêt est son refuge. L'hypothèse devient vraisemblable si l'on compare les données de l'Indre avec celles provenant de régions témoins, où chaque *Crocidura* est seule, l'ensemble des données constituant alors des expériences naturelles (Diamond, 1986, *in* Barbault, 1995).

Les petits mammifères du sud des péninsules ibérique et italique, en Andalousie et en Calabre, ont été étudiés par piégeage dans des biotopes homologues (Cagnin *et al.*, 1998). *C. russula* vit en Espagne, c'est une espèce dominante, assez envahissante, car son abondance est de

44 %. *C. leucodon* vit en Italie, son abondance est de 11 %. Les biotopes communs aux deux *Crocidura* sont les rives arbustives des ruisseaux intermittents et des ruisseaux permanents, les broussailles, les bois dégradés, les bois matures à sous-bois arbustif. Les contrées méditerranéennes témoignent que les niches écologiques sont ressemblantes et que les *Crocidura* sont potentiellement concurrentes. Dans l'Indre, *C. leucodon* abandonne à *C. russula* les formations arbustives ou boisées à fort effet de lisière, sa niche est resserrée par la présence de l'autre.

Le piégeage le long des rives arbustives et boisées du sud de l'Italie (Cagnin *et al.*, 1996) et les pelotes de réjection des *Tyto alba* romaines (Contoli *et al.*, 1983) ont donné respectivement 6 % et 10 % de *C. leucodon*. En résumé, cette dernière n'est jamais une espèce dominante, alors que *C. russula* peut l'être, comme dans l'Indre située au voisinage du Sud-Ouest thermo-atlantique de la France.

La Pologne témoigne que *C. leucodon* est une espèce anthropophile. Elle est rare dans les villages, elle préfère les petites villes et leur banlieue (1,5 % des captures de *Tyto alba*) : jardins, zones maraîchères, granges, haies vives (Buchalczyk, 1958). Elle se rapproche des fermes et des appartements en hiver (Walecki, 1866, *in* Buchalczyk, 1958). Il en est de même en Allemagne (Frank, 1984). La ressemblance est frappante avec *C. russula* en Suisse (Genoud et Hausser, 1979) et en France (Yalden *et al.*, 1973 ; Indelicato, 2000). Dans l'Indre, quand elles vont ensemble, *C. leucodon* abandonne à *C. russula* les bâtiments refuges, sa niche est resserrée par la présence de l'autre.

Au Cap Gris-Nez à la frontière nord de la France, dans la zone de recouvrement des aires, le piégeage montre bien que *C. leucodon* survit seulement en pleine nature, tandis que *C. russula* occupe aussi l'environnement humain (Yalden *et al.*, 1973). Par ailleurs, on observe que l'expansion de *C. russula* en limite orientale de son aire coïncide avec la disparition d'espèces affines seules présentes auparavant, de *C. leucodon* à l'ouest de la Suisse (Meylan, 1967) et au nord de l'Allemagne (Frank, 1984), de *C. suaveolens* au sud de l'Allemagne (Kraft, 2000). Mais la compétition de *Crocidura russula* est avérée dans un seul cas, et c'est la musaraigne *C. suaveolens* qui la subit (Poitevin *et al.*, 1987).

Dans le bocage du sud de l'Indre ou dans le semi-bocage boisé du Limousin, les paysages ont une structure en mosaïque, les unités d'habitat sont en réseau. Les populations de *C. russula* sont assez abondantes et surtout interconnectées. Elles doivent exercer un effet barrière vis-à-vis de *C. leucodon*. Quand la vigueur de *C. russula* est atténuée, la composition des paysages aidant, comme à Villegongis ou à Sougé où l'on compte 8 ou 40 *C. russula* pour 1 *C. leucodon*, la coexistence est assurée (Tab. I). Il peut s'agir d'une compétition indirecte, par exploitation, une espèce occupe tout l'espace et l'autre disparaît (*in* Dajoz, 1996). De fait, dans le Bassin méditerranéen, chaque *Crocidura* ne forme pas de populations isolées, comme déracinées, dans l'aire de l'autre.

## CONCLUSION

Diverses régions ont révélé les similitudes écologiques de *Crocidura leucodon* et de *C. russula*. C'est le contraire dans l'Indre où la niche écologique de *C. leucodon* est resserrée. On en déduit que *C. leucodon* subit la compétition de *C. russula*. Son aire potentielle de distribution se rétrécit vers le sud, le climat atlantique assez doux et les paysages n'interviennent pas de façon directe. L'article montre un exemple de limite de répartition de *C. leucodon* et il propose une explication : la compétition interspécifique de *C. russula* et le refuge dans des biotopes forestiers.

**REMERCIEMENTS** – P. Brunet-Lecomte de l'Université de Bourgogne a vérifié des déterminations de *Microtus pyrenaicus*. G. Geneste et deux lecteurs anonymes ont apporté leurs conseils.

## REFERENCES

- ALCAYDE, G. (1980) – Carte géologique de la France au 1/50 000<sup>e</sup> Levroux. BRGM, Orléans.
- BARBAULT, R. (1995) – Ecologie des peuplements. Structure et dynamique de la biodiversité. 2<sup>e</sup> édition. Masson, Paris, 273 p.
- BUCHALCZYK, T. (1958) – Die Feldspitzmaus – *Crocidura leucodon* (Hermann) in den nordöstlichen Gebieten Polens. *Acta Theriol.*, **2**, 55-73.
- CAGNIN, M., ALOISE, G., GAROFALO, G., MILAZZO, C. & CRISTALDI, M. (1996) – Les communautés de petits mammifères terrestres de trois "fiumare" de la Calabre (Italie du Sud). *Vie et Milieu*, **46**, 319-326.
- CAGNIN, M., MORENO, S., ALOISE, G., GAROFALO, G., VILLAFUERTE, R., GAONA, P., & CRISTALDI, M. (1998) – Comparative study of Spanish and Italian terrestrial small mammal coenoses from different biotopes in Mediterranean peninsular tip regions. *J. Biogeogr.*, **25**, 1105-1113.
- CONTOLI, L., AGOSTINI, F., ALOISE, G. & TESTA, A. (1983) – Sul rapporto trofico tra i micromammiferi terragnoli ed il Barbagianni (*Tyto alba*) nei Monti della Tolfa (Lazio). *Acc. Naz. Lincei*, **256**, 183-228.
- DAJOZ, R. (1996) – Précis d'écologie. 6<sup>e</sup> édition. Dunod, Paris, 551 p.
- DUPUIS, J. (1967) – Carte pédologique de la France au millionième. INRA, Paris, 56 p.
- FRANK, F. (1984) – Zur Arealverschiebung zwischen *Crocidura russula* und *C. leucodon* in NW-Deutschland und zur wechselseitigen Verhältnis beider Arten. *Z. Säugetierk.*, **49**, 65-70.
- 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.
- INDELICATO, N. (2000) – Aspects biogéographiques de la distribution des micromammifères dans le Limousin (France). *Ann. Sci. Limousin*, **11**, 61-80.
- KRAFT, R. (2000) – Ehemalige und aktuelle Verbreitung von Hausspitzmaus, *Crocidura russula* (Hermann, 1780), und Gartenspitzmaus, *Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811), in Bayern. *Bonn. Zool. Beitr.*, **49**, 115-129.
- MEYLAN, A. (1967) – Les petits mammifères terrestres du Valais central (Suisse). *Mammalia*, **31**, 225-245.
- PAILLAT, G. & BUTET, A. (1994) – Fragmentation et connectivité dans les paysages : importance des habitats corridors pour les petits mammifères. *Arvicola*, **6** (2) : 5-12.
- 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.
- RAMEAU, J.C., MANSION, D. & DUME, G. (1989) – Flore forestière française, 1 Plaines et collines. Institut pour le développement forestier, Paris, 1785 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.
- VILKS, A. (1991) – Analyse chorologique de la flore vasculaire du Limousin. Thèse Doct., Fac. Sci., Limoges, 1 : 241 p. ; 2 : 374 p.
- VOGEL, P. (1976) – Energy consumption of European and African shrews. *Acta Theriol.*, **21**, 195-206.
- VOGEL, P., GENOUD, M. & FREY, H. (1981) – Rythme journalier d'activité chez quelques Crocidurinae africains et européens (Soricidae, Insectivora). *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, **35**, 97-107.
- YALDEN, D. W., MORRIS, P.A. & HARPER, J. (1973) – Studies on the comparative ecology of some French small mammals. *Mammalia*, **37**, 257-276.
- ZHOLNEROVSKAYA, E. (1998) – <http://www.bionet.nsc.ru/szmn/Vertebr/Mammalia.htm>.

Code INSEE	Communes des sites	Année de récolte des pelotes	Code INSEE	Communes des sites	Année de récolte des pelotes
<i>Sites actifs de l'AFC :</i>			<i>Site supplémentaire de l'AFC :</i>		
36 023 -	Bouges-le-Château	1999	23 146 -	Nouzerines	1996
36 060 -	Crevant	1999			
36 070 -	Eguzon-Chantôme	1998-99	<i>Autres sites :</i>		
36 083 -	Giroux	1999	36 204 -	Saint-Michel-en-Brenne	1999
36 086 -	Heugnes	2000	36 193 -	Sainte-Gemme	1998
36 090 -	Jeu-Maloches	2000	36 221 -	Thévet-Saint-Julien	1999
36 097 -	Liniez	1998	23 038 -	Bussière-Saint-Georges	1998
36 124 -	Migné	1998	23 083 -	Fontanières	1997
36 135 -	Moulins-sur- Céphons	1996	23 145 -	Nouhant	1996
36 218 -	Sougé	2000	23 263 -	Villard	1997-98
36 232 -	Vendœuvres	1999	87 080 -	Jouac	1995
36 242 -	Villegongis	1996	87 108 -	Nouic	1996-97

ANNEXE I – Liste des sites de l'étude.

Types de sols	Département Indre			Région Limousin						
	Rendzine Sol podzologique	Argile sableuse Sol podzologique	Argile calcaire	Arène granitique	Arène granitique	Arène granitique	Arène granitique	Arène granitique	Arène granitique	Arène granitique
Communes des sites	Sainte-Gemme	Saint-Michel-en-Brenne	Thévet-Saint-Julien	Fontanières	Nouhant	Bussière-Saint-Georges	Nouzerines	Villard	Jouac	Nouic
<b>Micromammifères communs :</b>										
<i>Apodemus sylvaticus</i>	20	111	101	194	104	270	115	268	212	436
<i>Clethrionomys glareolus</i>	30	17	35	33	26	52	25	27	30	50
<i>Microtus agrestis</i>	13	76	20	97	89	99	86	118	90	120
<i>M. arvalis</i>	330	199	738	603	1273	572	489	1227	571	1048
<i>M. subterraneus</i>	0	0	0	6	2	29	8	12	0	0
<i>Arvicola sapidus</i>	0	4	2	1	1	0	1	1	2	1
<i>Mus musculus</i>	7	1	1	0	2	8	1	6	5	14
<i>Rattus norvegicus</i>	1	1	1	2	1	3	2	2	2	0
<i>Crocidura leucodon</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>C. russula</i>	91	364	263	151	237	247	280	305	206	310
<i>Sorex coronatus</i>	18	118	58	142	114	122	125	117	49	52
<i>S. minutus</i>	1	9	2	13	16	19	17	10	5	8
<i>Neomys fodiens</i>	0	1	0	3	2	1	8	5	1	0
<i>Talpa europaea</i>	0	1	0	8	1	2	4	2	7	0
<i>Eliomys quercinus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Micromys minutus</i>	9	111	27	2	4	21	19	9	5	2
<b>Micromammifères rares :</b>										
<i>Apodemus flavicollis</i>	0	0	0	7	3	11	5	9	0	0
<i>Microtus pyrenaicus</i>	0	0	0	5	1	13	11	5	9	22
<i>Rattus rattus</i>	0	1	1	0	0	0	2	1	1	0
<i>Neomys anomalus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Muscardinus avellanarius</i>	0	0	0	0	0	1	1	2	2	0
<i>Arvicola terrestris</i>	0	0	0	21	40	0	0	0	0	0
<i>Myoxus glis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<b>Autres taxons :</b>										
Chiroptères	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2
Oiseaux	0	2	5	1	2	6	7	1	4	2
Amphibiens	2	23	3	8	1	5	36	16	2	6
<b>Total</b>	<b>524</b>	<b>1040</b>	<b>1257</b>	<b>1297</b>	<b>1920</b>	<b>1481</b>	<b>1243</b>	<b>2143</b>	<b>1213</b>	<b>2073</b>
Altitude	125	95	199	510	440	478	418	340	200	231
Pluviométrie annuelle (mm)	770	700	730	900	850	850	850	890	860	927

ANNEXE II – Inventaire des proies de *Tyto alba*, retrouvées dans les pelotes de réjection récoltées sur 10 autres sites de l'Indre et du Limousin, attestant l'extinction de *C. leucodon* vers le sud.

Les données sont celles de l'auteur. Noms des micromammifères rares :

*Apodemus flavicollis*, Mulot à collier jaune

*Neomys anomalus*, Musaraigne de Miller

*Microtus pyrenaicus*, Campagnol des Pyrénées

*Rattus rattus*, Rat noir.

*Muscardinus avellanarius*, Muscardin

Noms des micromammifères absents des sites de l'Indre :

*Arvicola terrestris*, Campagnol terrestre

*Myoxus glis*, Loir gris.



## Essai de valorisation d'un co-produit de la filière bois : Etude des capacités de fixation de métaux lourds par les écorces

MARTIN-DUPONT F.<sup>1</sup>, GLOAGUEN V.<sup>1</sup>, GRANET R.<sup>1</sup>, GUILLOTON M.<sup>1</sup>, MORVAN H.<sup>2</sup>,  
KRAUSZ P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Université de Limoges, Faculté des Sciences, 123 Avenue Albert Thomas, 87060 LIMOGES Cedex, France.

<sup>2</sup> Laboratoire de Biochimie Moléculaire et Cellulaire, Université d'Artois, Faculté des Sciences J. Perrin, rue J. Souvraz, 62307 LENS, France.

### RESUME

Cette étude s'inscrit dans un programme de recherche dont l'objectif est de décrire une voie de valorisation nouvelle des produits connexes de la filière bois : les écorces. Nos travaux mettent en évidence que les écorces issues de conifères (Douglas majoritairement), lorsqu'elles sont placées au contact de solutions contaminées par des cations métalliques ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ), sont capables de fixer ces derniers. L'étude des équilibres d'adsorption mis en jeu au cours de ce contact a été réalisée. Dans les conditions expérimentales employées, la capacité maximale d'adsorption des écorces suit l'ordre décroissant :  $\text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$  alors que l'affinité des cations métalliques pour les écorces diminue dans l'ordre :  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$ . La modélisation de l'adsorption des cations métalliques à la surface des écorces par le modèle mathématique de Langmuir s'accorde avec nos données expérimentales et nous renseigne sur son efficacité. L'utilisation de modèles mathématiques pourrait servir à terme comme outil de sélection puisqu'ils permettent de prédire le comportement des biosorbants dans un système d'adsorption donné.

**Mots clés :** écorces, métaux lourds, Langmuir, biosorption, mécanismes.

**VALORIZATION OF FORESTRY BYPRODUCTS: STUDY OF THE ADSORPTION OF HEAVY METAL  
BY NATURAL BARKS**

**ABSTRACT**

This study is part of a research program aimed at describing a new valorization way of forestry byproducts: barks. Our observations show that coniferous barks (mainly Douglas fir species) when placed in aqueous solution containing metal ions ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$ ), can bind these cations thanks to ion exchange processes that can be described as adsorption equilibria. In our experimental conditions, the maximum binding capacity of barks followed the decreasing order:  $\text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ , whereas their general binding affinity decreased as:  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$ . The modelling of the metal ion adsorption onto barks by the non-competitive Langmuir adsorption model fits well the experimental data and gives informations about its efficiency. Such mathematical models could be used as a selection tool since they allow to predict the behaviour of the biosorbents in a defined metal ion adsorption system.

**Key Words:** coniferous barks, heavy metals, Langmuir, biosorption, mechanisms.

**-I- INTRODUCTION**

Le développement des industries du bois a entraîné une augmentation significative de la production de sous-produits (encore appelés produits connexes) provenant de la transformation du bois. «L'éco-matériau bois» génère lui aussi des déchets. Ces derniers sont diversement valorisés, voire même pas du tout valorisés. Les branches et les souches sont abandonnées en forêt. Les chutes de sciage, de tranchage et de déroulage, ainsi que les sciures et les écorces produites en scierie, pourront être valorisées thermiquement sur leur lieu de production (séchage du bois, chauffage) ou être utilisées dans des installations industrielles (papeteries, fabriques de panneaux de particules). La pratique de l'écorçage, qui n'est plus effectuée en forêt mais dans les scieries ou dans les usines de pâte à papier, est par ailleurs responsable de l'apparition d'un stock important d'écorces souvent à proximité des sites industriels ce qui peut constituer un risque écologique majeur (pollution, risque d'incendie).

Face au nouveau contexte de la protection de l'environnement et de l'intensification des contraintes réglementaires, ces produits devront être traités de façon appropriée : récupération et valorisation sont plus que jamais d'actualité. Malheureusement, les voies actuelles de valorisation des écorces et des sciures apparaissent limitées tant par le faible volume des stocks utilisés pour ces valorisations que par la nature elle-même des solutions mises en œuvre essentiellement liées à l'exploitation de la valeur énergétique de ces dérivés du bois et à la production de matériaux bois (aggloméré et panneaux de particules). Néanmoins, différentes solutions existent et seront d'autant plus attrayantes qu'elles apporteront une plus-value à ces sous-produits. Ces voies sont parfois originales (composts, substrats de culture, isolants pour bâtiment, litières) et économiquement

attractives. Elles restent cependant très marginales et ne suffisent pas à «digérer» la totalité des stocks disponibles.

La matière lignocellulosique, présente dans les coproduits forestiers, sert actuellement de support au développement de nouvelles voies de valorisations notamment dans le secteur des biotechnologies. Ces coproduits sont par exemple utilisés dans des processus de biosorption (Waiss *et al.*, 1973 ; Aoyama *et al.*, 1991 ; Seki *et al.*, 1997). La biosorption est un phénomène qui repose sur les capacités de nombreux matériaux biologiques à fixer les ions en général, et en particulier les cations métalliques qui sont présents dans les eaux contaminées (Volesky, 1986). Les écorces présentent de telles caractéristiques (Seki *et al.*, 1997). Cette propriété est associée à leurs teneurs élevées en tannins et pectines, lesquels présentent respectivement des groupements phénoliques et carboxyliques capables de fixer les cations métalliques à la faveur des phénomènes d'échange d'ions (Waiss *et al.*, 1973 ; Randall *et al.*, 1974). La biosorption apparaît alors comme une technologie prometteuse pour le traitement ou le prétraitement des effluents industriels (Jansson-Charrier *et al.*, 1995).

Si la capacité des écorces à fixer les métaux lourds à partir de solutions aqueuses (Randall *et al.*, 1974 ; Kumar et Dara, 1980 ; Deshkar *et al.*, 1990 ; Aoyama *et al.*, 1993 ; Gloaguen et Morvan, 1997 ; Seki *et al.*, 1997) et l'effet de nombreux paramètres sur ce phénomène (Deshkar *et al.*, 1990) ont été largement décrits dans la littérature, la modélisation de cette interaction n'a été, quant à elle, que très peu étudiée (Martin-Dupont *et al.*, 2002). Cependant quelques données existent (Al-Asheh et Duvnjak, 1998). Elles indiquent que le processus d'adsorption peut être décrit par les isothermes de Langmuir. C'est ce que se propose d'illustrer cet article dont l'objectif est de présenter des données nouvelles obtenues à partir de l'interprétation des isothermes d'adsorption. Les mécanismes qui sont impliqués dans l'interaction cations métalliques-écorces sont discutés à cette occasion.

## **-II- MATERIEL ET METHODES**

### **II-1 Matériel biologique**

Les écorces de conifères, issues majoritairement de Douglas, ont été obtenues sur le site d'une scierie localisée à Meymac (Région Limousin). Un échantillon d'écorces de granulométrie industrielle (0-7 mm) a été prélevé, séché à 50 °C pendant 48 h et stocké pour des utilisations ultérieures.

### **II-2 Produits chimiques**

Les sels métalliques sont de qualités analytiques et utilisés sans purification préalable. Les solutions mères de sels métalliques :  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Sigma), ont été préparées après solubilisation dans l'eau déminéralisée à la concentration de  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ .

### **II-3 Méthodes**

#### *Effet du traitement chimique appliqué aux écorces*

Une série d'expériences a été réalisée pour apprécier les effets de différents prétraitements chimiques sur les capacités d'échange des écorces. Les écorces ont été utilisées séparément soit :

(i) brutes (Randall *et al.*, 1974), (ii) lavées avec de l'eau déminéralisée (Aoyama *et al.*, 1993), (iii) traitées avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 M (Teles De Vasconcelos et Gonzales Beca, 1997) ou (iv) avec un mélange  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 M/HCHO 39 % (Gloaguen et Morvan, 1997). Ce dernier traitement polymérise et insolubilise les composés pectiques et les tannins alors que le traitement acide (iii) contribue à régénérer les sites de fixation des cations métalliques présents à la surface des écorces. 50 g d'écorces sont introduits dans 500 mL de chacune des solutions de traitement avant d'être placés (excepté pour les écorces traitées à l'eau déminéralisée) sous agitation à 50 °C pendant 2 heures. Les écorces ainsi traitées sont ensuite abondamment lavées par l'eau déminéralisée jusqu'à ce que le pH du filtrat atteigne une valeur comprise entre 5 et 6. Finalement, les écorces ont été séchées à 50 °C pendant 24 h.

Cinq grammes de chacun des lots d'écorces sont placés dans 100 mL d'une solution métallique de concentration égale à  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ . La suspension est agitée à température ambiante, pendant 1 h pour assurer l'équilibre.

#### *Etude de la cinétique d'adsorption*

Cinq grammes d'écorces sont placés sous agitation et à température ambiante dans 100 mL d'une solution de plomb à  $4 \text{ méq.L}^{-1}$  durant un temps déterminé (15 min., 30 min., 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 8 h).

#### *Influence du pH initial des solutions sur l'adsorption des métaux*

Afin de mesurer l'influence du pH initial des solutions métalliques sur la capacité des écorces à les fixer, des solutions de  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  à  $4 \text{ méq.L}^{-1}$  sont ajustées aux valeurs de pH suivantes : 2, 3, 4, 5, 6, 7. L'échange est ensuite réalisé sous agitation en plaçant 5 g d'écorces dans 100 mL de chacune des solutions monosalines précédentes pendant 1 h à température ambiante.

#### *Etude de l'équilibre d'adsorption*

Les expériences d'adsorption sont menées en ajoutant 5 g d'écorces à 100 mL de solutions monosalines de  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  de concentrations comprises entre 0 et  $20 \text{ méq.L}^{-1}$ . Le pH initial de chacune de ces solutions est ajusté à 5. La suspension est placée 1 heure sous agitation et à température ambiante pour assurer l'équilibre.

A la fin de chacune des études réalisées en II-3, l'adsorbant est séparé de la solution par filtration sous vide au travers d'un verre fritté (porosité n°3).

#### **II-4 Dosage des métaux lourds en solution**

Les concentrations résiduelles en métaux lourds des filtrats sont estimées par dosage au spectrophotomètre d'absorption atomique (SpectrAA-600, Varian). La teneur en métaux lourds fixés par l'adsorbant est calculée par différence entre les concentrations initiales (avant le contact) et finales (après le contact) des solutions.

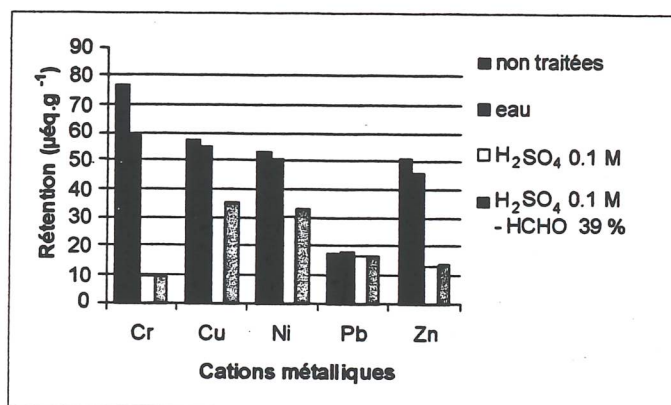
### III- RESULTATS ET DISCUSSION

#### *Influence des conditions expérimentales sur l'équilibre d'adsorption*

Les capacités de cations métalliques adsorbées par les écorces de conifères de granulométrie commerciale (< 7 mm) sont présentées sur la figure 1. Elles sont comprises entre 9,2 et 77  $\mu\text{eq.g}^{-1}$  (soit 0,16 à 1,34  $\text{mg.g}^{-1}$ ). Pour chaque cation et aux concentrations considérées, les capacités d'adsorption des écorces, brutes ou rincées à l'eau, sont supérieures à celles des écorces traitées à l'acide (traitement  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou réticulées par le formaldéhyde (traitement  $\text{HCHO}/\text{H}_2\text{SO}_4$ ). De plus, les capacités d'adsorption en cations métalliques des écorces brutes restent stables pendant plus de 6 mois, période au cours de laquelle 20 cycles adsorption-désorption ont été réalisés sans diminution notable des capacités (résultats non présentés). L'ensemble de ces observations justifie notre choix de poursuivre les expériences d'adsorption avec une préparation commerciale d'écorces de conifères brutes de granulométrie inférieure à 7 mm.

**Figure 1 :**

Influence des pré-traitements chimiques des écorces de conifères sur leurs capacités à adsorber le Cr, Cu, Ni, Pb, Zn.

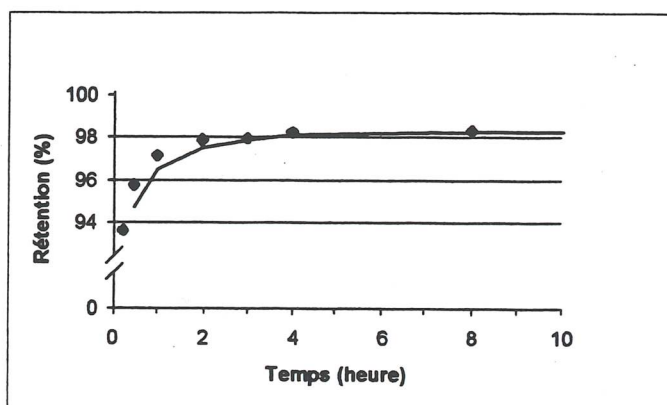


Dans une étude antérieure (Gloaguen et Morvan, 1997), nous avons établi les capacités d'adsorption en métaux lourds de différentes écorces de conifères provenant de *Larix*, *Picea*, *Pinus* et *Pseudotsuga*. Ces écorces de granulométrie commerciale définie (<200  $\mu\text{m}$ ) et traitées au préalable, présentent une affinité considérable pour des cations métalliques tels que le  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  et  $\text{Pb}^{2+}$ , puisque les capacités d'adsorption sont comprises entre 329,5 et 424,7  $\mu\text{eq.g}^{-1}$  (soit 9,2 à 44  $\text{mg.g}^{-1}$ ). Malheureusement, la nature des expériences réalisées à cette occasion ne permet pas de discuter des mécanismes mis en jeu au cours de l'équilibre d'adsorption.

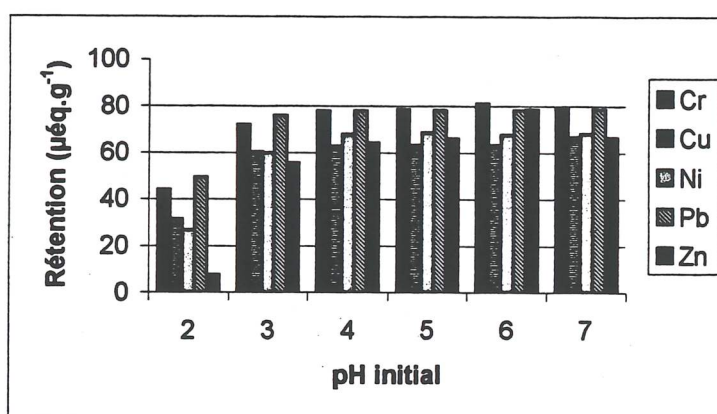
Même si les données expérimentales concernant l'adsorption des cations métalliques par des matrices biologiques sont nombreuses dans la littérature (Kumar et Dara, 1980 ; Seki *et al.*, 1997), la grande diversité des matrices utilisées et des conditions expérimentales employées limitent fortement toute possibilité de corrélation entre ces résultats. Néanmoins, les conditions physico-chimiques optimales de l'équilibre d'adsorption sont désormais très largement décrites pour un grand nombre de matrices échangeuses d'ions d'origine biologique et de métaux lourds ce qui permet de dresser quelques généralités. Il semble que l'adsorption des cations métalliques à la surface des écorces soit un phénomène rapide puisqu'elle intervient dans les premières minutes du

contact (Deshkar *et al.*, 1990 ; Aoyama *et al.*, 1993). La figure 2 illustre la cinétique d'adsorption du plomb lorsqu'il est placé au contact d'écorces. Une période de 15 minutes de contact apparaît comme suffisante pour atteindre 94 % de rétention de ce cation. C'est la raison pour laquelle un temps de contact d'une heure est choisi en routine pour les équilibres d'adsorption. Ces derniers semblent également être favorisés par des pH légèrement acides de l'ordre de 5 (Kumar et Dara, 1980 ; Deshkar *et al.*, 1990 ; Aoyama *et al.*, 1993). C'est ce que démontrent les résultats présentés sur la figure 3. Des valeurs de pH plus acides (pH 2 à 3) sont moins favorables pour l'interaction écorces-cations, les pourcentages de rétention en cations métalliques étant très faibles pour ces valeurs. Enfin, l'adsorption des cations métalliques par les écorces est un processus totalement réversible (Randall *et al.*, 1974) qui ne semble pas être affecté par des températures comprises entre 4 et 25 °C (Dulman *et al.*, 1999).

**Figure 2 :**  
Cinétique d'adsorption du plomb par des écorces de conifères.



**Figure 3 :**  
Influence du pH initial des solutions monosalines sur la rétention de différents cations métalliques par les écorces de conifères.

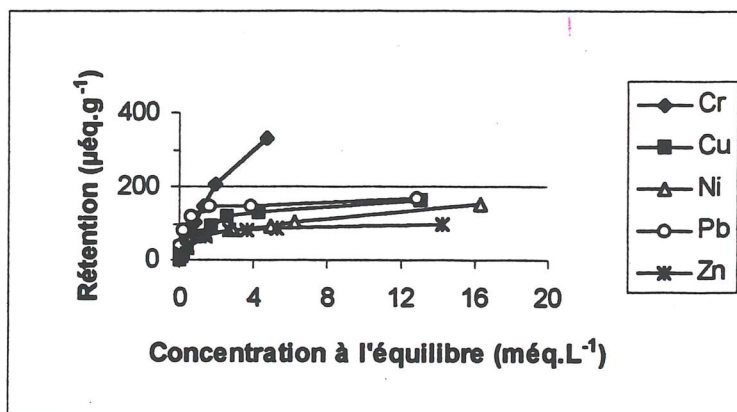


#### Comparaison des résultats par la technique des isothermes d'adsorption

Selon Volesky et Holan (1995), les capacités maximales d'adsorption de cations métalliques par une matrice échangeuse d'ions ne sont comparables que pour des concentrations résiduelles de cations métalliques similaires. L'estimation de la capacité maximale d'adsorption pour chaque cation métallique peut être facilement obtenue par la méthode des isothermes d'adsorption en

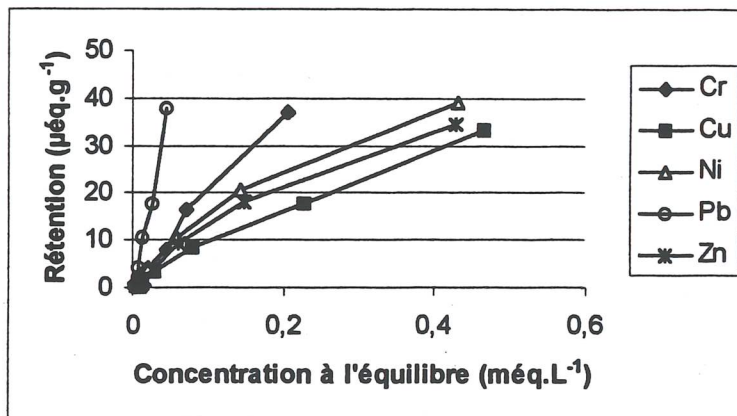
système monosalin (Aoyama *et al.*, 1993 ; Seki *et al.*, 1997). Ces isothermes (figure 4.a) sont une représentation graphique qui illustre la relation entre l'activité de la phase aqueuse résiduelle (concentration à l'équilibre) de l'adsorbant et la quantité de cations métalliques adsorbés à une température constante. C'est un équilibre dynamique où la teneur en cations métalliques adsorbés augmente en fonction de la concentration à l'équilibre du cation métallique resté en solution (libre).

Figure 4.a :  
Isothermes d'adsorption du  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$  par des écorces de conifères.



La capacité maximale d'adsorption des écorces pour les différents cations métalliques étudiés dans nos expériences s'établit selon l'ordre décroissant suivant :  $\text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$  (figure 4.a). Des résultats similaires ont déjà été observés pour d'autres types d'écorces (Deshkar *et al.*, 1990 ; Aoyama *et al.*, 1993 ; Al-Asheh et Duvnjak, 1998). Par ailleurs, l'affinité des écorces pour les cations métalliques peut être approchée en comparant les valeurs des différentes pentes des isothermes d'adsorption obtenues pour chaque cation métallique aux faibles concentrations à l'équilibre (figure 4.b). Dans ce contexte, la plus forte pente correspond à l'affinité la plus élevée. Nos résultats mettent donc en évidence que l'affinité des écorces pour les différents cations métalliques s'établit selon l'ordre décroissant suivant :  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$ .

Figure 4.b :  
Isothermes d'adsorption de  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$  par des écorces de conifères pour des faibles concentrations à l'équilibre (4.a).



*Etude des mécanismes d'adsorption par l'application du modèle de Langmuir*

Les isothermes d'adsorption sont enfin un outil intéressant pour apprécier la valeur de rétention spécifique d'un cation métallique qui peut être déterminée par la relation suivante (Veglió *et al.*, 1997) :

$$q = \frac{(C_0 - C_{\text{éq}})}{X} \quad (1)$$

où  $q$  est la rétention spécifique d'un cation métallique par unité de masse d'écorces ( $\mu\text{éq.g}^{-1}$ ) à la concentration d'équilibre du cation métallique  $C_{\text{éq}}$  ( $\text{még.L}^{-1}$ ) dans la phase aqueuse,  $C_0$  ( $\text{még.L}^{-1}$ ) la concentration initiale du cation métallique, et  $X$  ( $\text{g.L}^{-1}$ ) la concentration d'écorces en solution. Des formules empiriques ont été développées et utilisées pour modéliser les isothermes d'adsorption. La mise en oeuvre de ces modèles dépend non seulement du substrat mais également des différents cations métalliques employés. Le modèle mathématique proposé par Freundlich a été quelquefois utilisé avec succès pour décrire le phénomène de biosorption de métaux lourds (Deshkar *et al.*, 1990 ; Seki *et al.*, 1997), mais aussi pour quantifier la rétention de ces cations à partir de solutions aqueuses contaminées. Le modèle d'adsorption décrit par Langmuir (Al-Asheh et Duvnjak, 1998) a été également utilisé pour caractériser les aspects quantitatifs et qualitatifs de l'interaction cations métalliques-matrices échangeuses d'ions. Ce dernier aspect est probablement le plus intéressant puisqu'il permet de définir les caractéristiques physiques et chimiques des mécanismes de rétention des cations métalliques. Par comparaison au modèle de Freundlich, le modèle de Langmuir présente l'avantage de prendre en compte la saturation des écorces. C'est la raison pour laquelle le modèle de Langmuir a été utilisé pour notre étude. La mise en oeuvre de ce modèle est limitée par les quatre postulats suivants (Weber, 1972 ; Adamson, 1976) : (a) les sites d'adsorption sont dispersés à la surface de l'écorce, (b) un cation métallique interagit de façon stoechiométrique avec un site d'adsorption, (c) l'adsorption s'établit sous la forme d'une monocouche, (d) l'énergie d'adsorption qui régit les équilibres d'échanges microscopiques de chaque site est identique pour tous les sites et indépendante de l'état de fixation des sites environnants. L'équation générale du modèle de Langmuir est décrite par la relation suivante (Desjardins, 1988) :

$$q = \frac{q_{\text{max}} b C_{\text{éq}}}{(1 + b C_{\text{éq}})} \quad (2)$$

où  $q_{\text{max}}$  ( $\text{még.g}^{-1}$ ) est la rétention spécifique maximale d'un cation métallique et  $b$  ( $\text{L.még}^{-1}$ ) est la constante de Langmuir. Cette dernière est liée à la loi d'équilibre par l'équation de Vant'Hoff et reflète alors l'affinité d'un cation métallique pour les écorces ( $b$  correspond aussi au coefficient d'adsorption, encore souvent appelé  $\lambda$  dans la littérature). De tels paramètres sont d'une grande importance puisqu'ils fournissent des informations précieuses qui contribuent à améliorer notre compréhension des mécanismes de rétention des cations métalliques. Les paramètres  $q_{\text{max}}$  et  $b$  sont facilement obtenus à partir des données expérimentales en linéarisant l'équation (2) par la méthode des doubles inverses :

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{\text{max}} b} \frac{1}{C_{\text{éq}}} + \frac{1}{q_{\text{max}}} \quad (3)$$



La figure 5 illustre une telle relation entre les teneurs de cations métalliques adsorbés et les concentrations à l'équilibre de ces cations. Les paramètres de Langmuir,  $q_{max}$  (déterminé à partir de l'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées) et  $b$  (déterminé à partir de la pente de la droite), obtenus pour chaque cation métallique à partir de l'interprétation graphique, sont présentés dans le tableau I. Les valeurs de  $b$  confirment l'affinité sélective des écorces définie précédemment pour chaque cation métallique et s'établissent dans l'ordre décroissant suivant :  $Pb^{2+} > Cr^{3+} > Ni^{2+} > Zn^{2+} > Cu^{2+}$ .

Figure 5 :

Isothermes d'adsorption de Langmuir de  $Cr^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  et  $Zn^{2+}$  par des écorces de conifères.

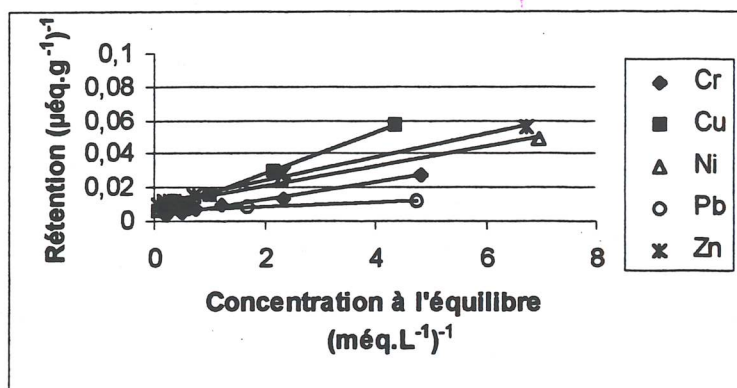


Tableau I - Capacités maximales de rétention ( $q_{max}$ ) et affinité ( $b$ ) des écorces de conifères pour les différents cations métalliques.

	Cations métalliques				
	$Cr^{3+}$	$Cu^{2+}$	$Ni^{2+}$	$Pb^{2+}$	$Zn^{2+}$
$q_{max}$ ( $\mu eq \cdot g^{-1}$ )	454.54	222.22	181.82	200	125
$b$ ( $L \cdot meq^{-1}$ )	0.53	0.38	0.44	4.65	0.41

Une autre constatation importante est que les valeurs de  $b$  sont étroitement liées à quelques caractéristiques physiques et chimiques (tableau II) des cations métalliques testés dans nos expériences. La nature des orbitales atomiques de ces cations est l'une des premières caractéristiques examinées.  $Pb^{2+}$  présente la plus forte valeur de  $b$  et, par conséquent, la plus forte affinité pour les écorces parmi les cinq cations métalliques étudiés. L'une de ses caractéristiques est de présenter une dernière couche électronique de niveau 6. Cette observation pourrait expliquer la forte affinité du  $Pb^{2+}$  pour les écorces. En effet, plus le niveau de la couche électronique est élevé, plus les électrons pourraient être facilement séparés du noyau et, par conséquent, liés aux sites d'adsorption des écorces. Cette observation est confortée par le comportement des cations métalliques  $Cr^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  et  $Zn^{2+}$ . Chacun de ces cations métalliques présente un niveau électronique similaire (niveau 3 pour la dernière couche électronique); ils présentent aussi des valeurs de  $b$  plus faibles que le  $Pb^{2+}$ .

L'étude de la stabilité de la dernière sous-couche électronique 3d fournit par ailleurs des informations supplémentaires sur l'origine de l'interaction écorces-cations métalliques dans le cas du  $Cr^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  et  $Zn^{2+}$ .  $Zn^{2+}$ , qui est un cation très stable puisqu'il ne possède pas d'électron célibataire, présente la plus faible affinité pour les écorces. Etant donné la stabilité spécifique des sous-couches  $3d^5$  ou  $3d^{10}$ , nous pouvons considérer que les électrons n'entrent pas facilement dans la formation d'une liaison avec l'adsorbant. Une corrélation entre les valeurs de  $b$  et le nombre des électrons célibataires de chacun des cations métalliques peut être constatée. Par exemple,  $Cr^{3+}$  est le

**Tableau II** – Quelques caractéristiques physiques et chimiques des cations métalliques.

Caractéristiques	Cations métalliques				
	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
Rayon ionique (pm)	75,5	71	69	112	74
Configuration électronique	3d <sup>3</sup> 4s <sup>0</sup>	3d <sup>9</sup> 4s <sup>0</sup>	3d <sup>8</sup> 4s <sup>0</sup>	5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>0</sup>	3d <sup>10</sup> 4s <sup>0</sup>
Electrons libres	3	1	2	0	0
Electronégativité de l'atome		2,0	1,91	1,87	1,65
Nombre de coordination	6	2, 4, 5, 6	4, 5, 6	4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	4, 5, 6, 8

plus instable de ces quatre cations métalliques en raison de ses trois électrons célibataires. Il présente aussi, comparé à Ni<sup>2+</sup>, la plus forte affinité pour les écorces. Cette observation pourrait être attribuée aux propriétés paramagnétiques conférées par les électrons célibataires qu'ils possèdent. Ces cations pourraient alors être attirés par un champ magnétique généré probablement par la matrice échangeuse d'ions (Chong et Volesky, 1996). Parmi les cinq cations métalliques étudiés, seul le Cu<sup>2+</sup> ne répond pas à cette règle. Avec la plus faible affinité pour les écorces, il possède cependant un électron célibataire, la plus forte électronégativité et le plus petit nombre de coordination. Cu<sup>2+</sup> nécessite un minimum de deux électrons pour établir une liaison de coordination avec l'adsorbant. Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> et Ni<sup>2+</sup> nécessitent par comparaison, un minimum de quatre électrons et Cr<sup>3+</sup> six électrons. Des expériences complémentaires sont nécessaires pour fournir une explication à ce phénomène. Pour conclure ce paragraphe, il apparaît que les affinités expérimentales des cations métalliques pour les écorces peuvent être facilement reliées aux caractéristiques physico-chimiques des cations métalliques employées comme par exemple le niveau de la dernière orbitale atomique ou encore le nombre d'électrons célibataires de la dernière sous-couche électronique.

#### -IV- CONCLUSION

Les écorces et sciures, deux des produits connexes majoritaires de la filière bois, sont actuellement principalement valorisées par la filière bois énergie (chaufferie) et la filière bois matériaux (panneaux de particules ou de fibres, pâte à papier). Ces deux filières n'utilisent en région Limousin que partiellement les volumes disponibles (enquête DRAF). Elles n'apportent par ailleurs qu'une très faible valeur ajoutée à ces derniers. La question à laquelle doit répondre cette étude est de savoir si d'autres voies de valorisation des écorces et sciures sont envisageables. Notre connaissance de la nature chimique de tels produits connexes nous permet d'apporter une réponse originale à cette question. En effet, nous avons pu démontrer que les écorces de conifères ont une réelle capacité à adsorber les métaux lourds (de 3,3 à 17,1 mg de cations métalliques adsorbés par gramme d'écorces) selon un mécanisme qui s'apparente à celui de la biosorption. Ce mécanisme a été décrit par le moyen des isothermes d'adsorption de Langmuir ce qui nous a permis de définir l'affinité sélective des écorces dans l'ordre décroissant : Pb<sup>2+</sup> > Cr<sup>3+</sup> > Ni<sup>2+</sup> > Zn<sup>2+</sup> > Cu<sup>2+</sup>. Ces données ont pu être corrélées aux caractéristiques physico-chimiques des cations métalliques étudiés, notamment au niveau de la dernière orbitale atomique ou encore au nombre d'électrons célibataires de la dernière sous-couche électronique.

Nos travaux contribuent à démontrer que les isothermes d'adsorption de Langmuir sont un outil appréciable non seulement pour l'étude du mécanisme de biosorption mais aussi pour caractériser le comportement des écorces vis-à-vis des cations métalliques. Le comportement de différentes matrices d'adsorption d'origine biologique, les écorces par exemple, dans un processus de biosorption peut ainsi être aisément expliqué dans un contexte physico-chimique défini (nature et concentration des cations métalliques, pH, température...). Enfin, ce modèle mathématique présente l'avantage de pouvoir être utilisé dans le cas d'un système multivalent ce qui contribuerait à améliorer notre perception des mécanismes impliqués dans le phénomène de biosorption.

#### **-V- REMERCIEMENTS**

Les auteurs remercient la société Terrecor (Meymac, France) pour avoir fourni le matériel biologique. Ces travaux ont reçu le soutien de la société «La Florentaise», de «l'Agence Nationale de Valorisation de la Recherche» et de «l'Association pour le Développement Industriel et Economique du Massif Central et du Centre».

#### **-VI- BIBLIOGRAPHIE**

- Adamson, A.W., 1976. - Physical Chemistry of Surfaces. John Wiley & Sons, New York, p.1.
- Al-Asheh, S., Duvnjak, Z., 1998. - Binary metal sorption by pine bark : study of equilibria and mechanisms. *Separation Science And Technology*, 33 (9), 1303-1329.
- Aoyama, M., Honma, S., Kasai, A., Iseda, Y., Nakajima, A., Sakaguchi, T., 1991. - Uranium uptake by conifer leaves. *Holzforschung*, 45, 75-77.
- Aoyama, M., Seki, K., Sensho, H., Kasai, A., 1993. - Adsorption of heavy metal ions by hardwood barks. *Cellulose Chem. Technol.*, 27, 39-46.
- Chong, K.H., Volesky, B., 1996. - Metal biosorption equilibria in a ternary system. *Biotechnol. Bioeng.*, 49, 629-638.
- Deshkar, A.M., Bokade, S.S., Dara S.S., 1990. - Modified *Hardwickia binata* bark for adsorption of mercury (II) from water. *Wat. Res.*, 24 (8), 1011-1016.
- Desjardins, R., 1988. - Le traitement des Eaux. Ecole Polytechnique de Montréal, p. 366.
- Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt, 2000. - Agreste limousin, Exploitation forestière et sciage en 1998. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- Dulman, V., Taralunga, M., Popa, V.I., Buhaceanu, R., 1999. - Studies on the retention of Zn(II) ions from ammoniacal solutions by spruce wood bark. *Cellulose Chemistry and Technology*, 33 (3-4), 231-237.

Gloaguen, V., Morvan, H., 1997. - Removal of heavy ions from aqueous solution by modified barks. *J. Environ. Sci. Health, A32 (4)*, 901-912.

Jansson-Charrier, M., Guibal, E., Surjous, R., Le Cloirec, P., 1995. - Continuous removal of uranium by biosorption onto chitosan: application to an industrial effluent. *Biohydrometallurgical Processing*. Jerez, C.A., Vargas, T., Toledo, H., Wiertz, J.V. éd., University of Chile, p. 257-266.

Kumar, P., Dara, S.S., 1980. - Modified barks for scavenging toxic heavy metal ions. *Indian J. Environ. Health, 22 (3)*, 196-202.

Martin-Dupont, F., Gloaguen, V., Granet, R., Guilloton, M., Morvan, H., Krausz, P., 2002. - Heavy metal adsorption by crude coniferous barks: A modelling study. *J. Environ. Sci. Health, A37 (6)*, 1063-1073.

Randall, J., Berman, R.L., Garrett, V., Waiss, A.C., 1974. - Use of bark to remove metal ions from waste solutions. *Forest Products Journal, 24 (9)*, 80-84.

Seki, K., Saito, N., Aoyama, M., 1997. - Removal of heavy metal ions from solutions by coniferous barks. *Wood Science and Technology, 31*, 441-447.

Teles De Vasconcelos, L.A., Gonzales Beca, C.G., 1997. - Chemical activation of pine bark to improve its adsorption capacity of heavy metal ions. Part 1 : by acid treatment. *European Water Pollution Control, 7 (1)*, 41-46.

Veglió, F., Beolchini, F., Gasbarro, A., 1997. - Biosorption of toxic metals: an equilibrium study using free cells of *Arthrobacter sp.*. *Process Biochemistry, 32 (2)*, 99-105.

Volesky, B., 1986. - Biosorbent materials. *Biotechnol. Bioeng. Symp., 16*, 121-126.

Volesky, B., Holan, Z.R., 1995. - Biosorption of heavy metals. *Biotechnol. Prog., 11*, 235-250.

Waiss, A.C., Wiley, M.E., Kuhnle, J.A., Potter, A.L., McCready, R.M., 1973. - Adsorption of mercuric cation by tannins in agricultural residues. *J. Environ. Quality, 2 (3)*, 369-371.

Weber, W.J.P., 1972. - *Physicochemical Processes for Water Quality Control*. John Wiley & Sons, New York, p. 200.

## ÉTUDE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE L'AUVÉZÈRE CORRÉZIENNE EN 1996

**PRINCIPAUX Hélène et COMBY Francis**

*Faculté de Pharmacie, 2 rue du Docteur Marcland, 87025 LIMOGES Cédex*

### RÉSUMÉ

Une étude réalisée en 1990 sur le bassin de l'Auvézère corrézienne avait permis de dégager quelques aspects qualitatifs et quantitatifs de la composition chimique de l'eau. Des travaux d'assainissement ont été ensuite réalisés, tant par les collectivités locales que par les entreprises du secteur. Aussi, notre étude a-t-elle eu pour but de faire le point de la situation après ces travaux. Il en ressort que la qualité des eaux de l'Auvézère ne s'est pas améliorée. Elle s'est même dégradée et les objectifs fixés en 1996 ne sont pas atteints sur la majeure partie du secteur concerné. Les activités humaines et industrielles gardent donc un impact non-négligeable sur la qualité des eaux de ce cours d'eau.

**Mots-clés** : Auvézère - Eau - Analyse chimique - Nitrates - Coliformes

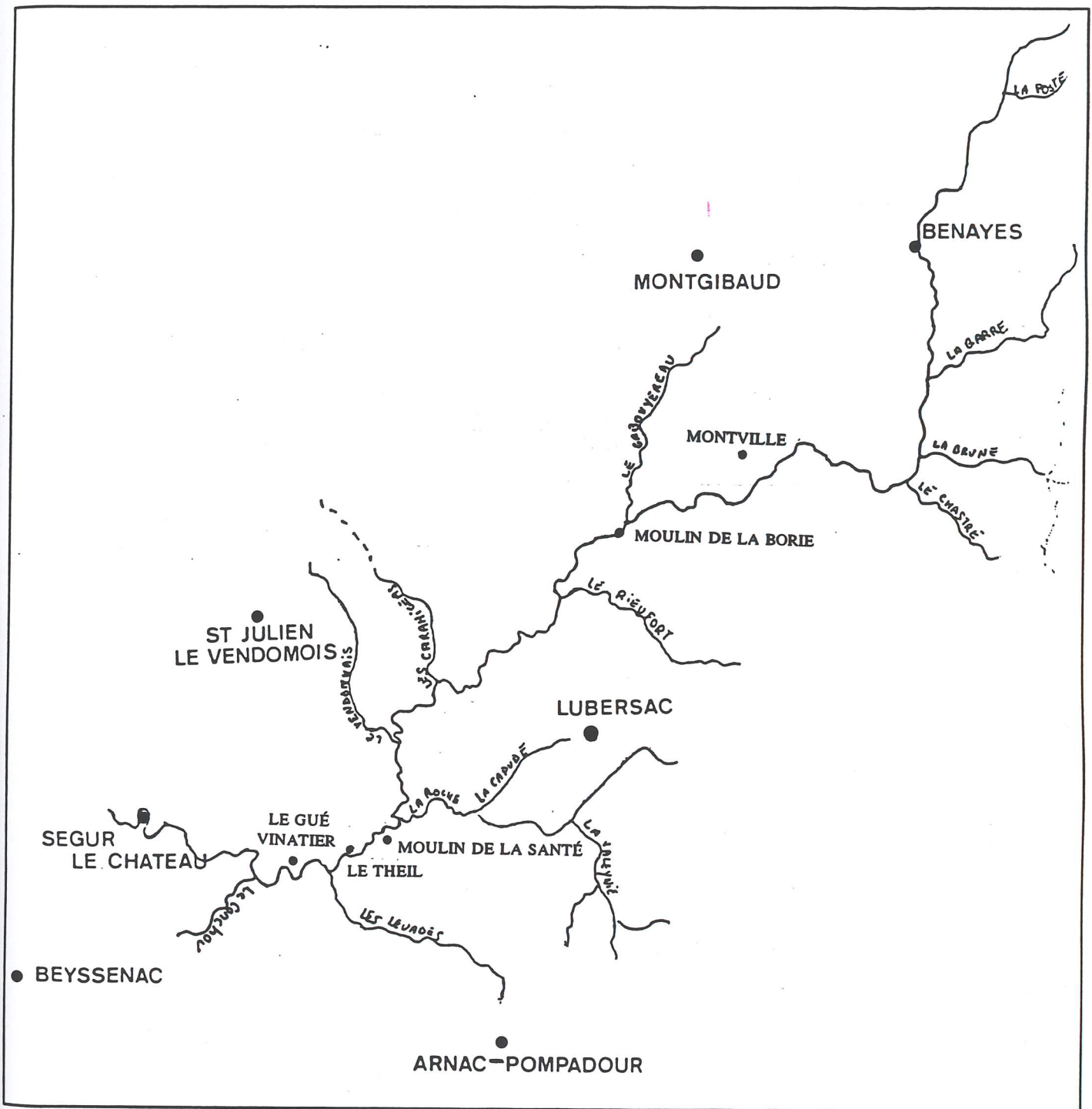
**SUMMARY.-** *Water quality of the Auvézère river (Corrèze - France) in the 1996 year.*

A screening study, carried out in 1990 on the Correze section of the Auvézère waterbed, had helped to highlight the qualitative and quantitative features of the chemical composition of its water. Draining and waterworks have later been achieved by local authorities and industrialists. Our study aimed at assessing the aftermath of these works after their completion. We concluded that the quality of waters did not improve. It actually worsened and most goals have not been reached on the major parts of our reference section of the stream. We concluded that human and industrial activities highly influenced on the poor water quality of this river.

**Key-words** : River Auvézère - water - chemical analysis - nitrates - coliforms

### INTRODUCTION

Après une étude réalisée par la D.I.R.E.N. Limousin en 1990 et à l'initiative de l'Association de Sauvegarde du Bassin de l'Auvézère Corrézienne, l'étude des principaux critères de qualité de la partie corrézienne de cette rivière a été entreprise de mars 1996 à janvier 1997. En effet, suite aux résultats de 1990, des travaux d'aménagement et d'assainissement ont été entrepris par les communes



**Figure 1** : L'Auvézère et ses principaux affluents, de sa source à Ségur-le-Château (1 cm = 1 km).

(Syndicat des eaux de l'Auvézère) et les entreprises locales. Nous avons donc voulu savoir si les mesures prises avaient eu des retombées favorables sur la qualité de l'eau afin d'évaluer l'importance de l'impact des activités humaines de ce secteur sur le cours d'eau principal qui l'arrose.

## I-LA RÉGION DE L'AUVÉZÈRE

Le secteur d'étude se situe au centre d'un triangle dont les sommets sont les villes de Brive, Limoges et Périgueux, et plus particulièrement dans sa partie corrèzienne. Des textes du Moyen-Age stipulent que le nom de cette rivière était autrefois "Haute-Vézère" car elle était située plus haut, au nord, par rapport à la Vézère qui arrose Treignac, Uzerche, Larche, Terrasson et Montignac.

L'Auvézère parcourt 36 kilomètres sur notre zone d'étude (Corrèze) et son bassin versant couvre une surface de 178 km<sup>2</sup> (figure 1). Du site du "Camp de César" (à 419 m d'altitude) où elle prend sa source, en passant près de Benayes, de Lubersac et de Pompadour, l'Auvézère quitte la Corrèze après avoir arrosé Ségur-le-Château (à 260 m d'altitude). Sa pente générale est donc de l'ordre de 0,4 %.

La zone du bassin de l'Auvézère est définie par un climat de type océanique humide avec des précipitations assez abondantes et des températures sans extrêmes. Pendant notre étude, les mois les plus arrosés furent janvier 1996 et novembre 1996 alors que décembre 1996 fut un mois normalement arrosé et que janvier 1997 ne recevait qu'un tiers de la pluviométrie habituelle et qu'un cinquième de celle de janvier 1996. Il découle de cela que l'hiver 1996 a été très différent de l'hiver 1997 et que l'automne 1996 a été plus arrosé que la normale. Les deux mois les plus secs furent mars et juin. Les températures ont été conformes aux normales, plus élevées en été, et il n'a pas été observé de période de sécheresse.

L'hydraulicité de 1996 a montré de nombreuses particularités, calquées sur celles observées pour les précipitations. Le mois de janvier 1996 a été caractérisé par un fort débit moyen, le plus fort de l'année, six fois supérieur à la normale. Le débit le plus faible a été observé en septembre alors que la période d'étiage se situe généralement en août. Le débit de novembre a été plus élevé que la normale.

Le secteur, selon la carte de végétation de la France n° 51 D Lavergne, appartient à la série du Chêne pédonculé dominant, auquel sont associés le Chêne sessile, le hêtre, le châtaignier, le frêne, le charme et le saule. En aval de notre secteur d'étude, une Z.N.I.E.F.F, intitulée "Gorges de l'Auvézère", a été répertoriée.

Concernant l'aspect humain de notre zone d'étude, il faut préciser qu'elle regroupe 13 communes, s'étend sur 25 948 ha et comprend environ 8 000 habitants (soit 30 h au km<sup>2</sup>). L'agriculture (élevage (bovins, ovins, porcs et chevaux), céréales, production de pommes et de fruits rouges) y représente la plus importante activité. L'industrie, les commerces, l'artisanat et les services regroupent environ 400 entreprises. Le tourisme constitue également l'une des richesses du canton de Lubersac par l'attrait de Pompadour (château, haras, Club Méditerranée), de Ségur-le-Château et du tourisme vert au sein du pays vert de l'arbre et de l'eau.

A Lubersac, une station de pompage dont la capacité est de 3 000 m<sup>3</sup> par jour est destinée à la production d'eau potable pour 15 communes. De plus, la

Les phénomènes biologiques naturels assurent une assimilation et une transformation permanentes des matières biodégradables. La rapidité du cours d'eau favorise l'oxygénation du milieu. Cela devrait permettre à la rivière de se défendre contre la présence des déchets issus des activités humaines. Mais, en cas de production massive de ceux-ci, le pouvoir auto-épurateur de la rivière devient vite inefficace et l'eau véhicule ainsi la pollution.

Dans l'Auvézère, on retrouve donc des effluents domestiques, eaux ménagères et eaux vannes (excréments humains), qui sont source de pollutions organique, minérale et bactériologique. En cas de forte pluie, les eaux de ruissellement y déversent également des hydrocarbures, des sacs plastique, des feuilles,... Les effluents industriels sont liés aux activités des industries de notre secteur. L'abattoir de Lubersac (1 000 animaux abattus par semaine) rejette des matières organiques, de l'azote, du phosphore, des matières en suspension et des micro-organismes. L'entreprise Corrèze-Conserves de Lubersac rejette surtout des sucres et des matières en suspension. Le groupe Sicame de Pompadour (500 salariés) rejette surtout des métaux (Cu, Al,...) et des détergents. La pollution d'origine agricole provient surtout des engrais (nitrates, phosphates) de la polyculture, des pesticides (chlorés, phosphorés,...) utilisés dans les vergers et de l'élevage (azote, phosphore, micro-organismes).

L'assainissement comprend plusieurs opérations : la collecte des eaux usées, leur traitement (désablage, dégraissage-déshuilage, décantation, traitement biologique par des bactéries) et leur évacuation.

Dans notre zone d'étude, les trois types d'assainissement habituels coexistent, collectif, industriel et individuel, chacun d'eux étant plus ou moins performant et conforme donc efficace.

Seules, deux agglomérations possèdent une station d'épuration de type collectif : Lubersac et Arnac-Pompadour. A Lubersac, le réseau conduit les effluents domestiques et industriels à la station d'épuration qui rejette les eaux épurées dans le ruisseau de La Capude. De nombreuses habitations ne sont pas encore raccordées au réseau. A Pompadour, il en est de même et les eaux épurées sont rejetées dans le ruisseau des Levades.

Les effluents industriels de l'abattoir, de Corrèze-Conserves et du Groupe Sicame ne sont pas ou sont très peu compatibles avec l'épuration biologique de l'assainissement collectif. Aussi, ils bénéficient d'un pré-traitement particulier à chacun d'eux.

L'assainissement individuel ou autonome est très répandu et la plupart des habitations individuelles isolées possèdent une fosse d'aisance ou une fosse septique.

## **II-MATÉRIEL ET MÉTHODES**

En vue de nos analyses, six points de prélèvements étaient répartis sur le cours de l'Auvézère, de sa source à Ségur le Château, ainsi que sur deux de ses affluents :

- point 1 : Camp de César, amont de Benayes, à 300 m de la source,
- point 2 : Moulin de La Borie, aval de Benayes, à 17 km de la source,
- point 3 : Moulin de La Jante, aval de Lubersac, à 27 km de la source,
- point 4 : Gué Vinatier, aval d'Arnac-Pompadour, à 29 km de la

source,



Point	1	2	3	4	5	6	7	8
Date	22 14 h 30	22 15 h 30	22 16 H	22 16 h 30	22 16 h 45	22 17 h	22 16 h	22 16 h 15
Température extérieure (degrés C)	20	20	20	20	20	20	20	20
Température de l'eau (degrés C)	12	12	13,5	13,5	14	13,5	13	14
Débit Benayes (m <sup>3</sup> /s)	0,347	0,347	0,347	0,347	0,347	0,347	0,347	0,347
Débit Ségur (m <sup>3</sup> /s)	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Force du courant	+	++	+	++	+	+	+	+
Pluviosité des deux jours précédents	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Pluies	-	-	-	-	-	-	-	-
Autres renseignements	Prélèvement souillé	0	Eau légère- ment trouble, mousses	Eau légèrement trouble	Odeur +, eau trouble	Eau légèrement trouble	Odeur +, eau très trouble	Eau légèrement trouble
pH	6,45	6,64	7,05	7,16	6,80	7,06	6,82	7,21
Oxygène dissous (mg/L)	7,80	8,50	8,0	8,10	7,60	8,10	3,10	7,80
% de saturation	72,55	79,06	76,99	77,95	73,92	77,95	29,49	75,87
M.E.S. (mg/L)	21	13	26	12	18	26	47	13
DBO <sup>5</sup> (mg/L)	8	7	5	6	4	7	7	7
DCO (mg/L)	27	17	9	30	35	39	35	39
Azote organique (mg/L)	8	5	8	7	8	7	18	9
Ammoniaque (mg/L)	0,77	0,77	0,64	0,64	0,77	0,64	4,11	1,03
Nitrites (mg/L)	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,70	<0,30
Nitrates (mg/L)	4,87	15,95	15,41	16,39	15,50	12,40	11,07	17,71
Phosphore total (mg/L)	0,18	0,21	0,30	0,26	0,30	0,25	0,42	0,79
Coliformes pour 100 mL	11.000	11.000	9.300	1.100	2.300	<11.000	>11.000	<11.000

**Tableau I : Résultats de la septième campagne de prélèvements (août 1996).**

- point 5 : "Entrée" de l'Auvézère dans Ségur-le-Château, à 34 km de la source,
- point 6 : "Sortie" de l'Auvézère de Ségur-le-Château, à 36 km de la source,
- point 7 : Ruisseau de la Roche, à La Pauchereynie,
- point 8 : Ruisseau des Levades, au Mas.

L'étude s'est étendue sur une année avec douze campagnes de prélèvements, de mars 1996 à janvier 1997. Espacés environ d'un mois, afin de prendre en compte les influences météorologiques, les prélèvements ont été effectués le week-end, en dehors des activités industrielles au cours desquelles peuvent se produire des pics de pollution peu représentatifs.

Pour des raisons de coût et en fonction des activités humaines connues sur le secteur, nous avons effectué les analyses suivantes :

- pH,
- conductivité,
- matières en suspension (M.E.S),
- oxygène dissous,
- demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>),
- demande chimique en oxygène (DCO),
- azote organique,
- ammoniac,
- nitrates,
- nitrites,
- phosphore,
- coliformes totaux.

Les analyses ont été effectuées par le Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherches de la Haute-Vienne.

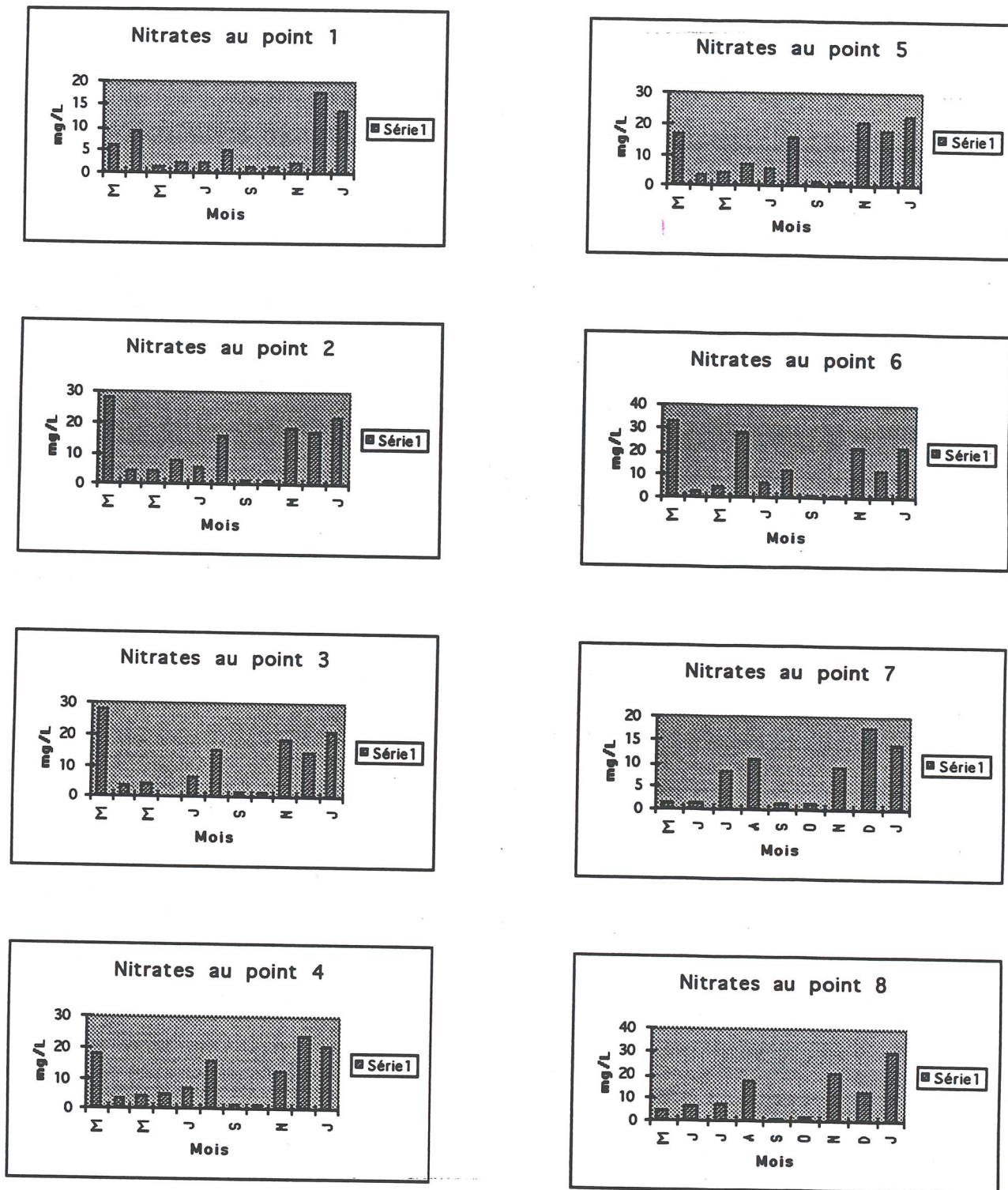
### **III-RÉSULTATS**

Le tableau I montre les résultats d'une campagne de prélèvements (août 1996).

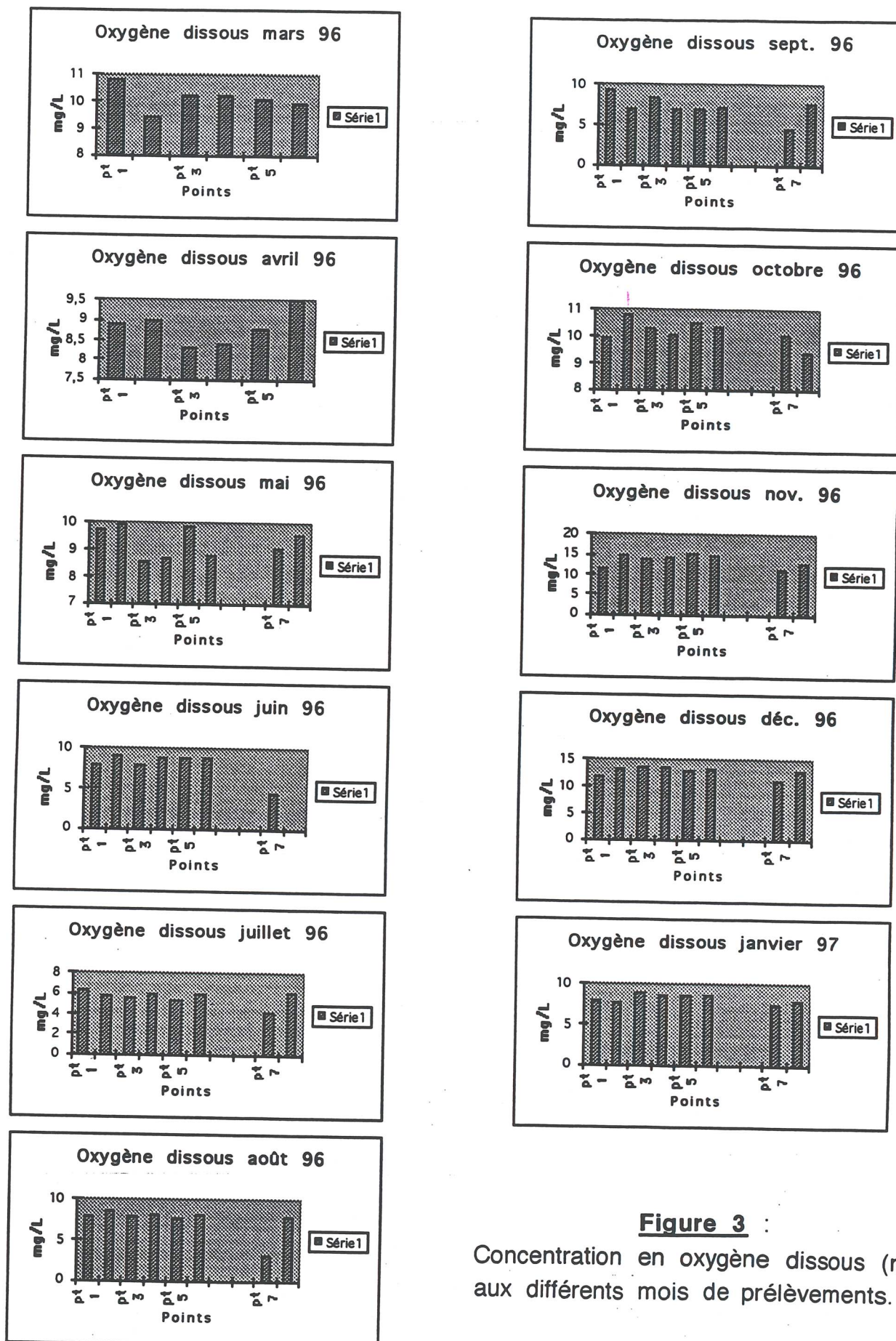
Chaque mois et pour chaque site de prélèvement, ces différents tableaux nous ont permis de tracer deux séries de graphiques :

-1ère série : pour chaque point de prélèvement (de 1 à 8), nous avons construit un diagramme représentant la valeur d'un paramètre au fil des mois, permettant ainsi d'interpréter les résultats de chaque site dans le temps. Par exemple, comme le montre la figure 2, pour les nitrates, on peut voir à gauche la quantité de nitrates (en milligrammes par litre) présents dans l'eau pour chaque mois (figuré par une lettre en bas), de mars (M) 1996 à janvier (J) 1997 ;

-2ème série : pour chaque mois, nous avons établi un diagramme représentant un paramètre en fonction des sites de prélèvement, permettant ainsi d'analyser les résultats dans l'espace et dans le temps. Par exemple, sur la figure 3, pour l'oxygène dissous, on peut voir à gauche la quantité d'oxygène dissous (en milligrammes par litre) présent dans l'eau au niveau de chaque point de prélèvement (point 1 à point 8, en bas).



**Figure 2** : concentration en nitrates (mg/L) aux différents points de prélèvements.



**Figure 3 :**  
 Concentration en oxygène dissous (mg/L)  
 aux différents mois de prélèvements.

## IV-DISCUSSION

Les textes relatifs à la qualité des eaux sont issus de la loi du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre la pollution.

La qualité de l'eau est évaluée et estimée par des analyses physico-chimiques, bactériologiques et hydrobiologiques, et par des analyses des bryophytes et du plancton. Elles permettent l'attribution des classes de qualité publiées par les Agences de Bassin. Il y a cinq classes :

- classe 1A (excellente) : eau considérée comme exempte de pollution et apte à satisfaire les usages les plus exigeants en qualité,

- classe 1B (bonne) : qualité légèrement moindre, satisfaisant néanmoins tous les usages,

- classe 2 (passable) : eau de qualité suffisante pour l'irrigation, les usages industriels, la production d'eau potable après un traitement poussé, la boisson des animaux, la vie des poissons et les loisirs liés à l'eau (sans contact direct avec elle),

- classe 3 (médiocre) : apte à l'irrigation, au refroidissement et à la navigation mais procurant une vie piscicole aléatoire,

- hors-classe (pollution excessive) : eau inapte à la plupart des usages et constituant une menace pour la santé publique et l'environnement.

Les paramètres de mesure sont de deux types :

- paramètres généraux : température, pH, conductivité, chlorures, oxygène dissous, pourcentage de saturation en oxygène, matières organiques oxydables, matières en suspension (MES), matières azotées (nitrates, nitrites, ammoniac), phosphore,

- paramètres complémentaires bactériologiques (coliformes et streptocoques fécaux), matières toxiques (fluor, cyanure, phénols, métaux lourds (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu)) et paramètres hydrobiologiques (larves d'insectes surtout).

Une étude menée en 1990 faisait suite à des objectifs de qualité des eaux de l'Auvézère qui avaient été approuvés par le Conseil Général de la Corrèze en 1983, indiquant que l'Auvézère devait pouvoir satisfaire tous les usages (classes de 1 à 2). Elle a été conduite par le Syndicat des Eaux de l'Auvézère et par la Direction générale de l'Environnement (D.I.R.E.N.).

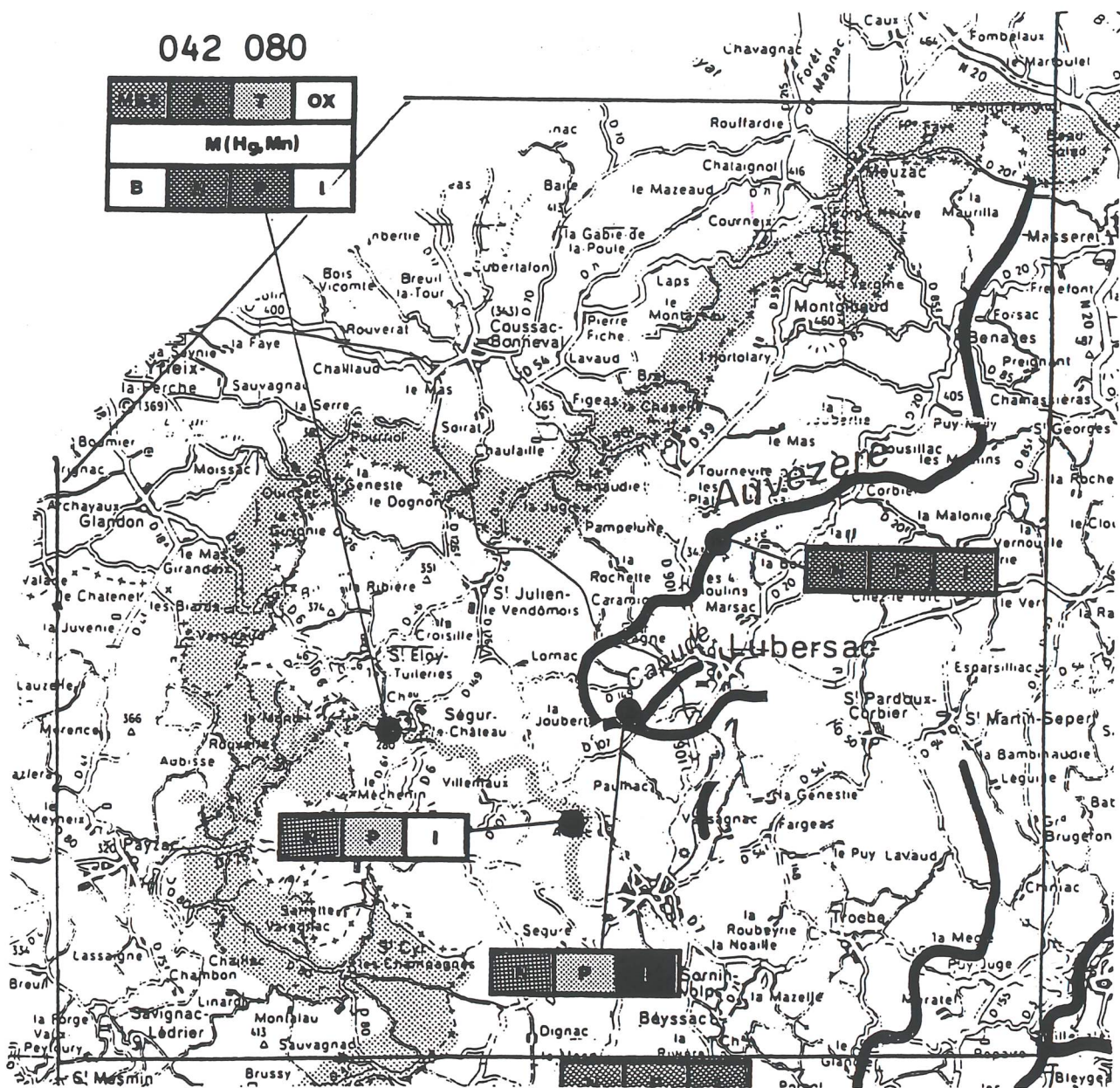
Les résultats de cette étude (figure 4) correspondent aux objectifs fixés jusqu'au confluent avec le ruisseau de la Roche, c'est-à-dire en amont de Lubersac. En aval, le reste du bassin versant de l'Auvézère présente un écart d'une à deux classes (allant jusqu'à la hors classe).

Ainsi, en 1990, l'impact des activités humaines est indéniable et mal maîtrisé et il rend la qualité des eaux du bassin peu compatible avec les usages naturels.

Aussi, divers travaux ont été proposés (raccordement de Corrèze-Conserves à la station d'épuration de Lubersac, assainissement de Corrèze-Conserves et assainissement de l'abattoir) en vue de l'amélioration de la qualité.

L'analyse de l'ensemble de nos résultats nous permet de percevoir que l'Auvézère et ses affluents constituent un milieu ouvert et vivant en perpétuel changement.

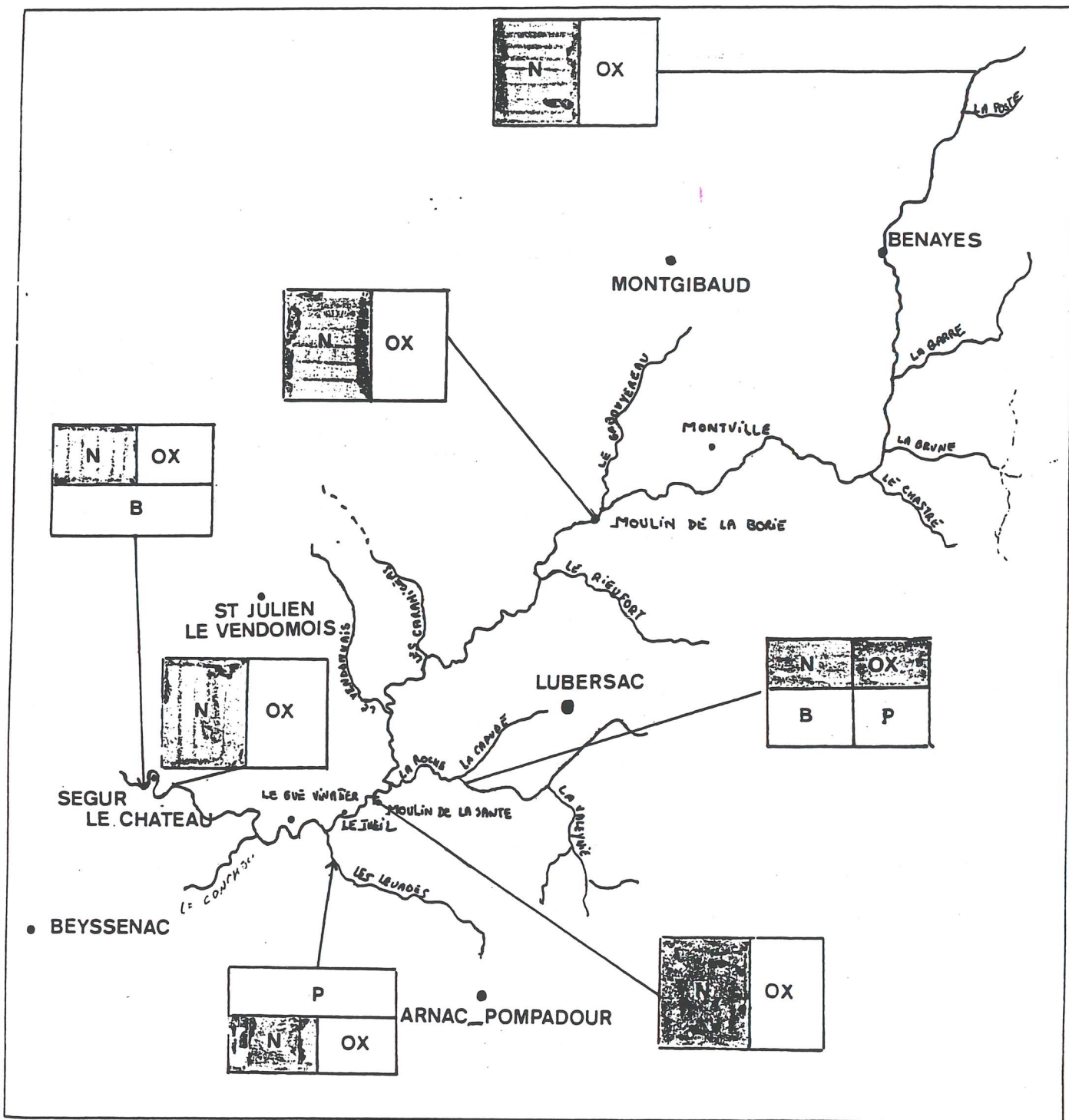
Par rapport à l'étude de 1990, nous pouvons, secteur par secteur, pour l'année 1996, faire les remarques ci-dessous.



**Figure 4 :** Carte de la qualité des eaux de l'Auvézère et de ses affluents en 1992 (1 cm = 2,5 km).

**Abréviations :**

A : ammoniaque, B : qualité bactériologique, I : qualité hydrobiologique, M : métaux, MES : matières en suspension, N : nitrates, OX : matières oxydables, P : phosphore, T : toxiques.



**Figure 5** : Classes de qualité obtenues pour notre étude en 1996 (1 cm = 1 km).

**Abréviations :**

**B** : qualité bactériologique, **N** : nitrates, **OX** : matières oxydables, **P** : phosphore.

- Amont de Benayes : de bonne en 1990, la qualité est devenue passable (classe 2), voire médiocre (classe 3), et ce secteur est plus dégradé pour des raisons qui ne sont pas établies formellement mais supposées (nouvelle autoroute à quelques centaines de mètres, élevages).

- Bassin intermédiaire jusqu'à Lubersac : auparavant de classe 1B (bonne), ce secteur s'est également dégradé. La qualité des eaux est le plus souvent passable vis-à-vis des matières organiques qui sont responsables de la consommation d'oxygène dissous pendant les mois d'étiage. Elle est médiocre pour les matières azotées. La présence fréquente de mousse indique des rejets d'eaux usées.

- Aval de Lubersac : la qualité de la rivière est passable au moulin de La Jante, voire médiocre vis-à-vis des matières organiques et azotées. Cependant, il y a peu d'impact sur la teneur en oxygène dissous (classe 3 en 1990, classe 2 en juillet 1996). D'autre part, l'impact de Lubersac sur la teneur en phosphore s'est amélioré. Les aménagements au sein des industries et les travaux au niveau de la station d'épuration sont certainement responsables de cette amélioration.

- Aval d'Arnac-Pompadour : ce secteur n'a pas varié en 6 ans. L'impact de cette agglomération est surtout nocif pendant les mois d'étiage. Ce secteur demeure en classe 2 (eau de qualité passable).

- Ségur-le-Château : la qualité de l'eau est passable, voire médiocre, en amont, comme en 1990. L'aval de Ségur est affecté par les rejets des eaux usées domestiques qui rendent la qualité passable (classe 2) en raison de la présence de coliformes.

- Ruisseau de La Roche : la qualité de l'eau demeure critique, affectée par les activités industrielles (abattoir, conserves) en amont, même si leurs eaux usées sont épurées. La surcharge de polluants entraîne une forte consommation en oxygène dissous qui décline le ruisseau en classe 3 pendant les mois d'étiage.

- Ruisseau des Levades : de classe 2 ou 3 (médiocre) en 1990, la qualité ne s'est pas améliorée, notamment vis-à-vis du phosphore, malgré la présence d'une station d'épuration à Arnac-Pompadour.

## CONCLUSION

Les objectifs de qualité (classe 1B pour la plus grande partie de l'Auvézère corrézienne et classe 2 du confluent du ruisseau de La Roche à celui du ruisseau des Levades) ne sont pas atteints, malgré les efforts réalisés pour diminuer l'impact des activités humaines sur la qualité des eaux du bassin (figure 5).

La qualité des eaux de l'Auvézère corrézienne semble s'être dégradée dans sa partie située en amont de Lubersac (où est située la station de pompage alimentant 15 communes). En aval, la qualité ne s'est pas améliorée, les paramètres déclassants étant plus défavorables pendant la période d'étiage.

Le fait que l'objectif de qualité n'ait pas été atteint et que la qualité de cette rivière se soit partiellement dégradée peut s'expliquer par une connaissance insuffisamment précise des causes de pollution de la rivière. Les méthodes d'analyse mises en oeuvre sont ainsi restées globales et générales sur l'ensemble du cours d'eau.



## REMERCIEMENTS

Cette étude a pu être réalisée grâce à la participation financière de l'Association de Sauvegarde du Bassin de l'Auvézère Corrézienne, de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, de la Société Sicame, de l'Association Universitaire Limousine pour l'Étude et la Protection de l'Environnement (A.U.L.E.P.E.), de la Société de Pêche "Les Amis de l'Auvézère" (Payzac) et des communes d'Arnac-Pompadour, de Beyssenac, de Saint-Eloy-les-Tuileries, de Saint-Julien-le-Vendômois, de Saint-Pardoux-Corbier et de Ségur-le-Château.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANONYME, 1992. Étude de la qualité des eaux de l'Auvézère et de ses affluents : juin 1990 à octobre 1991. Syndicat des Eaux de l'Auvézère (Lubersac), Agence de l'Eau Adour-Garonne (Toulouse), Direction Régionale de l'Environnement (Limoges).

Carte de la qualité des eaux superficielles du département de la Corrèze, 1992. Agence de l'Eau Adour-Garonne.

CHATENET P., 1994 - Un site botanique remarquable : les Gorges de l'Auvézère (Dordogne). Thèse Doct. Pharmacie, Limoges, 138 p.

PINHEIRO A., CAUSSADE B., 1996 - Modélisation de la pollution diffuse agricole : cas des nitrates. *Revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne*, 66, 9-16.

PRINCIPAUD H., 1997 - Étude des principaux critères de qualité des eaux de l'Auvézère corrézienne en 1996 : analyses physico-chimiques et bactériologiques. Thèse Doct. Pharmacie, Limoges, 210 p.

THIBAUD P., 1993 - L'Auvézère et la Loue. Éditions Fanlac, Périgueux, 159 p.

*LA STATION UNIVERSITAIRE DU LIMOUSIN, SERVICE COMMUN DE L'UNIVERSITE DE LIMOGES, EST SITUEE A MEYMAC EN CORREZE. DEPUIS PLUS DE VINGT ANS, CE CENTRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE A PROXIMITE DU PLATEAU DE MILLEVACHES EST DESTINE A FACILITER L'ETUDE DES MILIEUX NATURELS DE CETTE REGION DU LIMOUSIN.*

*GRACE A UNE EQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE, DES RECHERCHES FONDAMENTALES ET APPLIQUEES SONT MENEES DANS CETTE ZONE DE MOYENNE MONTAGNE ATLANTIQUE. LES PUBLICATIONS EN RESULTANT PARRAISSENT PRINCIPALEMENT DANS LES ANNALES SCIENTIFIQUES DU LIMOUSIN.*

*EN OUTRE, DE MAI A OCTOBRE, ELLE ORGANISE DES STAGES D'INITIATION ET DE DECOUVERTE DU MILIEU (FORMATION PERMANENTE, TOUT PUBLIC), DANS LE CADRE PRESERVE DE LA MONTAGNE LIMOUSINE, SUR DE NOMBREUX THEMES TELS QUE :*

- *BIOLOGIE ET ECOLOGIE ANIMALE (EX : ENTOMOLOGIE, ORNITHOLOGIE...),*
- *BIOLOGIE ET ECOLOGIE VEGETALE (EX : BOTANIQUE, PHYTOSOCIOLOGIE...),*
- *GEOGRAPHIE PHYSIQUE ET RURALE,*
- *GEOLOGIE,*
- *PEDOLOGIE,*
- *QUALITE DES EAUX,*
- *ARCHEOLOGIE,*
- *DESSIN NATURALISTE.*

**POUR TOUT RENSEIGNEMENT :** Secrétariat de la Station Universitaire du Limousin  
Laboratoire de Botanique et Cryptogamie  
2, rue du Dr Marcland  
87025 LIMOGES Cedex  
Tél. / Fax : 05-55-43-58-50  
e-mail : [sulim@unilim.fr](mailto:sulim@unilim.fr)  
Site Internet : [www.unilim.fr/sulim](http://www.unilim.fr/sulim)

**LES LARVES DE DIPTÈRES SCIOMYZIDAE DANS  
LE DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-VIENNE. LEUR IMPACT  
SUR LE SYSTÈME *Galba truncatula-Fasciola hepatica***

DREYFUSS G, VIGNOLES Ph. et RONDELAUD D.

UPRES-EA n° 3174, Facultés de Pharmacie et de Médecine,  
2, rue du Docteur-Raymond-Marcland, 87025 Limoges Cedex.

**RESUME** - Des investigations sur le terrain et au laboratoire ont été réalisées pour connaître la densité des larves de Sciomyzidae en mai-juin dans différents types d'habitats à *Galba truncatula* sur sol acide, déterminer la nature des proies consommées, leur taille et leur nombre, et préciser l'impact de ces larves sur le développement larvaire de *Fasciola hepatica* chez les limnées survivantes. Par rapport aux autres points d'eau dans les prairies de la Haute-Vienne, ce sont les fossés de route qui constituent l'habitat préférentiel de ces larves. Celles-ci attaquent *Omphiscola glabra* comme *G. truncatula*. Lorsque des mollusques infestés par *F. hepatica* sont en présence des larves, on note une chute significative de leur survie au 30<sup>e</sup> jour d'expérience, une réduction nette de leur période patente et une diminution significative dans le nombre moyen des cercaires émises. La présence des larves de Sciomyzidae a donc un effet direct sur les mollusques par une diminution de leur nombre et un effet indirect en limitant le développement larvaire de *F. hepatica* chez les limnées survivantes.

**MOTS-CLES** : *Fasciola hepatica*. *Galba truncatula*. Parasitisme. Prédation. Sciomyzidae.

**SUMMARY** - THE LARVAE OF SCIOMYZID DIPTERA IN THE DEPARTMENT OF HAUTE-VIENNE. THEIR EFFECT ON THE SYSTEM HOST-PARASITE *Galba truncatula-Fasciola hepatica*.

Field and laboratory investigations were carried out to find out the density of sciomyzid larvae in May-June in different habitats colonized by *Galba truncatula* on acid soil, to determine the nature of eaten preys, their size and their number, and to specify the effect of these larvae on the larval development of *Fasciola hepatica* in the surviving *L. truncatula*. Compared to the other water holes in the meadows from the Haute Vienne department, the main habitats of these larvae were road ditches. *G. truncatula* and *Omphiscola glabra* were attacked by these larvae. When *F. hepatica*-infected snails were placed in contact with sciomyzid larvae, a significant decrease of snail survival at day 30 post-exposure, a clear reduction of the patent period, and a significant decrease in the mean number of cercariae were noted. The effect of sciomyzid larvae on *G. truncatula* was thus direct by limiting snail numbers and indirect by limiting the larval development of *F. hepatica* in surviving snails.

**KEY-WORDS** : *Fasciola hepatica*. *Galba truncatula*. Parasitism. Predation. Sciomyzidae.

## INTRODUCTION

Les Diptères Sciomyzidae ("mouches des marais") sont connues depuis longtemps pour la malacophagie de leurs larves car celles-ci se nourrissent de mollusques terrestres ou aquatiques au cours de leurs trois stades larvaires. Cette particularité a conduit plusieurs auteurs (Berg, 1953, 1964 ; Knutson, 1976, par exemple) à proposer ces larves comme des agents de lutte biologique pour contrôler les mollusques qui interviennent comme hôtes intermédiaires dans le cycle évolutif de plusieurs Helminthes. L'exemple le plus connu est celui des îles Hawaii où deux espèces de *Sepedon* furent introduites avec succès, en 1959 (*Sepedon macropus*) et en 1967 (*S. sauteri*) pour contrôler la limnée locale (*Lymnaea ollula*) qui intervenait dans le cycle de *Fasciola gigantica* (Knutson, 1976).

De nombreux travaux ont été consacrés aux Diptères Sciomyzidae dans le monde entier. Ils ont porté principalement sur l'identification des mouches adultes et leur répartition dans les différents pays comme en France (Vala, 1985, 1989, par exemple). Moins nombreux sont les travaux sur les habitats des larves et leur impact sur les mollusques qui vivent dans les mêmes gîtes qu'elles. Aussi, le premier but de cette étude est-il de procéder à une recherche dans une région sur sol siliceux (comme le département de la Haute-Vienne) afin de préciser les différents types d'habitats colonisés par les larves aquatiques de Sciomyzidae, de déterminer la densité de celles-ci et d'apprécier leur impact sur les mollusques qui vivent dans les mêmes gîtes qu'elles.

Un autre aspect, qui n'a jamais été exploré, concerne les effets indirects de ces larves sur le développement larvaire d'un Helminthe chez son mollusque hôte. Les auteurs n'ont pas étudié cet impact car ils considèrent que la mortalité du mollusque hôte entraîne également celle de son parasite. Mais, comme toutes les espèces de Sciomyzidae n'ont pas le même comportement prédateur sur les mollusques (Vala, 1989), il est logique de penser que le parasite sera affecté de manière différente selon le procédé d'attaque de la larve. Le deuxième but de cette note est de déterminer quels sont les effets de ces larves sur le développement larvaire de l'Helminthe chez les mollusques qui échappent à la prédation. Pour répondre à ce deuxième point, une étude expérimentale sera réalisée en utilisant un système mollusque-parasite bien exploré au sein de notre équipe comme celui de *Galba truncatula-Fasciola hepatica*.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Etudes écologiques.

#### A. Sur le terrain.

Les larves de Sciomyzidae ont été étudiées dans 14 stations de la Haute-Vienne. Six d'entre elles se situent aux alentours de Bellac alors que les six suivantes sont localisées aux environs de Limoges et les deux dernières à côté de Saint-Yrieix-la-Perche. La topographie de ces sites est variable : une rigole de drainage superficiel dans 6 stations, une rigole de drainage s'ouvrant sur une petite mare dans 3 sites et, enfin, un simple fossé de route parcouru par de l'eau courante dans les 5 derniers cas.

Des prélèvements ont eu lieu en mai ou en juin dans ces différents sites sur une période allant de 1988 à 2000. Ils n'ont été effectués que pour récolter des limnées si bien que chaque station n'a pas fait l'objet d'une prospection systématique annuelle. Lors de chaque prélèvement, on procède à des allers et retours dans la végétation aquatique à l'aide d'une passoire (diamètre, 20 cm). Les mollusques présents sont d'abord décomptés en tenant compte de leur espèce (*G. truncatula*, ou *Omphiscola glabra*). Les larves sont ensuite comptabilisées en fonction de leur stade : L1, L2, ou L3 (premier, deuxième, ou troisième stade).

Les valeurs individuelles ont été analysées en tenant compte de la nature du gîte prospecté (rigole simple, rigole avec mare, ou fossé de route), de la superficie de ce dernier, du nombre de limnées récoltées avec les larves et, enfin, de la date du prélèvement.

#### B. Au laboratoire.

Ce type d'étude a été réalisé afin de déterminer le nombre de mollusques que des larves L2 ou L3 (8 et 10, respectivement) consomment sur une période de 15 jours dans les conditions du laboratoire. Chaque larve a été placée individuellement dans une boîte de Pétri (diamètre, 100 mm) avec de l'eau de source et 5 limnées vivantes (*G. truncatula* ou *O. glabra*) hautes de 6 ou 7 mm. Un suivi journalier permet de décompter le nombre de proies consommées par ces larves. Chaque mollusque dévoré est, dans ce cas, remplacé par une proie vivante de même taille, appartenant à la même espèce.

Les valeurs individuelles ont été ramenées à des moyennes, encadrées chacune d'un écart type, en tenant compte du stade larvaire du Sciomyzidé et de l'espèce du mollusque. Les moyennes ont été confrontées entre elles par l'analyse de variance à un seul facteur (Stat-Itcf, 1988).

## 2. Infestations expérimentales des limnées.

Les *G. truncatula* utilisées proviennent d'un fossé de route, situé au Masvaudier, commune de Saint-Michel-de-Veisse, département de la Creuse. Deux cent vingt individus hauts de 4 mm ont été prélevés en juillet 1999 dans ce site, transportés au laboratoire sous des conditions isothermes et soumis à une période d'acclimatation de 48 heures dans des bacs d'élevage standard. Les oeufs de *Fasciola hepatica* ont été prélevés à l'abattoir local dans la vésicule biliaire de bovins fortement parasités. Ils ont été soumis à une période d'incubation de 20 jours à 20° C constant et à l'obscurité totale selon les données d'Ollerenshaw (1971). Enfin, les larves L1 de *Tetanocera arrogans* (Sciomyzidae), mesurant 2 à 3 mm de longueur, ont été récoltées à Courcelles, commune de Saint-Michel-de-Veisse, département de la Creuse<sup>1</sup>.

Deux groupes de 110 mollusques chacun ont été constitués. Le premier sert de témoin et les limnées le constituant ont été seulement infestées par *F. hepatica*. Le second comprend des mollusques exposés aux miracidiums (larves issues des oeufs) avant que des larves L1 de *T. arrogans* ne soient introduites dans le milieu (à raison de 20 larves L1 pour 110

---

<sup>1</sup> - L'identification de l'espèce n'a été réalisée qu'à posteriori lorsque les adultes sont nés à partir des pupes résultant de la différenciation de ces larves L1 en L3.

limnées). Toutes les *G. truncatula* ont été soumises à des infestations bimiracidienne individuelles pendant 4 heures. Elles sont ensuite maintenues pendant 30 jours dans des aquaterrariums (0,66 m<sup>2</sup> de superficie) à raison de 55 individus par récipient. Ces derniers sont placés dans une salle d'élevage répondant aux conditions suivantes : température de 20° C, élevage artificiel de 12 heures diurnes avec une intensité de 3000-4000 lux. Les larves de *T. arrogans* sont introduites au deuxième jour d'expérience. Une surveillance journalière est alors exercée chaque jour pour retirer les coquilles vides du milieu. Au 30<sup>e</sup> jour, les survivants sont placés individuellement dans des boîtes de Pétri (diamètre, 35 mm), contenant chacune 2-3 mL d'eau de source et un fragment de salade. Chaque jour, l'eau des boîtes est changée et les métacercaires de *F. hepatica* sont décomptées avant d'être enlevées du récipient. Cette surveillance se poursuit jusqu'à la mort des mollusques.

Les six paramètres étudiés sont le taux de survie au 30<sup>e</sup> jour post-exposition, la prévalence de l'infestation fasciolienne (calculée à partir du rapport entre le nombre de mollusques qui émettent des cercaires et le nombre de limnées survivant au 30<sup>e</sup> jour), la croissance de la coquille au cours de l'expérience, la durée de la période prépatente (intervalle de temps entre l'exposition aux miracidiums et la première émission cercarienne), celle de la période patente (ou période des émissions) et le nombre total de cercaires émises. Le test de comparaison des fréquences expérimentales et l'analyse de variance à un seul facteur (Stat-Itcf, 1988) ont été utilisés afin de déterminer les niveaux de signification statistique.

## RÉSULTATS

### 1. Les larves de Diptères Sciomyzidae.

#### A. Sur le terrain.

Le tableau I présente la distribution des larves en fonction des trois types d'habitats à mollusques dans le département de la Haute-Vienne.

Nature de l'habitat	Superficie totale prospectée (en m <sup>2</sup> )	Nombre total de larves (et nombre par mètre carré d'habitat)		
		L1	L2	L3
Rigole isolée	97,0	0 (0)	3 (0,03)	2 (0,02)
Rigole avec mare	103,9	5 (0,04)	8 (0,07)	10 (0,09)
Fossé de route	39,9	30 (0,75)	28 (0,70)	63 (1,57)

**Tableau I.** La distribution des larves de Diptères Sciomyzidae par rapport à la nature de l'habitat à *Galba truncatula* dans le département de la Haute-Vienne.

Sur sol acide, ce sont les fossés de route qui constituent l'habitat préférentiel pour les larves aquatiques des Sciomyzidae (121 dénombrées au lieu de 23 dans les rigoles s'ouvrant dans une mare et de 4 dans les rigoles isolées). Il en est de même pour les densités : 3,1 larves par m<sup>2</sup> de fossé au lieu de 0,2 et de 0,05 larve dans les deux types de rigoles.

La comparaison numérique des larves avec les effectifs de mollusques récoltés n'a été réalisée que pour *G. truncatula* car *O. glabra* n'est pas présente dans toutes les stations. Si l'on se base sur un effectif de 50 *G. truncatula* récoltées, le nombre de ces larves est de 0,07 dans les rigoles isolées, de 0,67 dans celles qui s'ouvrent sur une mare et de 1,80 dans les fossés de route (résultats non représentés).

Sur les 39 larves L2 capturées, 11 d'entre elles étaient en train de consommer des *O. glabra* hautes de 4 à 7 mm alors que les 28 autres ont été retrouvées dans la coquille de *G. truncatula* hautes de 3 à 5 mm. Quant aux L3, 17 d'entre elles consommaient des *O. glabra* hautes de 6 à 17 mm et les 58 autres attaquaient des *G. truncatula* hautes de 5 à 9 mm.

#### B. La consommation des proies au laboratoire.

Le tableau suivant indique les nombres de proies consommées :

Espèce du mollusque	Nombre de proies consommées en 15 jours (moyenne $\pm$ écart type)	
	Larve L2	Larve L3
<i>Galba truncatula</i>	3,4 $\pm$ 1,3	3,7 $\pm$ 1,0
<i>Omphiscola glabra</i>	2,3 $\pm$ 0,8	2,5 $\pm$ 1,2

Le nombre moyen de proies est légèrement supérieur dans le cas de *G. truncatula*. Mais la différence entre les moyennes obtenues pour *G. truncatula* et *O. glabra* n'est pas significative lorsque l'on considère chaque stade larvaire de manière isolée.

## 2. Leur impact sur le système *Galba truncatula*-*Fasciola hepatica*.

Le tableau II fournit les principaux résultats :

Paramètre	Témoins	Limnées en présence de larves L1
Nombre de survivants au 30 <sup>e</sup> jour post-exposition (et taux de survie).	78 (70,9 %)	31 (28,1 %)
Nombre de limnées avec émission (et prévalence de l'infestation).	53 (67,9 %)	22 (70,9 %)
Croissance de la coquille en mm.*	2,8 $\pm$ 0,9	2,6 $\pm$ 1,0
Durée de la période prépatente en jours*	53,2 $\pm$ 7,1	59,4 $\pm$ 10,3
Durée de la période patente en jours*	21,2 $\pm$ 6,4	8,3 $\pm$ 6,3
Nombre de cercaires émises.*	87,2 $\pm$ 41,3	24,3 $\pm$ 21,8

\* Moyennes  $\pm$  écarts types.

**Tableau II.** Les principaux résultats sur l'infestation expérimentale de *Galba truncatula* par *Fasciola hepatica*.

Si l'on compare les moyennes entre elles par l'analyse statistique (résultats non représentés), on constate que la prévalence de l'infestation fasciolienne, la croissance de la coquille au cours de l'expérience et la durée de la période prépatente ne présentent pas de différence significative entre les moyennes des témoins et celles de l'autre groupe. A l'inverse, la survie des mollusques placés au contact des larves L1 est significativement plus faible ( $P < 5 \%$ ) que celle des témoins. La durée de la période patente ( $F = 7,91$ ,  $P < 1 \%$ ) et le nombre de cercaires émises ( $F = 6,26$ ,  $P < 5 \%$ ) sont, de même, plus faibles dans le groupe avec les larves de Sciomyzidae.

Il est intéressant de noter ici une modification de comportement chez les mollusques infestés lorsqu'ils sont en présence des larves. A l'inverse de ce qui se passe chez les témoins, de nombreuses limnées sortent de la nappe d'eau pour coloniser les zones émergées. Même si elles se ré-immèrent régulièrement, un certain nombre d'entre elles s'émergent à nouveau rapidement et finissent parfois par se fixer sur une paroi, en rétractant leur corps dans la coquille et en mourant parfois.

Sur les 20 larves L1 introduites, 11 ont été retrouvées en vie au 30<sup>e</sup> jour d'expérience (1 au stade L3 et 10 au stade L2).

## DISCUSSION

Nos résultats démontrent que les fossés de route étudiés dans le cadre de ce travail constituent l'habitat préférentiel de ces larves et que les rigoles prairiales isolées sont peu fréquentées. Deux hypothèses, peut-être complémentaires, peuvent expliquer cette différence. La première d'entre elles serait de relier ce fait à la présence de l'eau courante ou stagnante qui reste plus longtemps dans les fossés au cours de l'année que dans les autres sites (10 mois environ au lieu de 7 à 8 mois), créant ainsi des conditions plus favorables pour que le cycle biologique des Sciomyzidae s'accomplisse. Une autre supposition serait la plus grande abondance des limnées dans les fossés, constituant ainsi une réserve de nourriture plus facile pour les larves de ces Diptères.

L'attaque de *G. truncatula* ou d'*O. glabra* par les mêmes larves confirme les observations que Leclercq et Vala (1980) ont faites sur la non-spécificité de leur régime alimentaire. Les variations constatées dans la hauteur des mollusques consommés selon la limnée sont à rapporter à la taille maximale que chaque espèce atteint et à la morphologie de la coquille. Les autres caractéristiques (nombre de proies consommées, durée de la prédation) sont voisines des observations que Rondelaud (1975, 1978a) a faites sur la prédation de *G. truncatula* par un mollusque terrestre, *Zonitoides nitidus*. Devant le faible nombre de proies dévorées par les larves de Sciomyzidae, on peut s'interroger sur leurs capacités en tant qu'agents de lutte biologique pour éliminer les mollusques aquatiques.

La présence des larves de *T. arrogans* dans les bacs d'élevage s'est traduite par une survie plus faible des mollusques parasités (au 30<sup>e</sup> jour d'expérience), une période patente réduite et une diminution de la production cercarienne. Si les résultats sur la survie peuvent être attribués directement à l'impact des larves, il n'en est pas de même pour les deux autres paramètres. La réaction de comportement présentée par les limnées infestées en présence des larves ne peut, à elle seule, expliquer ces derniers résultats car elle a déjà été décrite par Rondelaud (1978b) comme une réaction de "fuite" chez des *G. truncatula* en présence d'un



mollusque prédateur terrestre, *Zonitoides nitidus*. Une explication possible serait de relier ces faits aux résultats qu'Abrous *et al.* (2001) obtiennent en exposant des limnées à un stress préalable juste avant l'exposition aux miracidiums de *F. hepatica*. D'après ces auteurs, la prévalence de l'infestation fasciolienne est augmentée de manière significative chez ces mollusques lorsqu'on les compare à des témoins parasités, non exposés à un stress. Dans ces conditions, on peut se demander si la réduction de la période patente et celle constatée dans le nombre des cercaires émises ne seraient pas les conséquences d'une réaction de stress que les mollusques développeraient progressivement pendant les 30 premiers jours de l'expérience lorsque les larves de Sciomyzidae sont présentes dans le milieu. Si l'on considère cette hypothèse comme valide, cette réaction de stress aurait des effets tardifs sur la survie au cours de la période patente et, par voie de conséquence, limiterait le nombre de cercaires émises par ces limnées.

Ce travail permet ainsi de démontrer que les larves de Diptères Sciomyzidae ont deux effets sur les mollusques aquatiques. A côté d'un effet direct que celles-ci exercent sur les limnées en limitant leur nombre, il faut y ajouter un effet indirect car elles limitent le développement larvaire d'un Helminthe (ici *F. hepatica*) chez les mollusques survivants.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ABROUS, M., RONDELAUD, D. & DREYFUSS, G., 2001. - The stress of *Lymnaea truncatula* just before miracidial exposure with *Fasciola hepatica* increased the prevalence of infection. *Exp. Parasitol.* 7 : 49-51.
- BERG, C.O., 1953. - Sciomyzid larvae (Diptera) that feed on snails. *J. Parasitol.* 39 : 630-636.
- BERG, C.O., 1964. - Snail control in trematode diseases : the possible value of sciomyzid larvae, snail-killing Diptera. *Adv. Parasitol.*, 2 : 259-309.
- KNUTSON, L., 1976. - Sciomyzid flies : another approach to biological control of snail-borne diseases. *Ins. Wld Digest*, 3 : 13-18.
- LECLERCQ, M., VALA, J.C., 1980. - Etude des Sciomyzidae de France, Diptères destructeurs de mollusques. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon*, 7 : 409-410 et 447-452.
- OLLERENSHAW, C.B., 1971. - Some observations on the epidemiology of fascioliasis in relation to the timing of molluscicide applications in the control of the disease. *Vet. Rec.*, 88 : 152-164.
- RONDELAUD, D., 1975. - Contribution à l'étude expérimentale de la prédation de *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller par *Zonitoides nitidus* Müller (Mollusques Gastéropodes Pulmonés). *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 50 : 275-286.
- RONDELAUD, D., 1978a. - Contribution à l'étude écologique et éthologique de *Lymnaea (Galba) truncatula*, vecteur de *Fasciola hepatica* L. Recherche de moyens de lutte biologique en Limousin. Thèse Doct. ès-Sci. Nat., Limoges, n° 4, 302 p.

RONDELAUD, D., 1978b. - Le comportement des Limnées tronquées (*Lymnaea (Galba) truncatula* Müller) saines ou infestées par *Fasciola hepatica* L. en présence de leurs prédateurs. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 53 : 63-74.

STAT-ITCF, 1988. - Manuel d'utilisation. Institut Technique des Céréales et des Fourrages, Service des Études Statistiques, Boigneville, 210 p.

VALA, J.C., 1985. - Diptères Sciomyzidae de France. Systématique, biologie, structure et dynamique des communautés. Thèse Doct. ès-Sci. Nat., Montpellier, n° 238, 285 p.

VALA, J.C., 1989. - Diptères Sciomyzidae euroméditerranéens. Faune de France, n° 72. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris, 300 p.

**PREMIÈRES DONNÉES ÉCOLOGIQUES ET BIOMÉTRIQUES SUR  
QUELQUES BYTHINELLES (GASTÉROPODES, HYDROBIIDAE)  
VIVANT DANS LES RUISSEAUX DE LA RÉGION LIMOUSIN**

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

UPRES-EA n° 3174, Facultés de Pharmacie et de Médecine,  
2, rue du Docteur-Raymond-Marcland, 87025 Limoges Cedex,  
et \* Faculté des Sciences, 123, avenue Albert-Thomas,  
87060 Limoges Cedex.

**RESUME** - Des investigations ont été réalisées sur 75 ruisseaux de la région Limousin afin de situer les populations de bythinelles sur leur cours, d'identifier les espèces et de mesurer 1010 coquilles. Vingt-neuf colonies appartenant à *Bythinella moulinsi* (région de Tulle), *B. rondelaudi* (région d'Aubusson) et à *B. vimperiei* (Haute-Vienne) ont été reconnues. La hauteur de la coquille et la largeur du dernier tour de spire présentent des différences significatives en fonction de l'espèce. Une analyse discriminante montre que *B. rondelaudi* se détache nettement des deux autres espèces. Les populations de *B. moulinsi* présentent une grande homogénéité dans leur classement alors que celles des deux autres espèces sont plus hétérogènes.

**MOTS-CLES** : Biométrie. Gastéropodes. Hydrobiidae. Limousin.

**SUMMARY - FIRST ECOLOGICAL AND BIOMETRIC DATA ON SOME BYTHINELLINI (GASTROPODA, HYDROBIIDAE) LIVING IN THE BROOKS OF THE LIMOUSIN REGION (CENTRAL FRANCE).**

Field investigations in 75 brooks of the Limousin region (central France) were carried out to locate the bythinellid populations along their course, to identify their species, and to measure 1010 shells. A total of 29 populations belonging to *Bythinella moulinsi* (district of Tulle), *B. rondelaudi* (surroundings of Aubusson), and *B. vimperiei* (department of Haute Vienne) were found. The heights of the shells and the breadths of the last whorls showed significant differences in relation to snail species. A discriminant analysis showed the clear partition of *B. rondelaudi* from the other species. A great homogeneity was noted in the classification of snails for *B. moulinsi*, whereas those from the two other species were more heterogeneous.

**KEY-WORDS** : Biometry. Gastropoda. Hydrobiidae. Limousin.

## INTRODUCTION

Les bythinelles sont de petits Gastéropodes (moins de 5 mm de hauteur) que l'on rencontre dans le cours supérieur des ruisseaux, voire des filets d'eau courante. Leur petite taille et la grande variation des coquilles d'une source à l'autre sont à l'origine des difficultés que plusieurs auteurs ont rencontrées pour identifier les espèces et proposer des clés de diagnose. Les 27 espèces reconnues par Germain (1930/1931) sur le territoire français sont actuellement en cours de révision, notamment par Bernasconi (2000) qui a ré-identifié les populations françaises vivant dans le Midi, les Pyrénées et le Centre-Ouest.

Classées par Mouthon (1981) dans le "groupement des sources", les bythinelles se remarquent surtout par la densité de leurs populations. Si elles sont fréquentes sur les terrains sédimentaires, leurs colonies semblent plus rares sur les terrains siliceux comme ceux du Limousin. Didier (1986), Didier et Rondelaud (1988) en ont seulement trouvé neuf populations dans les 48 ruisselets et ruisseaux qu'ils ont étudiés dans le nord de la Haute-Vienne. Aussi, le premier but de ce travail est-il de vérifier les résultats de ces auteurs en prospectant d'autres secteurs de la région Limousin.

Parmi les critères utilisés par Bernasconi (2000) pour identifier les bythinelles, figurent différents paramètres en rapport avec la morphologie des coquilles. Comme les caractéristiques conchyologiques sont, d'après Germain (1930/1931), très variables d'une population à l'autre, le deuxième but de cette note est de vérifier si la biométrie est d'un apport suffisant pour identifier les diverses espèces de bythinelles locales. C'est la raison pour laquelle des mesures ont été effectuées sur 1010 coquilles provenant de 29 populations et appartenant à trois espèces (*Bythinella moulinsi*, *B. rondelaudi*, *B. vimperei*).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le tableau I indique les secteurs dans lesquels les prospections ont été réalisées. Le premier se situe sur le département de la Corrèze et intéresse les communes de Chanac-les-Mines, Naves, Saint-Clément et Tulle (29 ruisseaux). Le second est localisé aux environs d'Aubusson (Creuse) et s'étend sur la commune de Saint-Michel-de-Verisse (11 ruisseaux). Dans le département de la Haute-Vienne, cinq zones ont été prospectées sur les communes de Bosmie-l'Aiguille, Condat-sur-Vienne, Limoges et Verneuil-sur-Vienne (17 ruisseaux), sur celles de la Croisille-sur-Briance, Saint-Vitte-sur-Briance et Surdoux (11 ruisseaux) et, enfin, sur celles de Berneuil (1 ruisseau), de Fromental (1) et de Laurière (7). Ces 77 ruisseaux ont été prospectés sur leur cours entier, avec des prélèvements réalisés à la passoire (20 cm de diamètre) tous les deux mètres afin d'y rechercher des bythinelles.

Lorsqu'une population de bythinelles est reconnue, on récolte 30 à 100 mollusques adultes dans la zone où les individus sont les plus nombreux (au mois d'août). Ceux-ci sont placés aussitôt dans de l'éthanol à 70°. Au laboratoire, la hauteur de la coquille et la largeur du dernier tour de spire sont mesurés à l'aide d'un système d'analyse d'images (Aries, Châtillon, France). Des moyennes, encadrées de leurs écarts types, sont établies pour chacun de ces paramètres, en tenant compte de la population et de l'espèce. L'analyse de variance à un seul facteur et le test de Scheffé (Stat-Itcf, 1988) ont été utilisés pour établir les niveaux de signification statistique. Les valeurs de ces deux paramètres ont été, de plus, soumises à une analyse factorielle discriminante (Lebart *et al.*, 1995).

Département	Communes concernées	Nombre de ruisseaux		
		prospectés	avec des bythinelles	Fréquence
Corrèze	Chanac-les-Mines, Naves, Saint-Clément et Tulle	29	20	68,9 %
Creuse	Saint-Michel-de-Veisse	11	2	18,1 %
Haute-Vienne	Bosmie-l'Aiguille, Condat-sur-Vienne, Limoges et Verneuil-sur-Vienne	17	2	11,7 %
	La Croisille-sur-Briance, Saint-Vitte-sur-Briance et Surdoux	11	2	18,1 %
	Berneuil, Fromental et Laurière	9	3	33,3 %

Tableau I. Les secteurs étudiés dans le Limousin, avec indication du nombre de ruisseaux avec des bythinelles.

Espèce (et n° d'ordre)	Moyennes (et écarts types)		Espèce (et n° d'ordre)	Moyennes (et écarts types)	
	Hauteur de la coquille (mm)	Largeur du dernier tour de spire (mm)		Hauteur de la coquille (mm)	Largeur du dernier tour de spire (mm)
<i>B. moulinsi</i>			<i>B. moulinsi</i>		
1	2,18 (0,18)	1,16 (0,07)	18	1,93 (0,18)	1,06 (0,08)
2	1,96 (0,08)	1,04 (0,03)	18	2,00 (0,13)	1,08 (0,06)
3	2,00 (0,15)	1,08 (0,06)	20	2,07 (0,09)	1,11 (0,04)
4	2,10 (0,28)	1,22 (0,08)	<i>B. rondelaudi</i>		
5	2,11 (0,10)	1,11 (0,07)	1	2,67 (0,17)	1,43 (0,06)
6	2,13 (0,19)	1,12 (0,05)	2	2,48 (0,41)	1,33 (0,13)
7	1,96 (0,15)	1,06 (0,07)	<i>B. vimperei</i>		
8	2,11 (0,19)	1,14 (0,05)	1	1,96 (0,08)	1,09 (0,14)
9	2,13 (0,14)	1,11 (0,05)	2	2,32 (0,19)	1,31 (0,08)
10	2,05 (0,19)	1,12 (0,06)	3	2,18 (0,30)	1,25 (0,06)
11	1,10 (0,15)	1,14 (0,07)	4	2,40 (0,30)	1,35 (0,11)
12	2,01 (0,12)	1,27 (0,05)	5	2,38 (0,24)	1,31 (0,07)
13	2,38 (0,21)	1,10 (0,06)	6	2,28 (0,19)	1,16 (0,07)
14	2,10 (0,16)	1,14 (0,07)	7	2,36 (0,16)	1,17 (0,06)
15	2,31 (0,15)	1,27 (0,08)			
16	2,11 (0,26)	1,21 (0,08)			
17	2,13 (0,24)	1,19 (0,06)			

Tableau II. Les dimensions des 29 populations de bythinelles étudiées dans ce travail.

# Discrimination Hauteur-Largeur par département

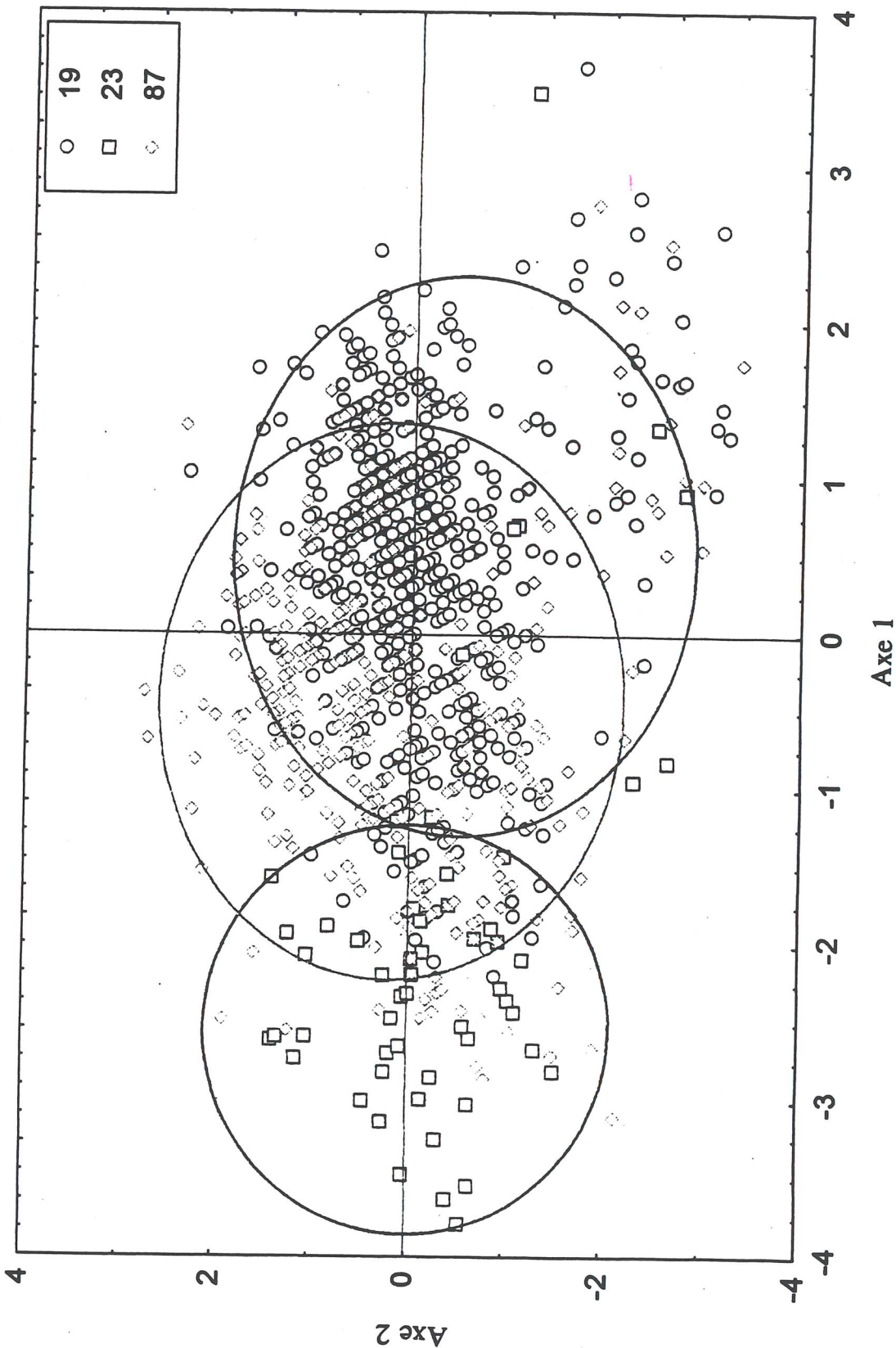


Figure 2. Les résultats fournis par l'analyse factorielle discriminante sur la hauteur de la coquille et la largeur du dernier tour de spire..

## RÉSULTATS

### 1. La localisation des bythinelles.

Vingt-neuf populations de mollusques ont été retrouvées lors de la prospection des 77 ruisseaux. La tableau I indique la commune concernée et le nombre de colonies de bythinelles.

Les populations sont nettement plus nombreuses dans les environs de Tulle que dans les autres secteurs (69 % des ruisseaux au lieu de 18 % dans le secteur étudié dans la Creuse ou dans l'ensemble des secteurs de la Haute-Vienne).

Les 20 populations de la Corrèze appartiennent à l'espèce *B. moulinsi*. Les deux colonies de la Creuse sont des *B. rondelaudi* tandis que les sept de la Haute-Vienne sont des *B. vimperei*<sup>1</sup>.

### 2. Données biométriques.

Les moyennes et les écarts types correspondants sont fournis sur le tableau II. L'analyse de variance montre l'existence de différences significatives entre les populations pour la hauteur de la coquille ( $F = 25,46$ ,  $P < 0,1$  %) comme pour la largeur du dernier tour de spire ( $F = 50,74$ ,  $P < 0,1$  %).

L'examen du test de Scheffé correspondant à la hauteur de la coquille montre que ce sont les deux populations de la Creuse qui tranchent nettement par le nombre de différences significatives entre les moyennes (18 et 24, respectivement, au lieu de 0 à 9 différences pour les 27 autres populations). Les résultats sur la largeur du dernier tour sont plus variables. Si le nombre de différences significatives est également maximal pour les deux colonies de la Creuse (19 et 24 différences significatives), d'autres populations ont aussi un nombre élevé de différences, compris entre 16 et 19 (2 colonies de la Corrèze et 4 de la Haute-Vienne).

### 3. Les résultats de l'analyse discriminante.

La figure 2 montre les résultats de cette étude qui a été réalisée avec les valeurs individuelles que nous avons obtenues en mesurant les 1010 bythinelles.

L'axe 1, avec 53,4 % d'inertie, est significatif ( $\text{Chi}^2 = 359,89$ ,  $P < 0,1$  %). Il en est de même pour l'axe 2 ( $\text{Chi}^2 = 21,62$ ,  $P < 0,1$  %) mais son inertie n'est que de 15,5 %. La somme des deux axes permet d'obtenir une inertie de 68,9 %.

Les deux paramètres étudiés caractérisent surtout l'axe 1 car les coefficients des corrélations inter-classes avec l'axe 1 sont très significatives : -0,9092 pour la hauteur de la coquille et -0,9396 pour la largeur. Par contre, les coefficients des corrélations avec l'axe 2 sont moins importantes : 0,4161 et -0,3421 par ordre respectif.

---

<sup>1</sup> - L'identification a été faite, soit directement par M. Bernasconi pour 13 populations, soit par les soins des auteurs à l'aide du travail de Bernasconi (2000).

Les valeurs des centres de gravité par rapport aux axes discriminants sont fournies sur le tableau suivant :

Groupes (départements)	Axe 1	Axe 2
Corrèze (19)	0,4280	-0,0695
Creuse (23)	-1,9941	-0,3558
Haute-Vienne (87)	-0,3918	0,1802

L'examen de ce tableau montre que le groupe Creuse (cercle rouge sur la fig. 2) est celui qui possède globalement les individus les plus hauts et les plus larges. Les groupes Corrèze et Haute-Vienne (cercles bleu et vert) se superposent partiellement et les individus sont globalement moins hauts et moins larges que ceux de la Creuse. Cependant, entre les groupes Corrèze et Haute-Vienne, il n'est pas possible de discriminer les deux types de populations.

Le tableau ci-dessous précise l'affectation des 1010 bythinelles dans les différents groupes (ou départements). Dans le cas de la Corrèze, 87,1 % des bythinelles sont bien classées. Par contre, les mollusques des deux autres départements sont moins bien affectés : 43,3 % dans le cas de la Creuse et 41,4 % dans le cas de la Haute-Vienne.

Groupe (département)	Corrèze	Creuse	Haute-Vienne
Corrèze	523 (87,1 %)	2	75
Creuse	8	26 (43,3 %)	26
Haute-Vienne	188	17	145 (41,4 %)

Rang : classification observée. Colonne : classification prévue.

## DISCUSSION

La fréquence des populations de bythinelles varie selon le secteur d'étude. Si 69 % des ruisseaux sont colonisés dans les environs de Tulle, les chiffres se distribuent entre 11 et 33 % sur les zones prospectées dans la Creuse et la Haute-Vienne. Ils concordent aussi avec le pourcentage que Didier et Rondelaud (1988) ont rapporté dans les sources situées au nord de la Haute-Vienne (soit 18,7 %). L'interprétation de ces résultats est assez difficile à réaliser. Une première explication serait de rapporter ces chiffres à la concentration plus faible en ions calcium dissous dans l'eau de ruissellement (de 5,7 à 26,8 mg/L d'après Guy, 1996, pour le nord de la Haute-Vienne par exemple) et, donc, à des conditions qui sont plutôt défavorables pour la vie des mollusques mais cette supposition cadre mal avec l'absence des mollusques dans certains cours d'eau alors que des ruisseaux voisins sont colonisés par des bythinelles (Giry, 2000). Une autre hypothèse, peut-être complémentaire de la précédente, serait de rapporter ces chiffres à l'espèce de la bythinelle. En effet, si *B.*



*rondelaudi* semble être un taxon assez localisé, il n'en est pas de même pour *B. moulinsi* et *B. vimperei* qui ont une distribution plus étendue sur d'autres départements français (Bernasconi, 2000). Dans ces conditions, on peut se demander si ces bythinelles n'auraient pas colonisé activement les sources du Limousin dans une première étape (par un moyen qui reste à préciser) et que la présence des quelques populations actuelles proviendrait d'une adaptation de celles-ci aux conditions de ce milieu particulier. Cette hypothèse s'appuie en grande partie sur les observations que Vareille-Morel (1986) a rapportées sur la colonisation du Limousin par un autre Hydrobiidé, à savoir *Potamopyrgus antipodarum*.

Les données biométriques montrent que les dimensions des *B. moulinsi* adultes présentent une assez grande homogénéité en fonction des populations de la Corrèze car 17 d'entre elles, sur les 20 étudiées, sont bien classées. Par contre, on note une plus grande hétérogénéité dans les valeurs recueillies pour *B. rondelaudi* et *B. vimperei*. Au vu de ces données, la simple biométrie de la coquille ne semble pas être un critère suffisant pour effectuer la diagnose de l'espèce pour une population de bythinelles, tout au moins dans le cas de la Creuse et de la Haute-Vienne. Bernasconi (2000) se sert, en effet, des caractéristiques de l'appareil génital mâle, de la structure de la radula et du nombre de lamelles branchiales sur le cténidium pour affiner l'identification de chaque espèce. Comme les bythinelles présentent des individus mâles et d'autres femelles (sexes séparés), il nous paraît intéressant de rechercher des critères supplémentaires pour effectuer la diagnose de ces espèces, en se basant, par exemple, sur la composition et la structure de chaque population ou encore sur les caractéristiques physico-chimiques de l'habitat pour chaque colonie.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude à M. le Dr. R. Bernasconi (Suisse) pour l'identification de 13 populations de bythinelles concernées par ce travail. Leurs remerciements vont également à M. le Dr. A. Bertrand, Laboratoire Souterrain de Moulis (Ariège).

#### BIBLIOGRAPHIE

- BERNASCONI R., 2000. - Révision du genre *Bythinella* (Moquin-Tandon, 1855) (Gastropoda Prosobranchia Hydrobiidae : Amnicolinae Bythinellini) de la France du Centre-Ouest, du Midi et des Pyrénées. *Doc. Malacol., N.S., 1* : 1-126.
- 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.
- GERMAIN L., 1930/1931. - Mollusques terrestres et fluviatiles. Faune de France, tome 21. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris, 893 p.

- GIRY P., 2000. - Les bythinelles (Mollusques) dans la région du Limousin. Études biométriques et écologiques. Thèse Doct. Pharmacie, Limoges, n° 343, 77 p.
- 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.
- LEBART L., MORINEAU A. & PIRON M., 1995. - Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod, Paris, 439 p.
- MOUThON J., 1981. - Typologie des mollusques des eaux courantes. Organisation biotypologique et groupements socio-écologiques. *Ann. Limnol.*, 17 : 145-162.
- STAT-ITCF, 1988. - Manuel d'utilisation. Institut Technique des Céréales et des Fourrages, Service des Études Statistiques, Boigneville, 210 p.
- VAREILLE-MOREL C., 1986. - Contribution à l'étude écologique et écophysiological du Mollusque Prosobranch *Potamopyrgus jenkinsi* (E.A. Smith, 1889) dans la région Dordogne-Haute-Vienne. Thèse Doct. ès-Sci. Nat., Limoges, n° 6, 248 p.

## 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 les 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.