

Jos.A.MASSARD & Gaby GEIMER

The cover features a large abstract graphic on the left side. It consists of several concentric circles in shades of green and yellow, with a white circle at the center. A thick white arrow points from the right towards the circles. Several other arrows in green, yellow, and black point towards the circles from the right. On the left side, several vertical arrows in black, yellow, green, and white point upwards towards the circles. The background is a solid yellow color with a brown border at the top and bottom.

# Initiation à l'écologie

ED/ES 133-01

Ministère de l'Education Nationale

# **INITIATION À L'ÉCOLOGIE**

**Principes généraux de l'écologie et  
notions sur le milieu naturel luxembourgeois  
ainsi que sur les problèmes de l'environnement au  
Grand-Duché de Luxembourg.**

**Jos. A. MASSARD  
&  
Gaby GEIMER**



**DEUXIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE  
ED / ES / 133-01**

**Manuel à l'usage des élèves du cycle supérieur de l'enseignement secondaire**

**SIRP - Commission nationale pour les programmes de biologie  
Ministère de l'Éducation Nationale  
Luxembourg  
1993**

**Composition, graphiques et mise en page par les auteurs.  
Page de couverture par Fernand Berg, professeur au Lycée  
Classique d'Echternach.**

# PRÉFACE

L'école n'a pas pu ni voulu se soustraire à la prise de conscience des graves dangers que l'action de l'Homme fait courir à notre environnement naturel. Au plus tard dès la fin des années soixante, l'enseignement, et en particulier celui de la biologie, a veillé à intégrer dans ses programmes les notions indispensables à la compréhension des interrelations fondamentales et complexes qui existent dans la biosphère, et dont l'Homme dépend au même titre que les autres êtres vivants.

En 1970, la première «*Année européenne de la Nature*» a incité nos instances gouvernementales à exalter le rôle que l'école est appelée à jouer dans ce domaine. Dans un numéro spécial que le *Courrier de l'Education nationale* a consacré en janvier 1971 à la conservation de la nature, le Ministre de l'Education nationale Jean Dupong, a insisté sur l'obligation des gouvernements de développer et d'améliorer à tous les niveaux l'information et l'éducation en matière d'environnement. Il a plus particulièrement invité «*les membres du personnel enseignant à bien vouloir sensibiliser les enfants aux nombreux et graves problèmes que pose la conservation de la nature et à leur faire comprendre la valeur d'un environnement sain où il fait bon vivre*».

En 1974, dans numéro spécial du *Courrier de l'Education nationale* consacré à l'étude et à la protection de l'environnement, le même ministre a tenu à souligner qu'il lui paraissait nécessaire «*de fournir aux enfants et aux jeunes des informations objectives sur l'écologie et les problèmes de l'environnement*». En outre, il s'est montré préoccupé par la question de la formation des enseignants auxquels «*devra être fournie la possibilité de se préparer à cette tâche*».

Le 20 janvier 1975 fut créé le *Centre d'écologie de Hollenfels*, ceci sur la base d'une convention entre le Ministère de l'Education nationale, le Ministère de l'Intérieur, la Centrale des Auberges de Jeunesse et la Ligue luxembourgeoise pour la protection de la Nature. Ce centre a été chargé d'organiser des activités de formation, d'éducation, de loisirs, de recyclage et d'initiation à la nature, ceci, en ce qui concerne l'enseignement postprimaire, en étroite collaboration avec la *Commission nationale pour les programmes de biologie de l'enseignement secondaire*. Celle-ci a d'ailleurs été parmi les instigateurs de la création du centre qu'elle a rendu opératoire par l'introduction d'un stage écologique de deux jours pour les classes de III<sup>e</sup> C d'antan.

C'est la même commission qui a été à l'origine de la publication du premier manuel consacré à l'écologie et à l'étude de l'environnement du Luxembourg: l'«*Initiation à l'écologie*» parue en 1983 et qui a recueilli de flatteuses critiques bien au-delà de nos frontières.

Depuis lors, la réforme du cycle supérieur de l'enseignement secondaire a supprimé la classe de III<sup>e</sup> C avec ses trois leçons de biologie par semaine. L'enseignement de l'écologie ne peut plus être pratiqué en bloc compact. Les cours à option de IV<sup>e</sup> et le programme de II<sup>e</sup> C lui servent désormais de refuge. Un nouveau créneau s'est peut-être ouvert avec les cours interdisciplinaires prévus en I<sup>ère</sup> C dès la rentrée 1993/94. C'est dans ce contexte général que se situe la présente deuxième édition de l'«*Initiation à l'écologie*».

L'esprit du livre n'a pas changé; l'idée directrice de la première version a été maintenue:

- offrir une vue d'ensemble de l'écologie générale, tout en l'illustrant au maximum par des exemples choisis au Luxembourg ou du moins applicables à nos régions;
- offrir un aperçu clair, bien documenté et actualisé au maximum sur le milieu naturel luxembourgeois et les problèmes d'environnement qui s'y posent.

De nombreux encarts permettent de jeter un coup d'oeil sur des aspects plus spéciaux, parfois inattendus, souvent historiques ou anecdotiques. Certains de ces encarts comportent des textes en allemand, en anglais ou en luxembourgeois, voire même quelques vers latins. Les auteurs ont voulu ainsi souligner le traditionnel caractère polyglotte de notre enseignement. En même temps, ils essaient de faire comprendre aux élèves des sections scientifiques que la maîtrise des langues représente un atout d'une importance capitale dans l'Europe en construction et qu'une bonne culture générale devra faire partie du bagage intellectuel de tout scientifique.

L'ouvrage est fondamentalement conçu comme manuel scolaire: sa structure, sa présentation et son style en témoignent. En plus, par sa syntaxe et son vocabulaire, il tente de tenir compte, dans la mesure du possible, de la situation linguistique bien particulière des élèves luxembourgeois dont l'enseignement se déroule à tous les niveaux dans une langue étrangère - l'allemand ou le français - alors que leur langue maternelle est le luxembourgeois. L'adjonction de la traduction allemande de certains termes français reflète ce bilinguisme spécifique des élèves luxembourgeois.

Dans de nombreux chapitres, le livre dépasse néanmoins le cadre d'un simple manuel scolaire. Il pourra servir comme livre de référence aux enseignants de tous les ordres d'enseignement, ainsi qu'à toute personne désireuse de se renseigner sur le milieu naturel et l'environnement luxembourgeois. Il constitue, en effet, une source de documentation rassemblant une foule de renseignements dispersés, voire même inédits, et découlant alors des recherches personnelles des auteurs dans le domaine de l'histoire des faune et flore indigènes ainsi que de l'histoire des sciences au Luxembourg.

Ce caractère de livre de référence sur l'environnement luxembourgeois est encore souligné par la vaste bibliographie en fin de volume et l'index alphabétique détaillé comportant plus de 1.800 mots clés.

Finalement, afin d'éviter tout malentendu, les auteurs tiennent à souligner que si parfois ils ont recours à des données qui peuvent paraître dépassées par l'évolution, c'est qu'elles sont aptes à illustrer des phénomènes écologiques de base et gardent ainsi toute leur valeur didactique.

Le 18 février 1993, une version provisoire de l'ouvrage a été présentée aux membres de la *Commission nationale pour les programmes de biologie*. La version définitive a été terminée en juin 1993.

Les auteurs voudraient rendre hommage au président et aux membres de la *Commission nationale pour les programmes de biologie* ainsi qu'à la responsable du *Centre d'écologie de Hollenfels* qui les ont incité à entreprendre l'onéreux travail de la rédaction de cette seconde édition. D'autre part, ils tiennent à remercier toutes les personnes qui leur ont aimablement fourni des renseignements ou des documents ou qui ont relu certaines pages du manuscrit, en particulier: M. le Prof. Dr. *Ragnar Kinzelbach* (TH Darmstadt), M. *Paul Hansen*, Mme *Monique Back*, MM. *Théo Weber* et *Claude Geimer* (Administration de l'Environnement), M. *Aloyse Puraye* (Administration des services techniques de l'Agriculture), M. *Jean-Pierre Petesch* (chef de service du SIDOR), MM. *Ady Krier* et *Jean-Marie Sinner* (Administration des Eaux et Forêts). La version définitive du texte relève cependant de la seule responsabilité des auteurs.

Les auteurs doivent ensuite un merci spécial à leur collègue *Edmond Neu*, professeur de chimie au Lycée Classique d'Echternach, qui s'est astreint à l'âpre besogne de la correction de la première version du manuscrit, et à leur collègue *Fernand Berg*, professeur d'éducation artistique au même lycée, qui a conçu la couverture de cette deuxième édition, tout comme il l'avait déjà fait pour la première.

Les auteurs

Echternach, 14 juin 1993.

# 1. INTRODUCTION



Conseil de l'Europe (1989)

## 1.1. Définition

L'*écologie* (gr.: *oikos* = maison; gr.: *logos* = étude, *Haushaltslehre*) est la branche de la biologie qui a pour objet l'étude des rapports des êtres vivants entre eux et avec leur milieu naturel.

Le terme a été créé en 1866 par le biologiste allemand Ernst HAECKEL (1834-1919) qui a défini l'«écologie» de la manière suivante:

*«Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle Existenzbedingungen rechnen können.»*

L'écologie est une science de synthèse qui se situe au carrefour de nombreuses autres disciplines (fig. 2).

L'écologie étudie la Nature au sens le plus large; elle n'est donc pas synonyme de «science de l'environnement» qui s'occupe essentiellement de l'action de l'Homme sur la Nature et des conséquences qui en résultent.

Elle n'est pas non plus à confondre avec l'*écologisme* comme mouvement politique auquel se réfèrent les «verts» ou les «écologes».

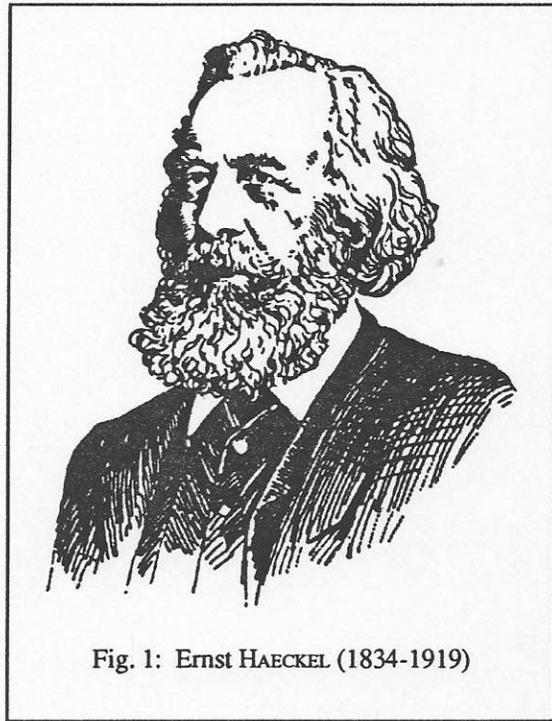
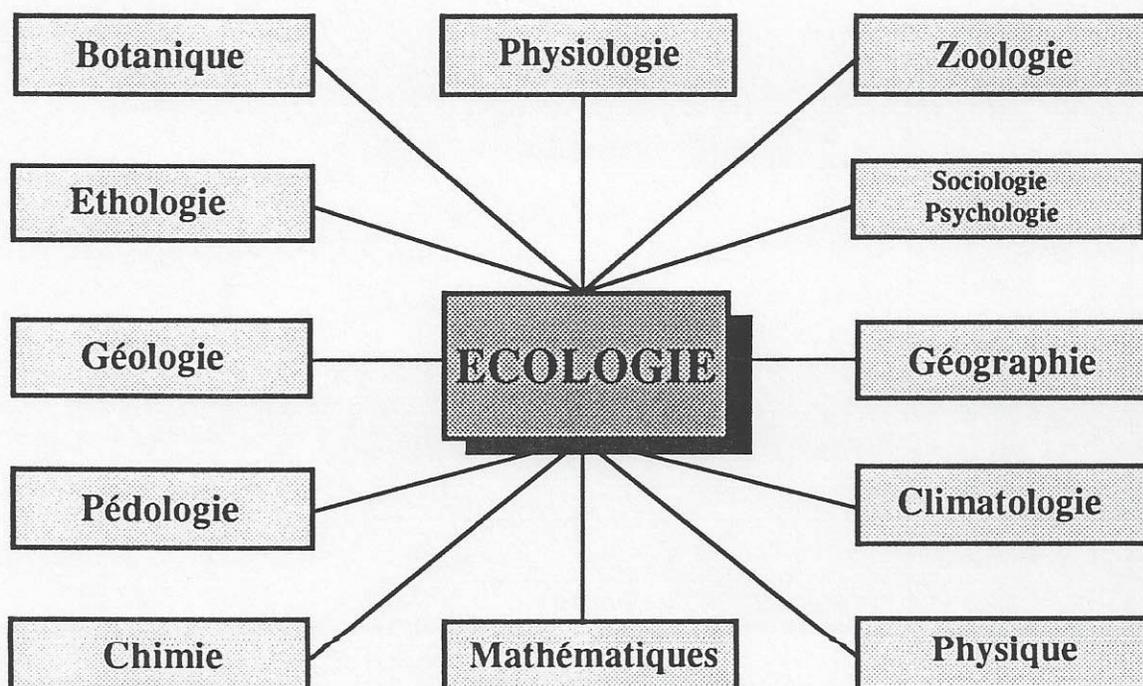


Fig. 1: Ernst HAECKEL (1834-1919)

Fig. 2: Aperçu sur les disciplines se rattachant à l'écologie.



## 1.2. Le milieu et les facteurs écologiques

Le milieu est formé par l'ensemble des facteurs écologiques dont dépend l'existence d'un être vivant:

- facteurs abiotiques (non liés à la vie):
  - *facteurs climatiques*:
    - température,
    - lumière,
    - humidité de l'air,
    - vent, etc.
  - *facteurs orographiques* (gr.: *oros* = montagne):
    - relief,
  - *facteurs édaphiques* (gr.: *edaphos* = sol):
    - sol (organismes terrestres),
    - eau (organismes aquatiques);
  
- facteurs biotiques (liés à la vie):
  - *relations interspécifiques* (entre espèces différentes):
    - compétition interspécifique,
    - prédation,
    - parasitisme,
    - commensalisme,
    - symbiose,
  - *relations intraspécifiques* (à l'intérieur de la même espèce):
    - compétition intraspécifique,
    - formation de couples,
    - relation parent-enfant,
    - relations sociales.

Fig. 3:  
Facteurs  
écolo-  
giques  
agissant  
sur un  
animal  
(d'après  
Knodel &  
Kull, 1973,  
modifié)

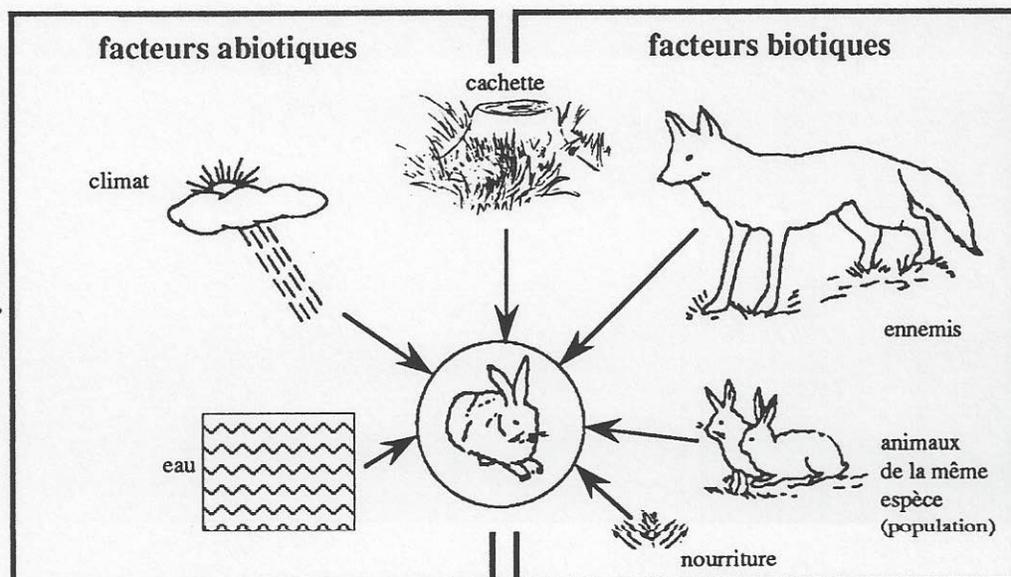
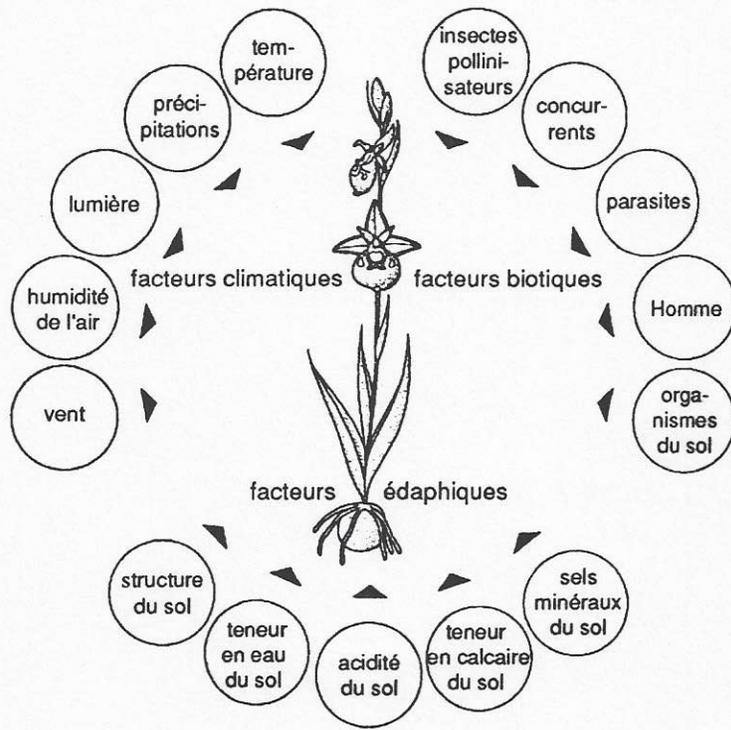
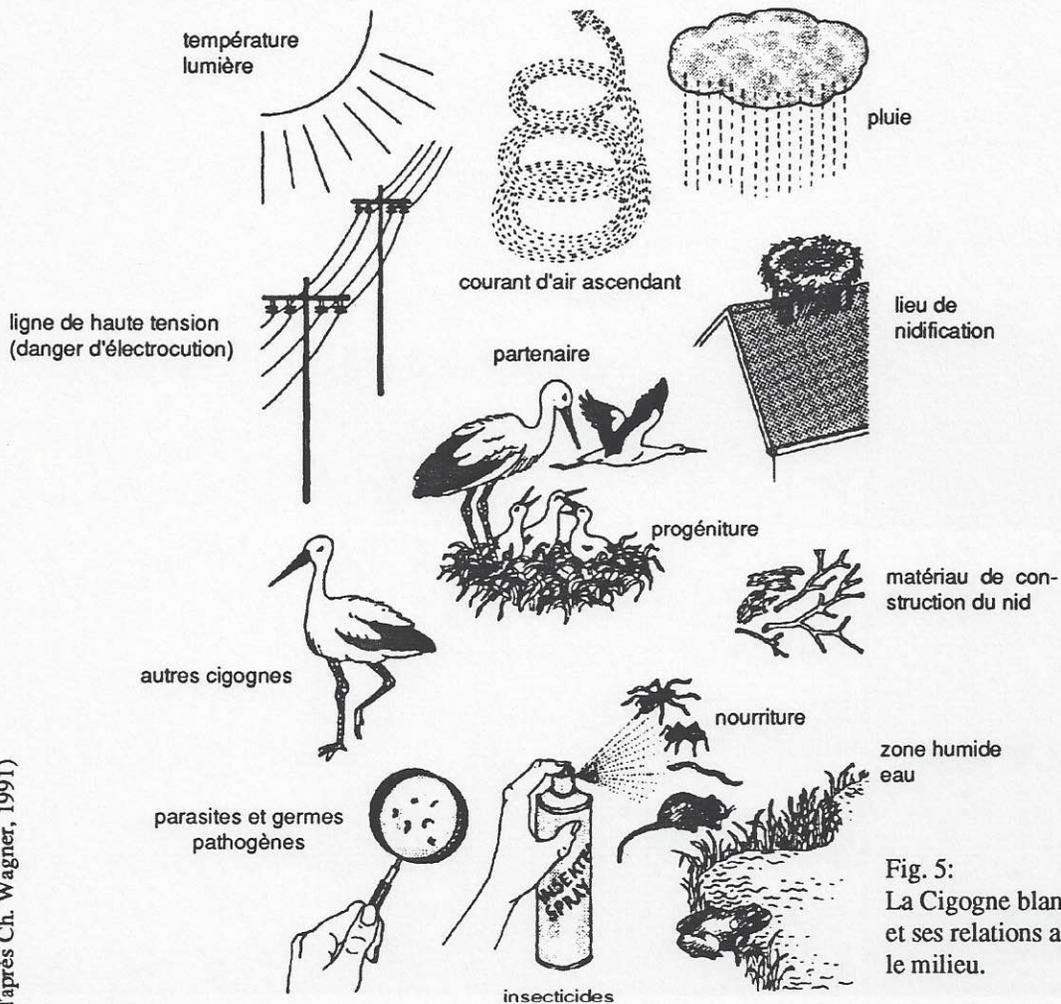


Fig. 4: Facteurs du milieu agissant sur une plante: exemple de l'Orchidée *Ophrys bourdon* (all.: Hummel-Ragwurz, lux.: Juddegesicht, *Ophrys holosericea* = *Ophrys fuciflora*).



(d'après Wildermuth, 1986)



(d'après Ch. Wagner, 1991)

Fig. 5: La Cigogne blanche et ses relations avec le milieu.

## 1.3. La notion d'écosystème

### Définitions

□ **Le biotope** (gr.: *topos* = l'endroit, la place):

L'ensemble des constituants inorganiques et des facteurs climatiques d'un milieu donné, d'étendue généralement limitée, constitue le biotope.

□ **La biocénose** (gr.: *koinos* = ensemble):

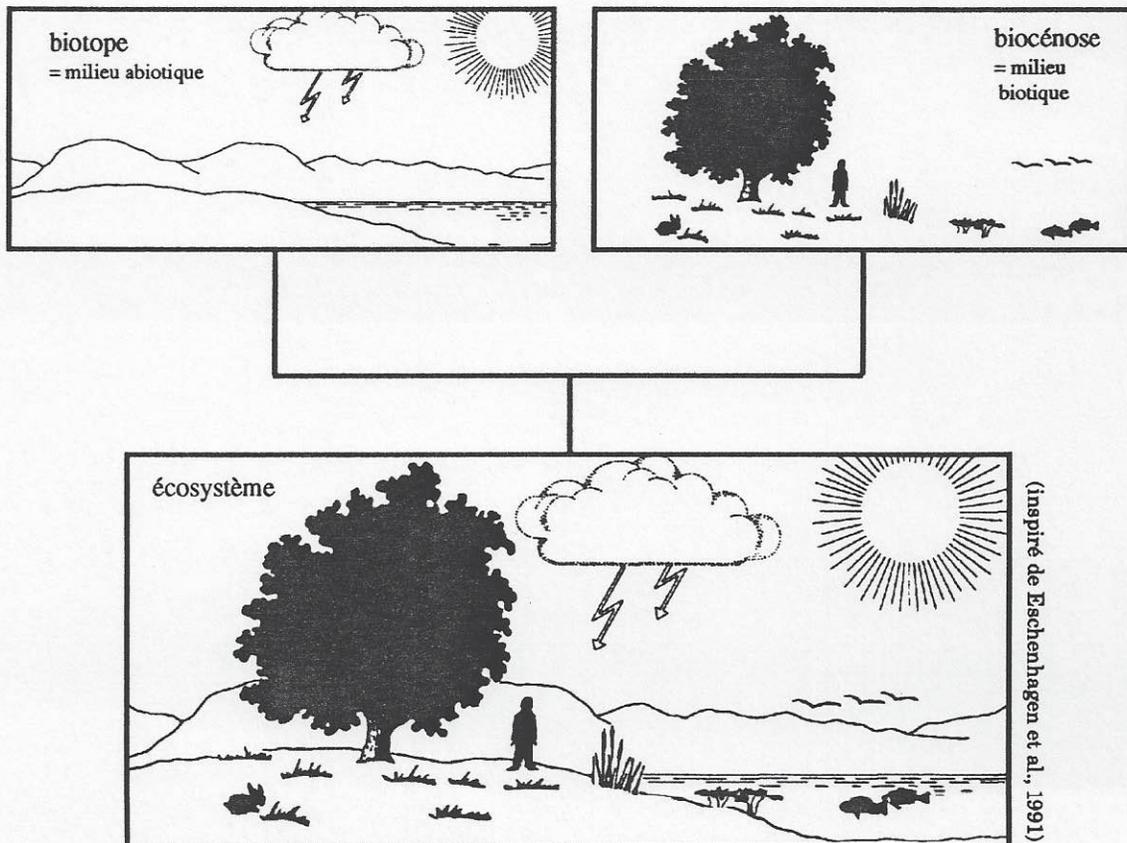
L'ensemble des espèces végétales et animales qui vivent dans un biotope forment une *communauté biologique* ou *biocénose* (*Biozönose*, *biotic community*).

A l'intérieur de la biocénose peuvent se former des ensembles parfois très restreints, par exemple: les organismes vivant dans un tronc d'arbre en décomposition. On les appelle des *synusies*.

□ **L'écosystème:**

Le biotope et la biocénose qui l'occupe forment un écosystème, par exemple: une forêt, une prairie, un étang.

Fig. 6: La structure de l'écosystème.



## □ La biosphère:

L'ensemble des écosystèmes constitue la biosphère, c.-à-d. la partie de notre planète qui est habitée par des organismes vivants.

La biosphère englobe :

- la partie inférieure de l'*atmosphère* (troposphère),
- l'*hydrosphère* (ensemble des océans et des eaux continentales),
- la *pédosphère* (ensemble des sols),
- la partie supérieure de la *lithosphère* (ensemble des roches).

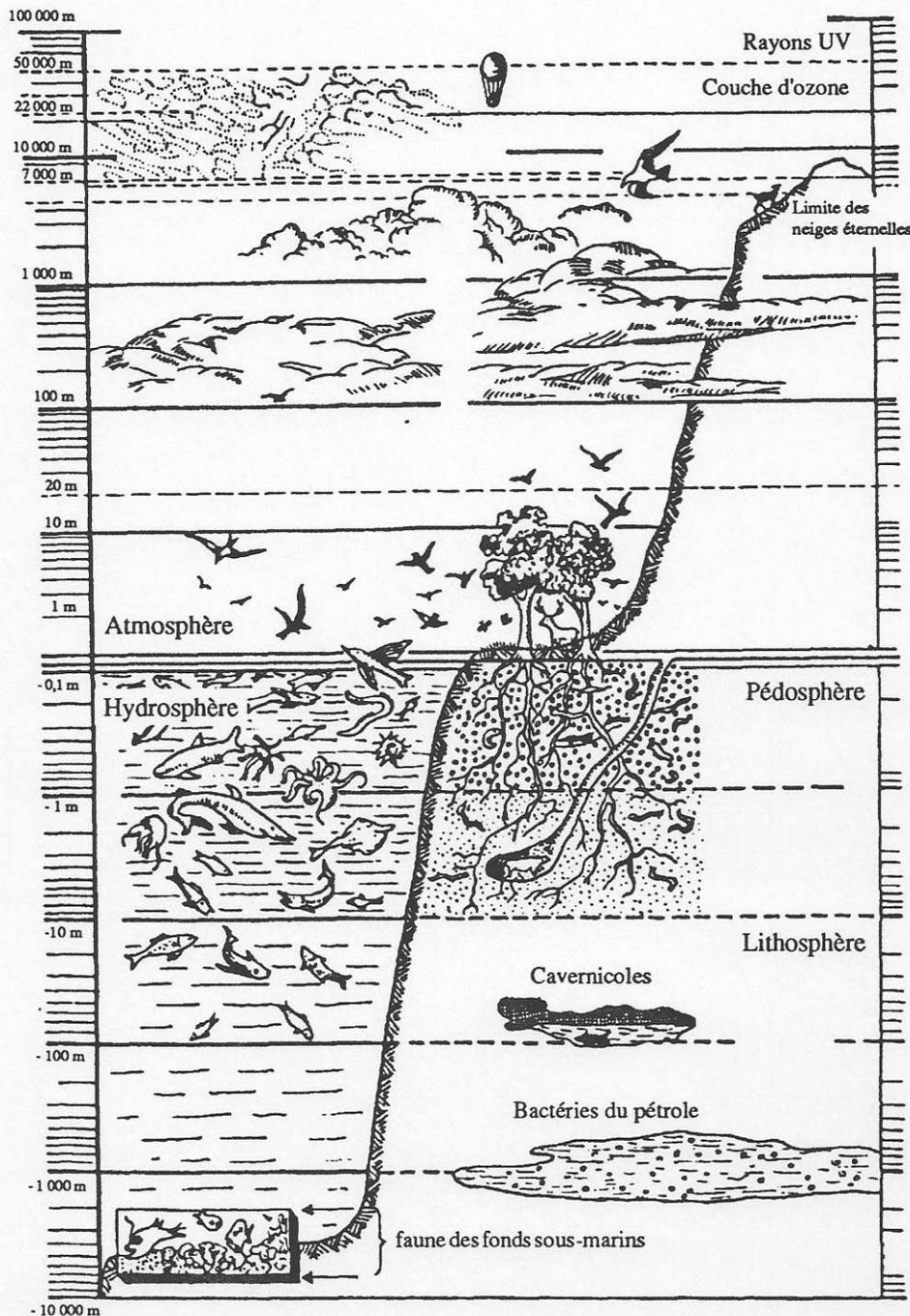
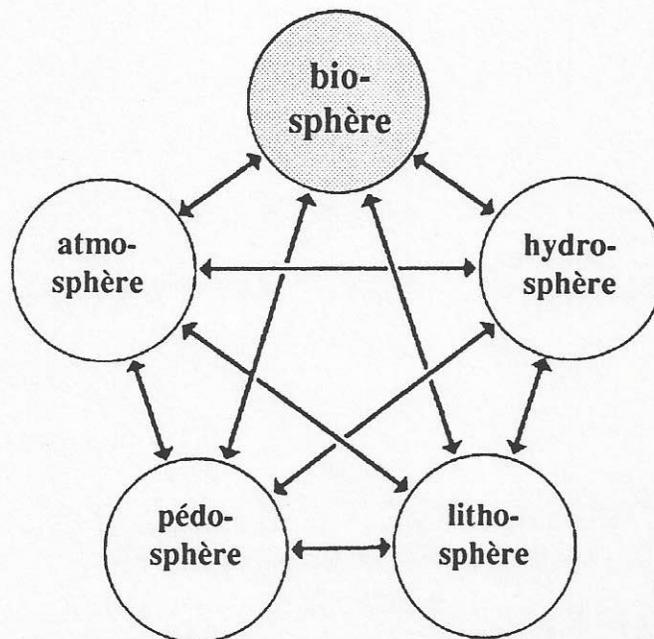


Fig. 7: Répartition spatiale des êtres vivants dans la biosphère.  
(échelle logarithmique; d'après Stugren, 1978)

La subdivision que nous venons de voir se superpose avec les sciences classiques que sont la météorologie (étude scientifique des phénomènes atmosphériques), l'hydrologie (étude des eaux), la pédologie (étude des sols) et la géologie (étude de la structure et de l'évolution de l'écorce terrestre).

La biosphère quant à elle fait l'objet d'étude de la biologie.

Fig. 8: La biosphère et ses relations avec les différents compartiments de la Terre.

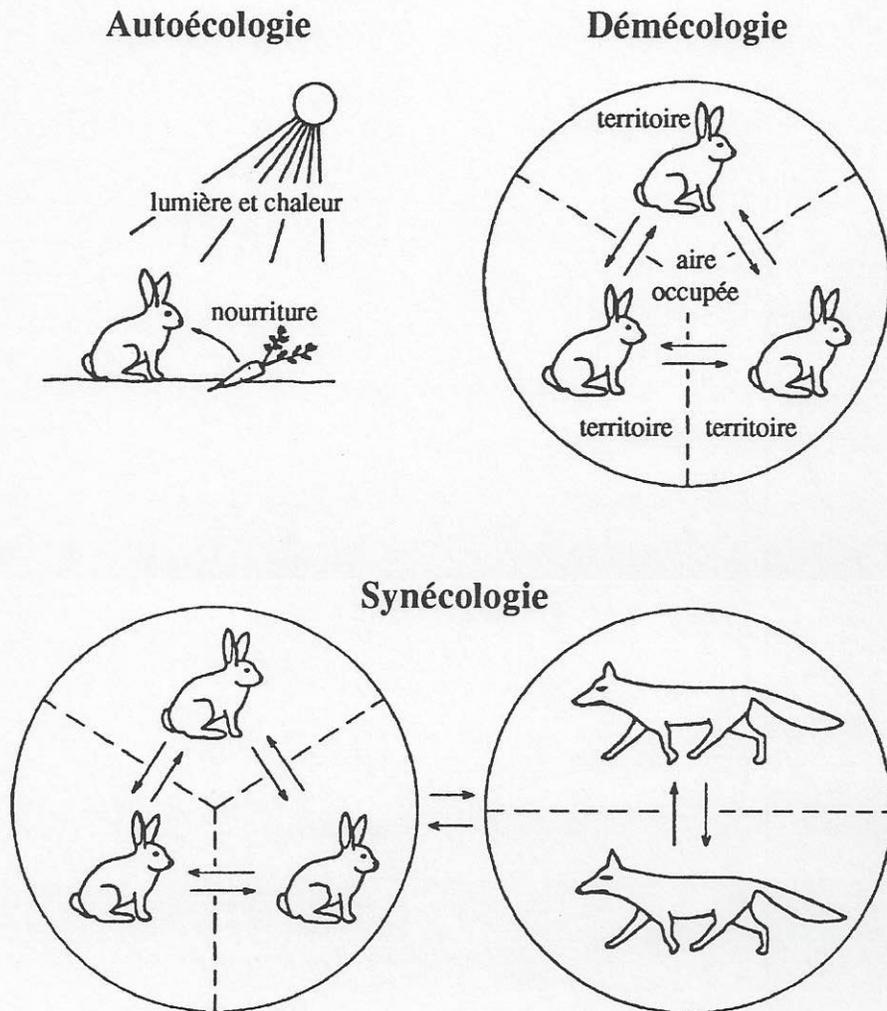


## 1.4. Subdivision de l'écologie

Classiquement, l'écologie est subdivisée en:

- *Autoécologie* : étudie les rapports des organismes individuels avec leur milieu.
- *Démécologie* : étudie les rapports d'une population (ensemble d'individus de la même espèce) avec son milieu; = *écologie des populations* (*Populationsökologie*).
- *Synécologie* : étudie les rapports de l'ensemble des espèces avec leur milieu.

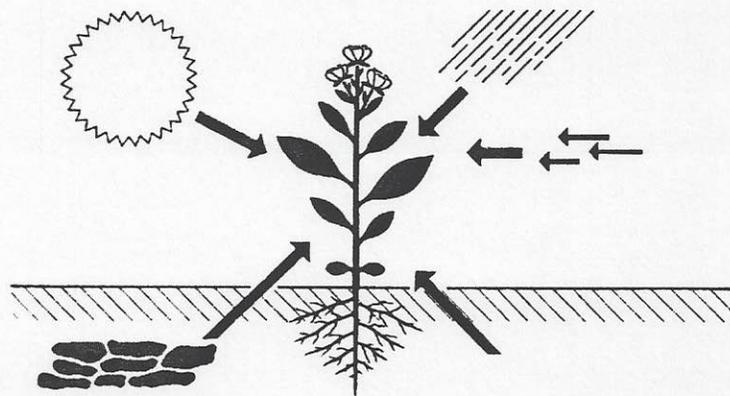
Fig. 9: Schéma des différentes disciplines de l'écologie.



(d'après Fellenberg, 1985)

## 2. AUTOÉCOLOGIE

### 2.1. Facteurs abiotiques



## 2.1.1. La température

### 2.1.1.1. Température interne des organismes et température externe du milieu

Chez la majeure partie des êtres vivants, la température interne varie en fonction de la température externe. C'est le cas des végétaux et de la majeure partie des animaux. Ce sont des organismes *poikilothermes* (*wechselwarm*, gr.: *poikilos* = variable). La vie active de la plupart de ces êtres vivants est liée à des températures situées entre 0°C et 40 à 50°C.

Seuls les Oiseaux et les Mammifères sont devenus indépendants de la température externe par l'acquisition d'une température interne constante. Ce sont des organismes *homéothermes* (*gleichwarm*, gr.: *homos* = semblable).

Cette subdivision recoupe une autre terminologie qui distingue entre organismes *ectothermes* (dont la source de chaleur est externe) et organismes *endothermes* (produisant leur chaleur eux-mêmes).

### 2.1.1.2. Action de la température sur le métabolisme

La température agit sur toutes les réactions chimiques qui se déroulent dans les êtres vivants. Cette action se situe dans le cadre de la zone des *températures dites «biologiques»*. Aux basses températures, le métabolisme et, par suite, le développement ou la croissance sont ralentis.

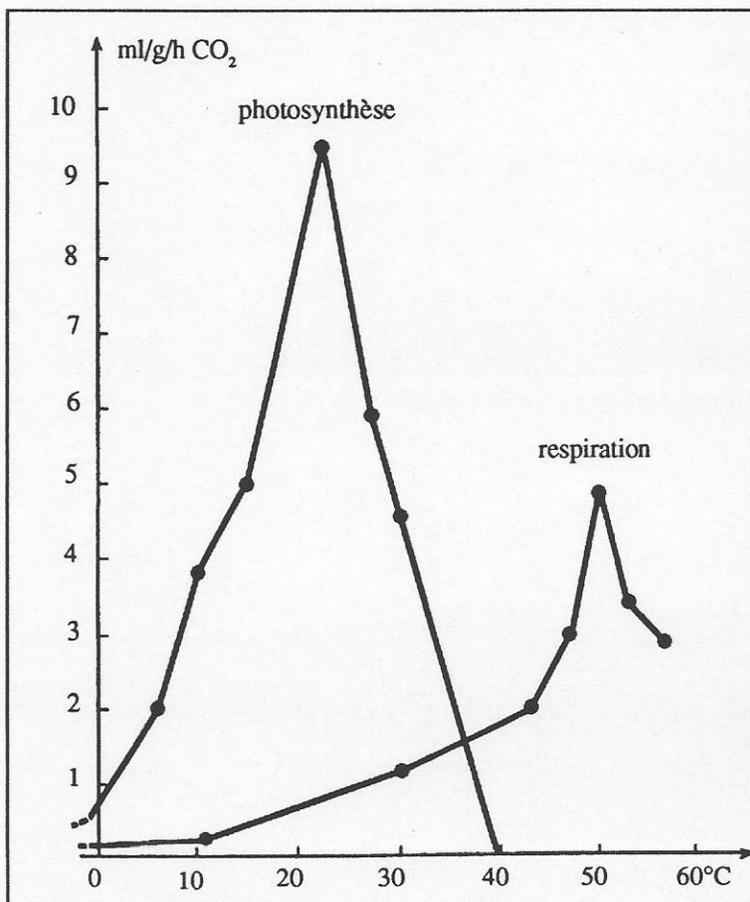


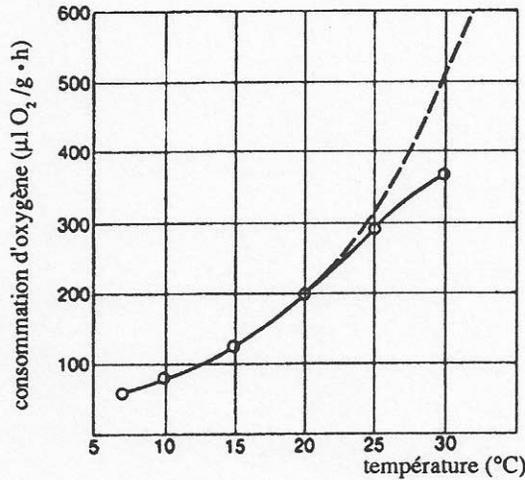
Fig. 10: Influence de la température sur l'intensité de la photosynthèse et de la respiration chez la Pomme de terre.

Les deux intensités sont exprimées en millilitres de CO<sub>2</sub> absorbé (photosynthèse) ou rejeté (respiration) par gramme de feuilles et par heure.

En ce qui concerne les plantes, on peut définir pour chaque espèce un *zéro de croissance* au-dessous duquel la croissance est pratiquement arrêtée. Celui-ci se situe à 0° C pour le Blé et à +10° C pour le Maïs.

L'influence de la température sur le métabolisme des animaux est illustrée par la fig. 11.

Fig. 11: La consommation d'oxygène chez le Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*, Kartoffelkäfer, Colorado beetle) en fonction de la température (d'après Begon et al., 1990).



La consommation d'oxygène s'accroît avec la température. Aux températures faibles et moyennes le taux d'augmentation de la consommation d'oxygène est approximativement de 2,5 pour une augmentation de la température de 10°C (à rapprocher de la loi de van't Hoff !). Au-delà d'une certaine valeur, l'augmentation du taux de consommation de l'oxygène est freinée.

La ligne interrompue du graphique correspond à la courbe théorique qui aurait été obtenue si le taux d'augmentation de 2,5 avait pu se maintenir.

### 2.1.1.3. La température et la morphologie des animaux homéothermes

Chez un animal homéotherme, la perte de chaleur est fonction de la surface corporelle; par contre, la production de chaleur due au métabolisme est fonction du volume de l'animal.

Or, géométriquement parlant, la surface varie à la puissance 2, le volume à la puissance 3. Donc, par rapport au volume du corps, la surface corporelle d'un animal de grande taille est faible; les pertes de chaleur de cet animal sont également relativement faibles. La surface corporelle d'un animal de petite taille est relativement grande par rapport au volume du corps; ses pertes de chaleur sont donc importantes par rapport à sa taille.

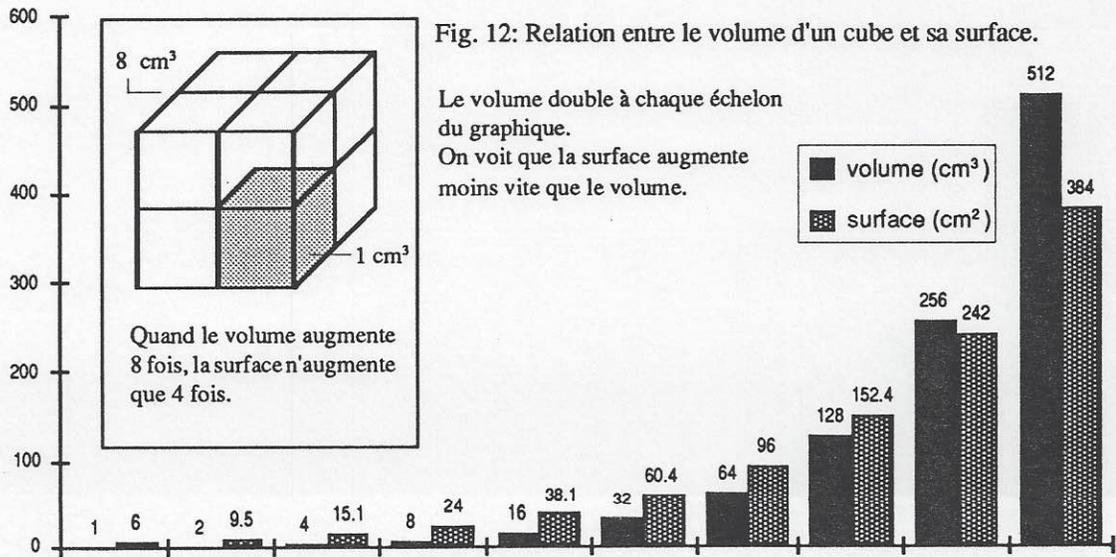


Fig. 12: Relation entre le volume d'un cube et sa surface.

Le volume double à chaque échelon du graphique. On voit que la surface augmente moins vite que le volume.

Ces relations entre le volume et la surface permettent d'expliquer les deux règles écologiques suivantes qui s'appliquent aux homéothermes:

### □ Règle de BERGMANN (1847)

Les représentants des races d'une même espèce ou d'espèces apparentées qui vivent dans les régions froides sont généralement plus grands que ceux qui habitent les régions chaudes.

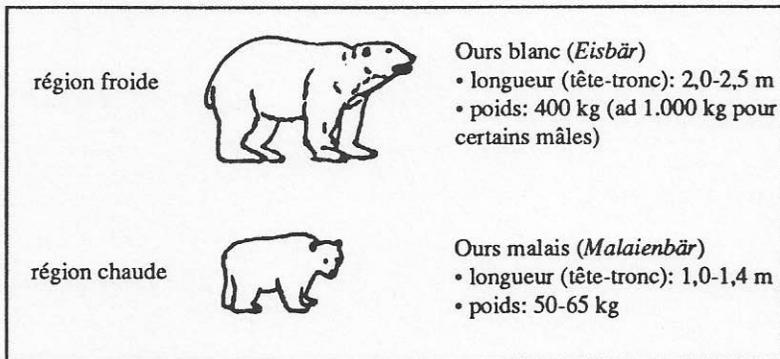


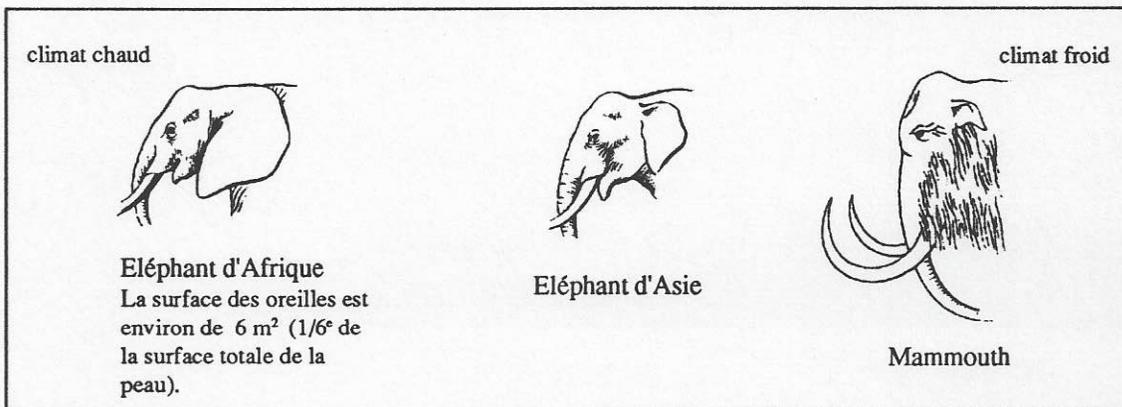
Fig. 13: La règle de BERGMANN illustrée par l'exemple des Ours.

«Verwandte Arten bringen in kalten Klimabereichen im Durchschnitt größere Lebewesen hervor als in wärmeren Gebieten» (Bergmann, 1847).

### □ Règle d'ALLEN (1877)

Les parties exposées du corps (oreilles, queue, bec, etc.) sont généralement plus petites chez les espèces des régions froides que chez les espèces apparentées des régions chaudes.

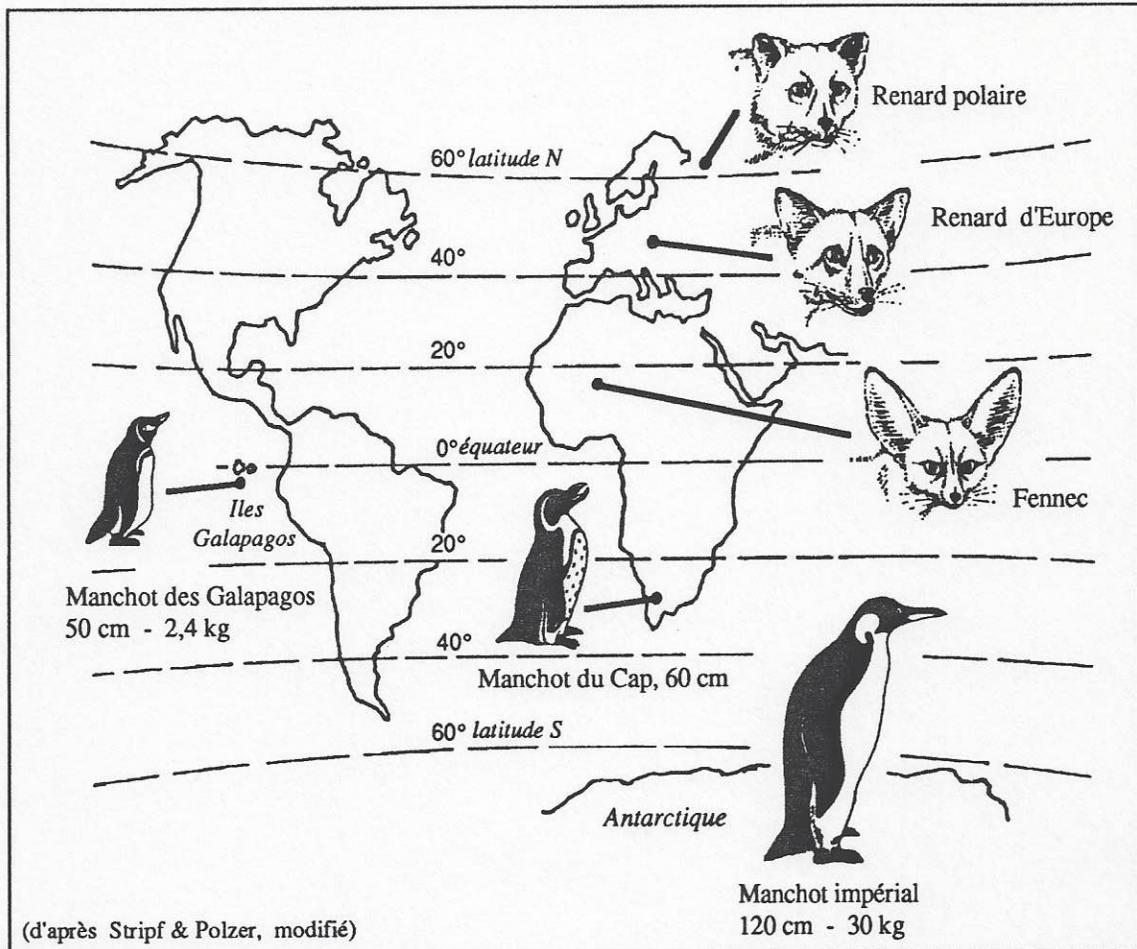
Fig. 14: La règle d'ALLEN illustrée par l'exemple des Eléphants actuels et du Mammouth.



Carl G. L.C. BERGMANN (1814-1865), a été professeur à Göttingen et à Rostock; il est l'auteur de l'ouvrage «*Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Größe*» (1847) dans lequel sa règle a été formulée. Il a introduit en biologie les termes de «*gleichwarm (homoïtherm)*» et «*wechselwarm (poïkilotherm)*».

Joel Asaph ALLEN (1838-1921) était un zoologiste et systématicien américain qui, entre autres, a étudié l'influence des conditions climatiques sur la longueur du bec et des ailes des Oiseaux. Parmi ses nombreuses publications figure l'article «*The influence of physical conditions in the genesis of species*» (1877) dans lequel sa règle est explicitée.

Fig. 15: Illustration de la règle de BERGMANN (exemple des Manchots) et de la règle d'ALLEN (exemple des Renards).



### Les limites de l'homéothermie

Plus la taille d'un homéotherme est petite, plus celui-ci doit produire de l'énergie pour compenser ses pertes de chaleur, et plus il doit donc manger.

Chez les Mammifères, la limite inférieure est frôlée par le *Pachyure étrusque* (*Suncus etruscus*, Etruskerspitzmaus), le plus petit Mammifère d'Europe, dont le poids est de  $\pm 2$  g. C'est l'un des plus petits Mammifères du Monde. En Europe, on trouve le *Pachyure* dans les régions méridionales, telles le Sud de la France, l'Espagne, l'Italie (nom!), les Balkans, la Grèce. Il consomme en quelques heures son propre poids en insectes, araignées, lombrics. Il meurt de faim quand il est maintenu sans nourriture pendant plus de 10 heures.

Le plus petit Mammifère connu a été découvert en 1973 en Thaïlande. Il s'agit d'une Chauve-souris (*Craseonycteris thonglongyai*, Schweinsnasenfledermaus, Butterfly bat, Bumblebee bat) qui atteint une longueur de 3 cm pour un poids de 1,5-3 g.

Chez les Oiseaux, certains *Colibris* ou *Oiseaux-Mouches*, dont le plus petit a la taille d'un bourdon, se trouvent dans une situation analogue.

### 2.1.1.4. La température et la répartition des êtres vivants

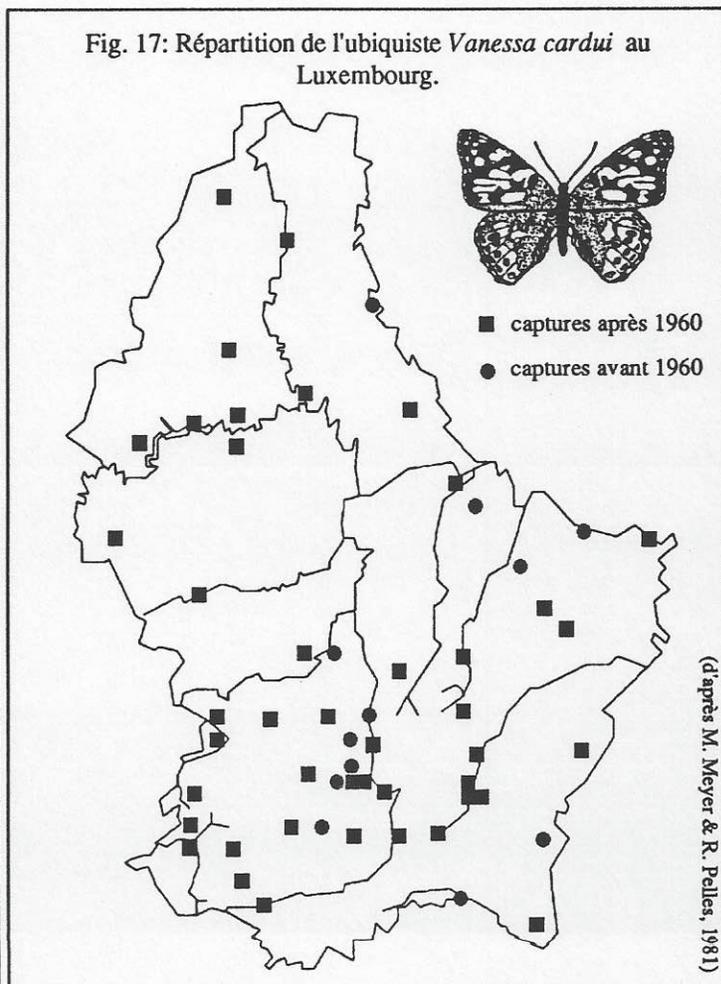
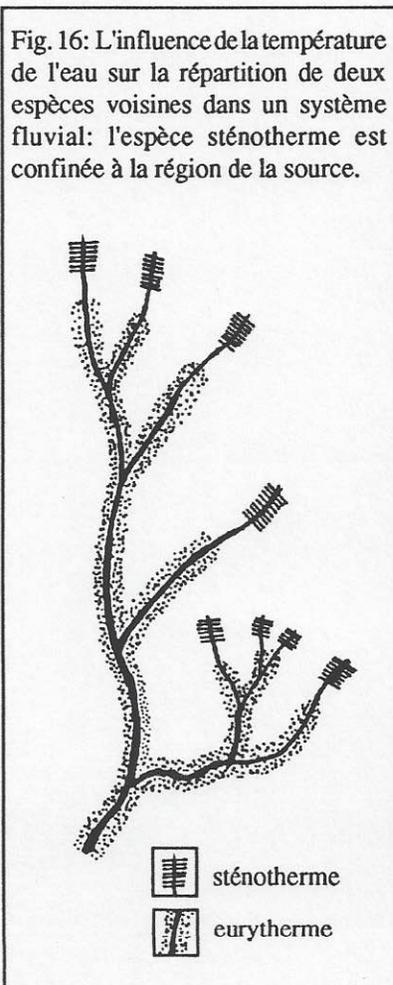
#### Adaptation aux variations thermiques

Selon leur tolérance vis-à-vis des variations thermiques, on distingue chez les êtres vivants:

- les sténothermes* (gr.: *stenos* = étroit):
  - ne supportant que des variations thermiques de faible amplitude,
  - vivant dans des milieux particuliers étroitement localisés;
- les eurythermes* (gr.: *eurys* = large):
  - supportant des variations thermiques de grande amplitude,
  - ayant une aire de répartition souvent très étendue.

Beaucoup d'eurythermes peuvent supporter des conditions de milieu très variées et se trouver dans des écosystèmes très divers: ce sont des *ubiquistes* (lat.: *ubique* = partout). Citons à titre d'exemples:

- la Graminée *Poa annua* (Pâturin annuel, all.: *Einjähriges Rispengras*);
- le Papillon *Vanessa cardui* (Belle-Dame, all.: *Distelfalter*);
- la Lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*, all.: *Flußneunauge*) et l'Anguille (*Anguilla anguilla*, all.: *Aal*), Poissons présents dans tous les tronçons de nos cours d'eau.



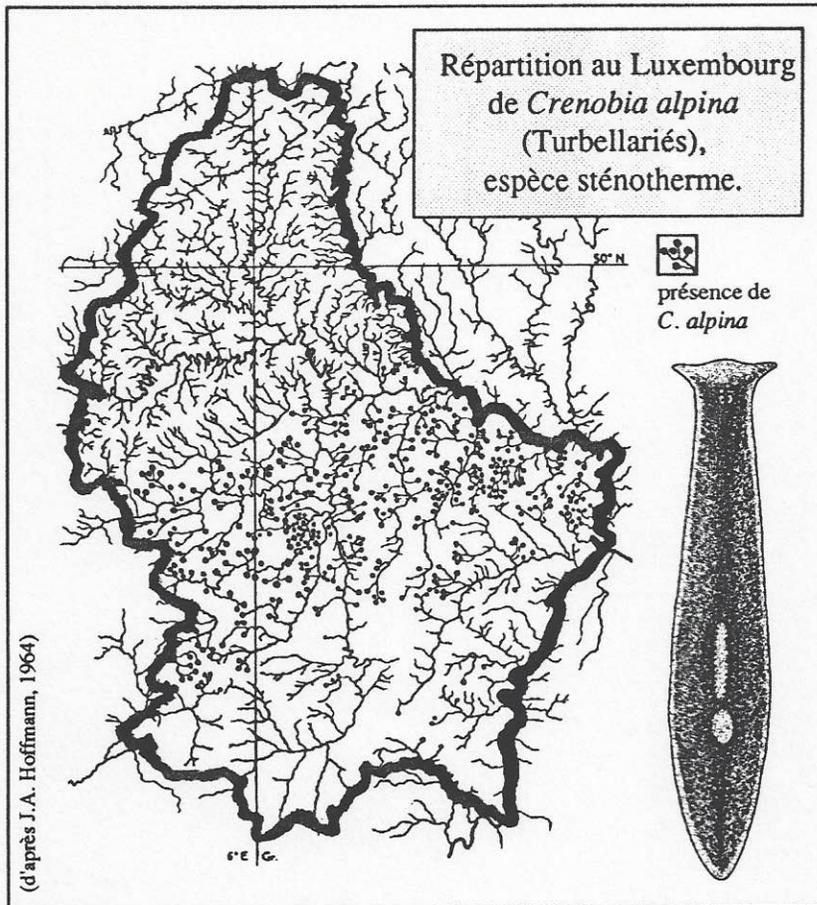


Fig.: 18

«Au Grand-Duché de Luxembourg *Crenobia alpina* peuple la grande majorité des sources sortant du Grès de Luxembourg, du grès bigarré et du calcaire coquillier; dans de nombreux cas, elle descend le secteur initial du filet ou du ruisseau jusqu'à une distance de quelque 20 à 50 mètres de la source. La température de l'eau y est assez constante; elle varie entre 4 et 10 degrés.»  
(J.A. Hoffmann, 1964)

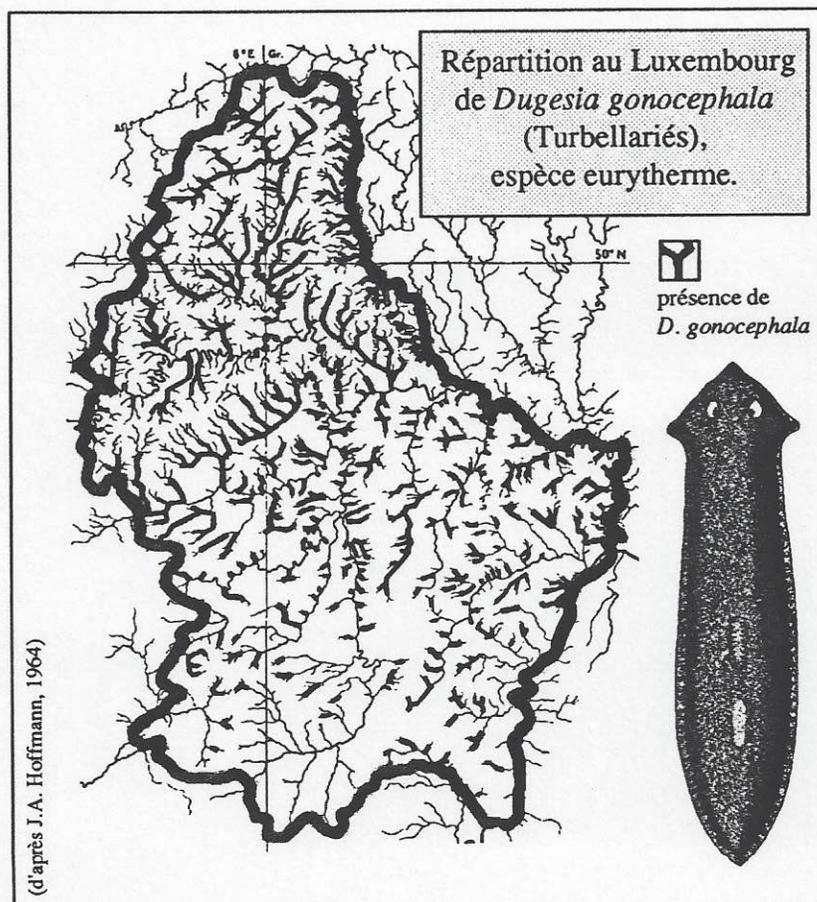


Fig.: 19

«Au Grand-Duché, *Dugesia gonocephala* est très prolifique et abondante dans les petits filets d'eau et ruisselets qui sont purs, froids et parfaitement ombragés; d'une façon plutôt générale, elle cède la source et le secteur initial à *Crenobia alpina* et *Polycelis felina* [une autre espèce de Turbellarié, note des auteurs] ou à une de ces espèces; elle apparaît à une certaine distance de la source et elle se maintient jusqu'à l'embouchure du ruisseau.»  
(J.A. Hoffmann, 1964)

## Température maximale ou minimale

L'implantation d'une espèce déterminée en un lieu donné est souvent fonction des températures extrêmes (maximales ou minimales). Les limites de l'*aire de répartition* suivent alors étroitement les isothermes au-delà desquelles cette espèce ne peut survivre.

Ainsi, la limite septentrionale de l'aire de répartition du Hêtre concorde approximativement avec l'isotherme  $-2^{\circ}\text{C}$  de janvier; celle du Houx (*Ilex aquifolium*, all.: *Stechpalme*, *Walddistel*) avec l'isotherme  $0^{\circ}\text{C}$  de janvier.

Au Luxembourg, la hêtraie submontagnarde de l'Oesling est délimitée par l'isotherme annuelle moyenne  $+8^{\circ}\text{C}$ .

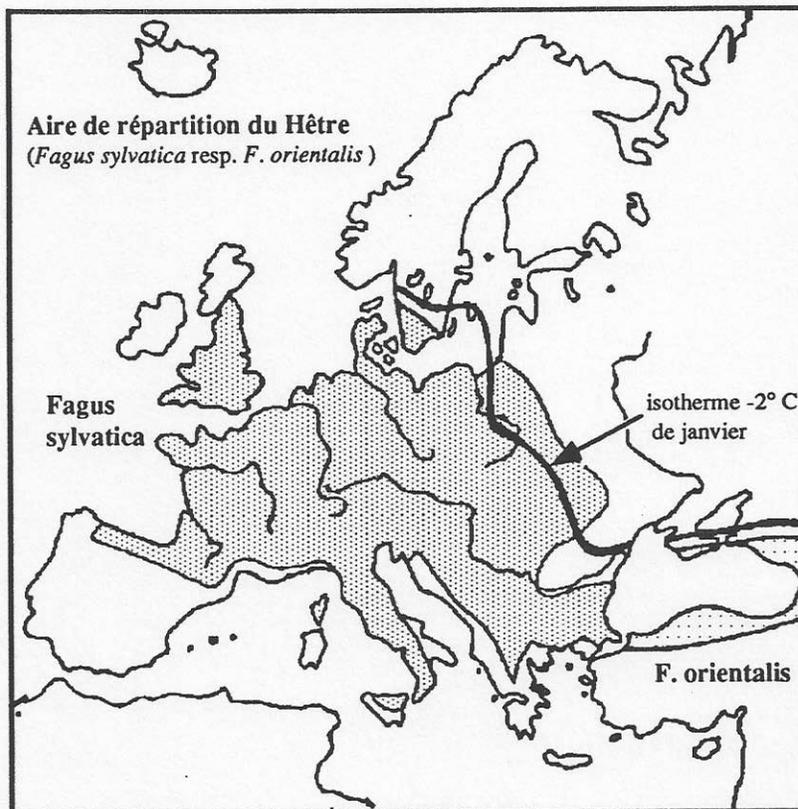


Fig. 20: Aire de répartition du Hêtre (*Buche*) (d'après divers auteurs).

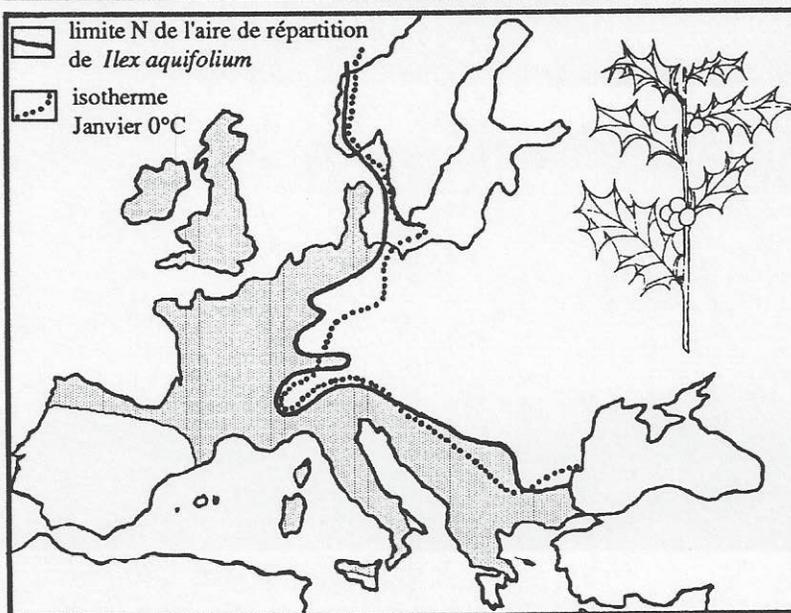
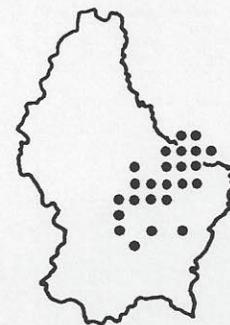


Fig. 21: Aire de répartition du Houx (*Ilex aquifolium*), schématisée. (d'après divers auteurs).



Au Luxembourg, le Houx est confiné au domaine du Grès de Luxembourg.

Fig. 22: Hêtraie submontagnarde de l'Oesling située entre 450 m et 550 m et délimitée par l'isotherme annuelle moyenne +8°C.

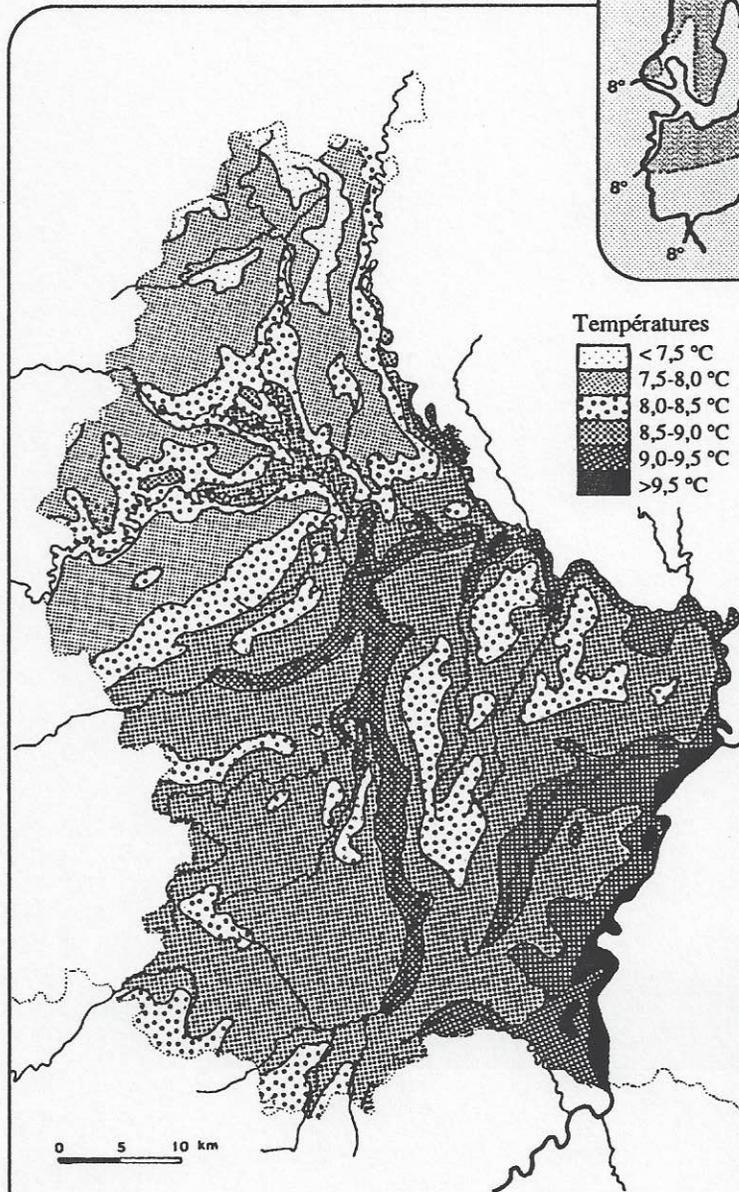
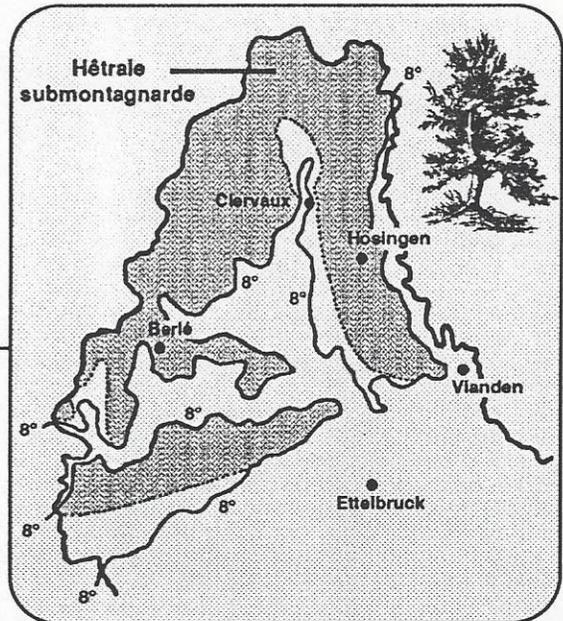


Fig. 23: Carte des températures moyennes annuelles du Luxembourg pour la période 1908-1967 (d'après Wagner-Schaber, 1987).

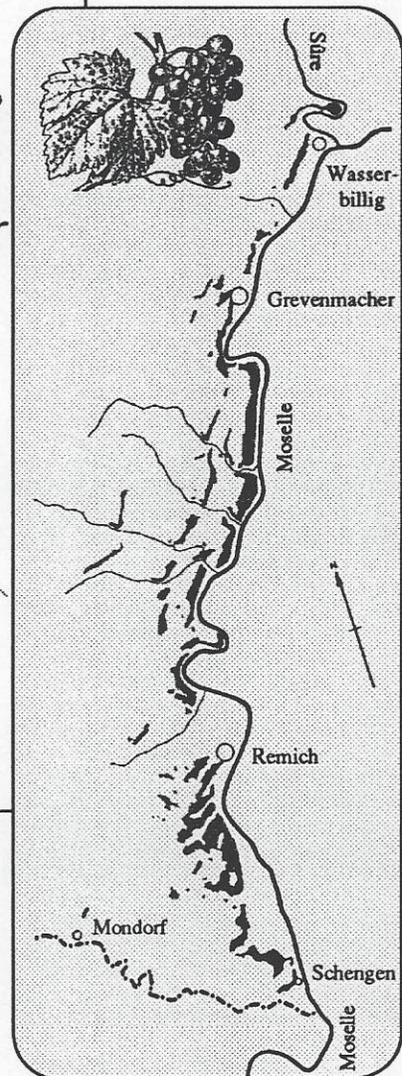


Fig. 24: Le vignoble luxembourgeois actuel (plages foncées) est essentiellement implanté dans la région du pays où la température annuelle moyenne oscille autour de +9,5°C. (d'après: Minist. Educ. natn., 1971, modifié)

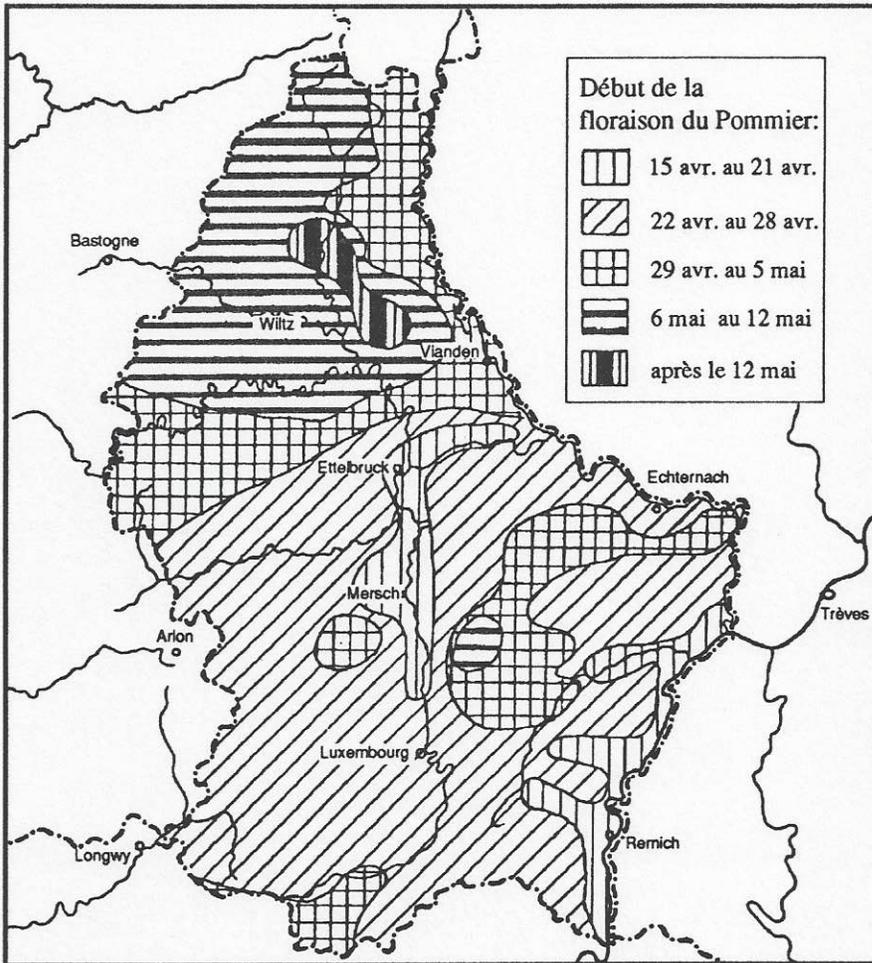


Fig. 25: Début de la floraison du Pommier au Grand-Duché de Luxembourg en 1934 (d'après Schmithüsen, 1940).

La floraison est la plus précoce dans la région de la Moselle (début: 15 avril) où les températures moyennes annuelles sont les plus élevées du pays. La vallée de l'Alzette (région de Mersch) ainsi que celle de la Sûre (région de Diekirch) apparaissent également comme des sites privilégiés du point de vue climat. La floraison est la plus tardive dans la région de l'Oesling où les températures moyennes annuelles sont plus basses que dans le reste du pays.

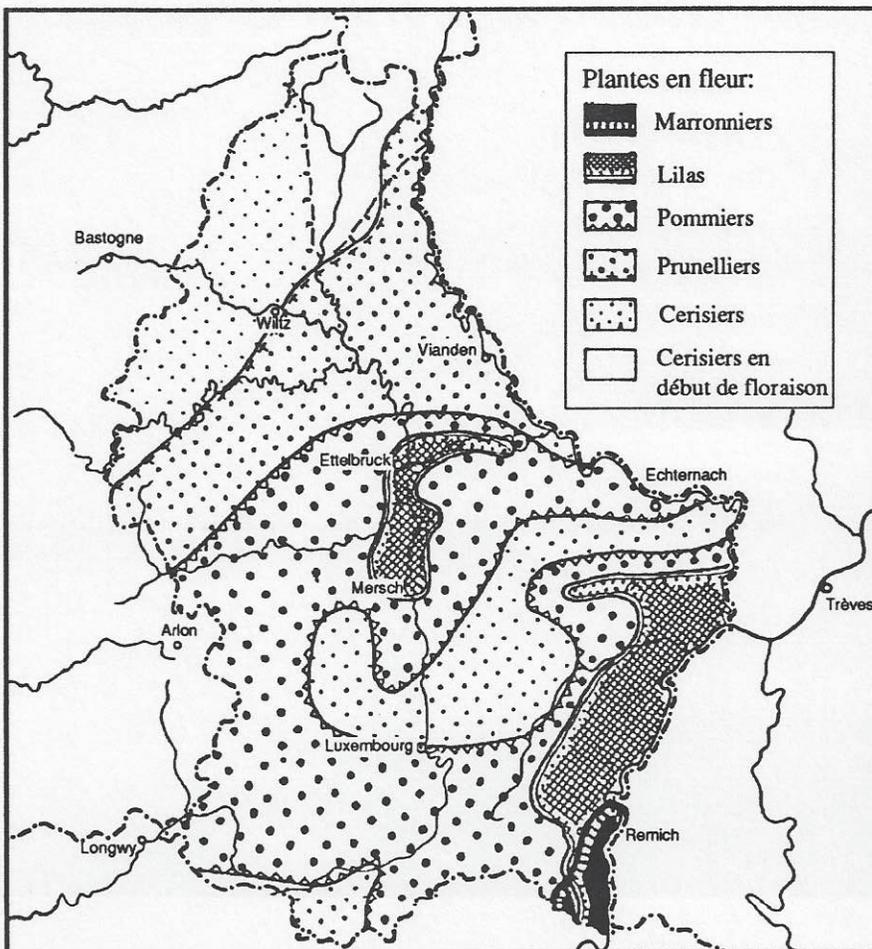


Fig. 26: La marche de la floraison printanière au Luxembourg: situation au 27 avril 1934 (d'après Schmithüsen, 1940).

Les Marronniers et les Lilas ne fleurissent encore que dans les régions privilégiées du point de vue température. La floraison des Pommiers a progressé jusqu'au pied des Ardennes, mais n'a pas encore complètement touché l'étage du Dogger ni les plateaux du Lias (voir carte géologique, p. 43). Dans la pointe septentrionale de l'Oesling, la floraison des Cerisiers ne fait que commencer, alors que dans le reste du pays, elle a eu lieu il y a un moment.

### La culture de la Vigne

La culture de la Vigne est liée à un climat tempéré. Elle exige une température moyenne annuelle d'au moins +9°C, l'optimum se situe entre +10°C et +12°C. Mondialement, la culture de la Vigne est de ce fait possible dans les régions situées entre le 20° et le 50° degré de latitude N, respectivement le 20° et le 40° degré de latitude S.

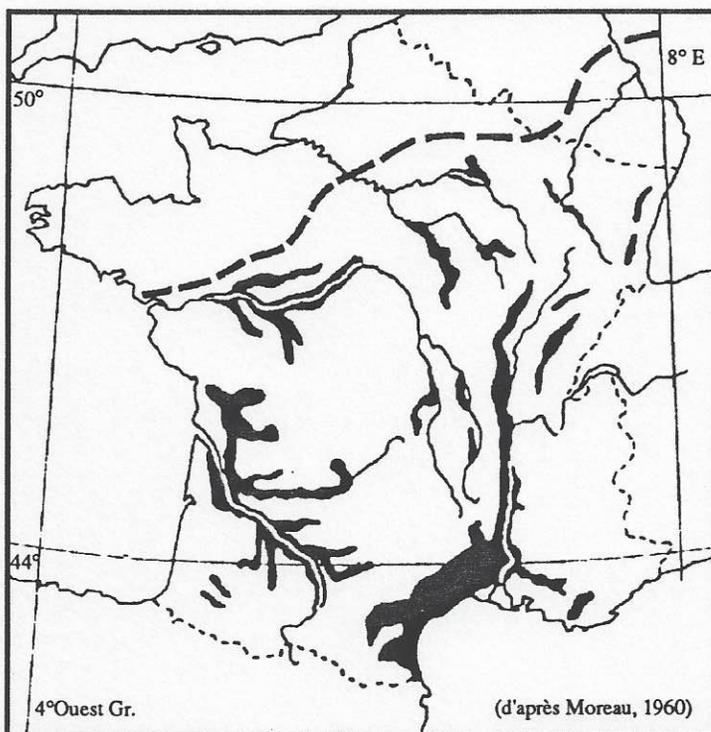
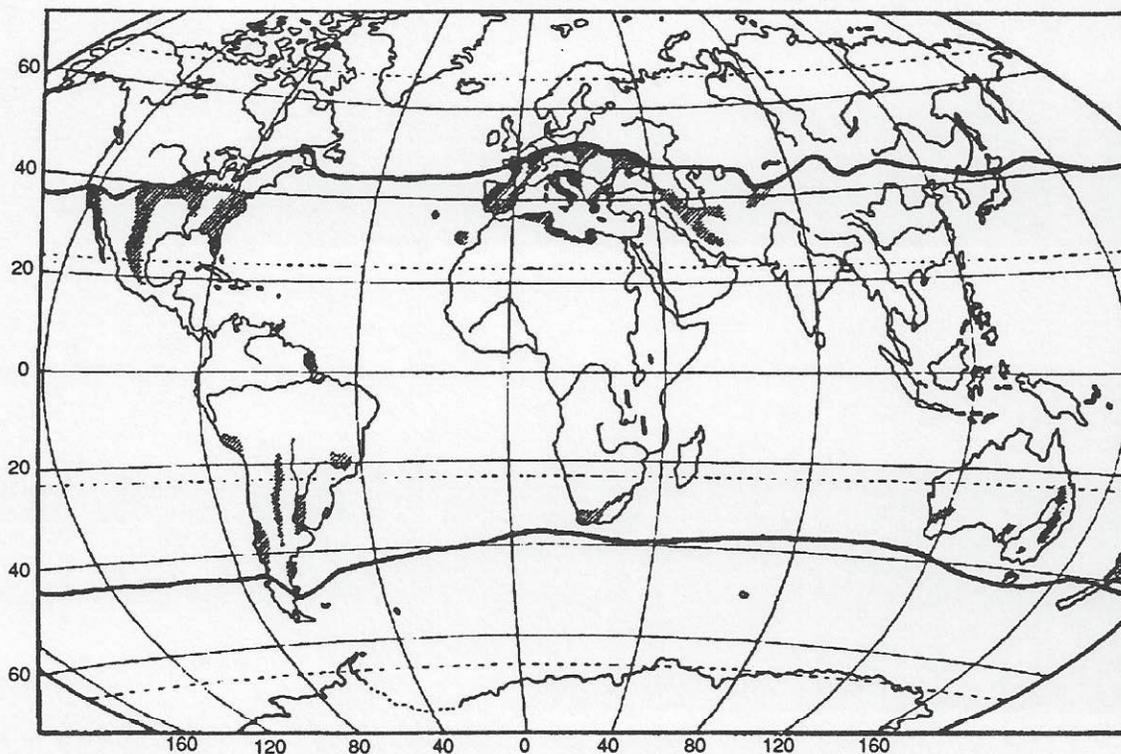


Fig. 27: Le vignoble en France.

Le trait épais interrompu correspond à la limite septentrionale de la culture de la Vigne dans nos régions.

Fig. 28: Les régions viticoles du monde (d'après Schmeil-Seybold, 1958).



Le vignoble luxembourgeois se trouve à la limite septentrionale de l'aire de répartition de la Vigne. Chez nous, la culture de la Vigne est étroitement liée à l'isotherme  $+9,5^{\circ}\text{C}$  de la température moyenne annuelle.

Les vignobles situés en dehors de cette aire et encore exploités à la fin du 19<sup>e</sup> siècle ont été abandonnés à cause du faible rendement et de la médiocre qualité du vin.

Parmi ces anciennes localités viticoles luxembourgeoises, citons notamment: Vianden («*Dräimännerwäin*»), Diekirch, Echternach, Mompach, Berbourg, Manternach, Mensdorf, Flaxweiler, Waldbredimus, Dalheim, Fetschenhof. En de nombreuses autres localités le lieu-dit «*am Wangert*» rappelle la culture de la Vigne d'antan.



Fig. 29: Le vignoble luxembourgeois ancien et actuel.  
(d'après J. Meyers: Studien zur Siedlungsgeschichte Luxemburgs. Rééd. 1976)

## Document:

## Mosel und Südländer

Jos. Hoffmann

"Die Mosel ist ein ausgesprochener Warm- und Helllichtstreifen.

Zeugen davon sind nicht nur die frühen Heu- und Kornschnitte. Zeugen davon sind nicht nur die hunderttausend Rebenzeilen. Zeugen davon sind nicht nur die andere Frohstimmung in den Gemütern und der andere heitere Augenaufschlag in den Gesichtern der Leute, die da daheim sind. Zeugen sind nicht nur der Kreuzdorn und der «wilde» Buchsbaum, die Schmerwurz und die Kuhshelle...

... Zeugen sind vor allem jenes lange Heer von südländischen Tieren und Tierchen, die bis ins Moseltal gekommen [sind], um zu überzeugen, daß dieser Streifen wirklich einen Teil von jenen Qualitäten hat, die die Palmen und Olivenbäumchen, die Mandelsträucher und Zypressen gedeihen lassen...

Da muß unbedingt als allererster Südländer die *Smaragdeidechse* aufmarschieren. Jenes farbigste Tier unter allen Farbigen, jenes temperamentvollste unter den Temperamentvollen. Sie hat als typischster Exponent der mediterranen Tiergesellschaften darauf gehalten bis ins Moseltal vorzustoßen, um die Leute von hierherum überzeugen zu können, daß der Wein zu Recht zwischen Schengen und Wasserbillig wachsen darf. In gleichem Atemzug muß die *Grüne Kröte* genannt werden. Schade nur, daß bei diesem heimeligen Tier, das sich unter den abgebröckelten Felsteinen versteckt hält, die Krötenform und die Krötenmanier mitzählen müssen... denn die Farbe des Lurchs erinnert an Pracht und Freundlichkeit wie sie nur am Rande von Zypressenhainen aufkommen kann. Und der elegante *Springfrosch* darf nicht übergangen werden. Jener eine, der durch sein Temperament und seine Quecksilbrigkeit beweist, daß er dahin gehört, wo die Sonne und die Leichtlebigkeit das große Wort reden...

Smaragdeidechse und Grüne Kröte und Springfrosch sind dennoch viel zu scheu, um jedem Dritten immer über den Weg zu «laufen». Weil aber jeder Dritte wirklich überzeugt sein soll, daß Südländer da sind, haben eine Reihe von lauten Sängern darauf gehalten, mit dabei zu sein.

Aus dieser Reihe führt der große *Drosselrohrsänger* das Hauptwort. Sobald er nur die allerersten Verse seines langen Flöteliades aufgesagt hat, müssen Bachstelze und Braunelle in den Wiesen, müssen Hänfling und Amsel in den Rebhängen, muß die Trillerlerche in der Luft ihren Mund halten... weil ja doch keiner mehr auf sie hört. Weil sie eben keinen Deut von der Feierlichkeit und der Ausgelassenheit in ihre Strophen hineinlegen können, die der Drosselrohrsänger nur so überlaufen läßt. Wenn dieser südländische Rohrsänger einmal verschlafen will, ist gleich der *Weidenlaubsänger* da. Sein Herz ist auch voll von Überschwänglichem und Lebensfrohem, das er restlos in die Kehle hineinlegt. Darum merken die Allermeisten gar nicht wer immer dran ist, der Weidenlaub- oder der Drosselrohrsänger. Ganz anders ist es am Abend, wenn der eine und der andere müde sind. Dann kommt der dritte Südländer, die *Orpheusgrasmücke*, an die Reihe. Ihre kleine Brust ist ganz voll von traurigem Herzeleid. Wie bei einem, der sich nach irgend etwas sehnt, das er nie bekommen kann. Und wenn die graue Orpheusgrasmücke glaubt alleine zu sein, dann fängt sie an zu schluchzen und zu weinen. Daraus wird dann ein Lied so voller Traurigkeit, das sogar der Kauz, das sogar die Unke und die gemeine Geburtshelferkröte nicht unterbrechen können...

Springfrosch und Drosselrohrsänger, Smaragdeidechse und Orpheusgrasmücke, Grüne Kröte und Weidenlaubsänger sind nur die wenigsten aus der langen Reihe der Südländer, die sich zwischen Schengen und Wasserbillig eingemistet haben. Damit sie nicht alleine sind, ist ein Heer von Kleineren mitgekommen. Zum Beispiel die große *Bergzikade*, die sich immer so auffällig in den Hecken gebaren muß. Zum Beispiel die kugelige, rote *Streifenwanze*, die sich allüberall auf die breiten Dolde des Bärenklau aufsetzt, um in die Augen fallen zu können. Zum Beispiel die grüne *Sattelträgerschrecke*, die abends immer in den Brombeerranken tut wie einer, der eine kleine Sense streicht..."

(Extrait de: Jos. Hoffmann, 1958).

### 2.1.1.5. Adaptation des êtres vivants à l'hiver

Le problème qui se pose en hiver n'est pas seulement la baisse de température, mais également le manque de nourriture (cas des animaux) respectivement le manque d'eau dû au gel (cas des végétaux).

#### Le cas des végétaux

Selon la façon dont les végétaux assurent la protection de leurs bourgeons durant la mauvaise saison, on peut distinguer plusieurs *types biologiques*. Il en résulte une classification écologique qui a été établie par le botaniste danois Christen RAUNKIAER (1860-1938).

#### Types biologiques de RAUNKIAER (1905)

##### ◆ Plus de bourgeons:

###### *thérophytes*

(gr.: *theros* = belle saison;  
*phyton* = plante)

- la plante a disparu, seules les graines persistent;
- ce sont des *plantes annuelles*;
- ex.: *Coquelicot, Pâturen annuel*.

##### ◆ Bourgeons dans le sol:

*géophytes* ou *cryptophytes*  
(gr.: *gê* = terre;  
*kryptos* = caché)

- disparition des organes aériens;
- persistance d'organes souterrains bourrés de réserves; selon le cas, cet organe est:
  - un tubercule: *Cyclamen, Pomme de terre*,
  - un rhizome: *Parisette, Muguet*,
  - un bulbe : *Crocus, Jacinthe, Tulipe*.

##### ◆ Bourgeons au ras du sol:

###### *hémicryptophytes*

(gr.: *hemi* = moitié)

- les organes aériens conservés se situent au ras du sol; souvent il s'agit d'une rosette de feuilles;
- ex.: *Ortie* (sans rosette),  
*Pissenlit* (plante à rosette).

##### ◆ Bourgeons persistant à moins de 25 cm du sol:

###### *chaméphytes*

(gr.: *chamai* = à terre)

- plantes basses, souvent à tige plus ou moins ligneuse;
- ex: *Myrtille, Bruyère*,  
*Pervenche* (feuillage persistant).

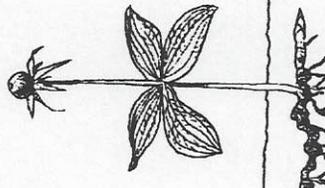
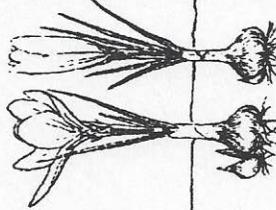
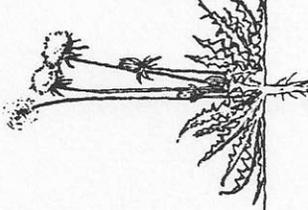
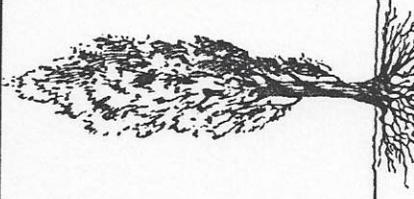
##### ◆ Bourgeons à plus de 25 cm du sol:

###### *phanérophytes*

(gr.: *phaneros* = apparent)

- l'essentiel ou la totalité des parties aériennes est conservé; ce sont des arbres ou des arbustes; ils peuvent être à:
  - feuillage caduc: *Peuplier, Hêtre, Mélèze*,
  - feuillage persistant: *Pin, Epicéa* (aiguilles),  
*Houx, Buis* (feuilles).

**Fig. 30: Les types biologiques de Raunkiaer.**

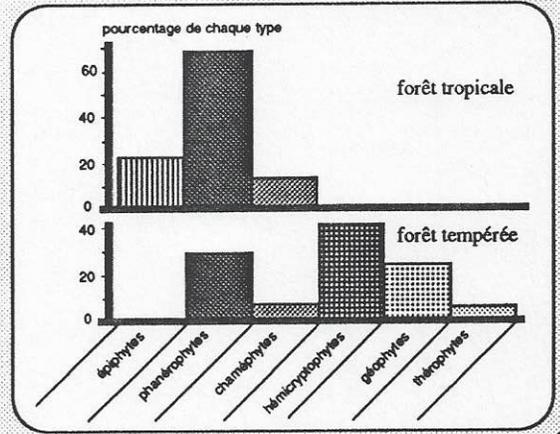
 <b>ETE</b> Coquelicot <i>Klatschmohn</i>	 Cyclamen <i>Alpenveilchen</i>	 Parisette <i>Einbeere</i>	 Crocus <i>Krokus</i>	 Ortie <i>Brennnessel</i>	 Pissenlit <i>Löwenzahn</i>	 Myrtille <i>Heidelbeere</i>	 Peuplier <i>Pappel</i>	thérophytes graines	cryptophytes ou géophytes tubercule rhizome bulbe	hémicryptophytes sans rosette rosette de feuilles	chaméphytes	phanérophytes
<b>HIVER</b> graines												

On peut ajouter au tableau des types biologiques les *épiphytes* (gr.: *epi* = sur) qui poussent sur d'autres végétaux qui leur servent de support. Ils n'ont pas de véritables organes de résistance au froid, ce qui explique qu'ils sont particulièrement nombreux dans les forêts tropicales.

En évaluant l'importance relative des différents types biologiques rencontrés dans une région donnée, on peut réaliser un *spectre biologique* (*Lebensformspektrum*, *Biospektrum*). Pour un type de végétation donné, ces spectres varient en fonction du climat et notamment de la température.

Fig. 31: Comparaison entre le spectre biologique de la forêt tempérée et celui de la forêt tropicale. (d'après Brun-Cottan et al., 1982).

La forêt tropicale se distingue par la prédominance des phanérophytes et des épiphytes et par l'absence des hémicryptophytes, des géophytes et des thérophytes, formes d'adaptation au froid.



### Adaptation des animaux à l'hiver

- ❑ De nombreuses espèces de poikilothermes cessent leur activité à l'approche de l'hiver et tombent dans un état d'engourdissement, la *léthargie hibernale* (*Winterstarre*). Ce sont de *faux hibernants*. Chez les Vertébrés, c'est le cas des Reptiles et des Batraciens.
- ❑ Les homéothermes peuvent lutter activement contre le refroidissement. De plus, ils sont passivement protégés par leur plumage ou leur pelage, éventuellement le tissu adipeux.
  - ◆ Certains Oiseaux quittent nos régions pour émigrer dans des pays plus chauds ; ce sont les *oiseaux migrants* (ex.: Hirondelles indigènes).

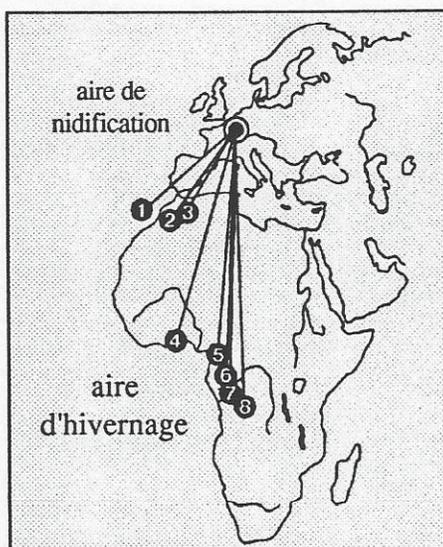


Fig. 32: Migration de nos Hirondelles de cheminées (*Hirundo rustica*) de leur aire de nidification au Luxembourg vers leur aire d'hivernage dans l'ouest de l'Afrique centrale (d'après R. Schmit, 1985).

Les numéros marquent les lieux où des oiseaux bagués au Grand-Duché ont été retrouvés:

- 1 Madère
- 2 Maroc
- 3 Maroc
- 4 Ghana
- 5 Cameroun
- 6 Gabon
- 7 Congo
- 8 Zaïre

◆ Chez les Mammifères, le pelage devient plus dense. C'est le phénomène de la *mue* (Härung). Le remplacement des poils se fait graduellement, la peau n'est jamais dénudée. Chez certains, la mue s'accompagne d'un changement de couleur. C'est le cas de l'Hermine: robe d'été fauve, robe d'hiver blanche (*mimétisme*).

◆ Cas des hibernants:

• Chez certains Mammifères, l'homéothermie est imparfaite. A l'approche de l'hiver, ils tombent dans un sommeil hivernal léthargique qui dure en principe jusqu'à l'arrivée du printemps. Ce sont des *hibernants vrais* (*Winterschläfer*) comme la Marmotte, le Loir, le Hérisson, les Chauves-souris.

• Chez d'autres, des périodes de sommeil alternent avec des périodes de réveil. Leur température interne ne baisse pas. Ce sont des *hibernants partiels* (*Winterruher*) comme le Blaireau, l'Ours brun, l'Ecureuil.

### L'hibernation chez la Marmotte des Alpes

Vers le début d'octobre, les Marmottes se retirent dans leur terrier qui comporte des galeries longues d'une dizaine de mètres débouchant à un dortoir (*Schlafkessel*) tapissé de foin. L'entrée du terrier est bouchée avec de la terre ou des pierres. Le dortoir loge toute une famille; les animaux dorment enroulés en boule, l'un contre l'autre.

L'hibernation dure 6 à 7 mois. La température interne varie avec la température extérieure; elle

peut baisser jusqu'à +3°C. Le métabolisme fonctionne au ralenti (10% de la valeur normale).

Si la température extérieure s'élève, la Marmotte se réveille. Il en est de même si la température extérieure s'abaisse trop. A chaque réveil, la Marmotte reprend une petite activité, mais ne mange pas. Sa température interne revient rapidement à 37°C. Pour cette élévation de température elle utilise ses réserves de graisse.

	Période active	Hibernation
Température	37°	≤10°
Rythme cardiaque	80-120/mn	2-5/mn
Mouvements respiratoires	16/mn	2-3 /mn

Tab. 1: Métabolisme de la Marmotte en période active et pendant l'hibernation.

Fig. 33: Variations de différents paramètres physiologiques de la Marmotte au moment de son entrée en hibernation (d'après Salviat et al., 1987).

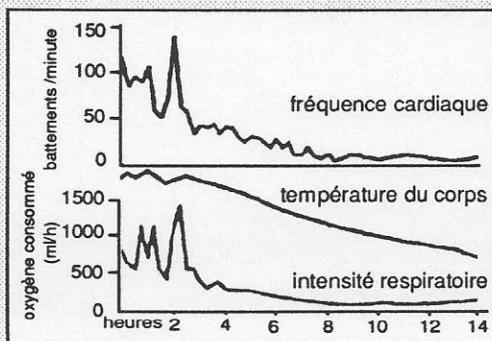


Fig. 34: Variations de la température interne d'une Marmotte suivant la température extérieure. (d'après J. Escalier et al., 1977)

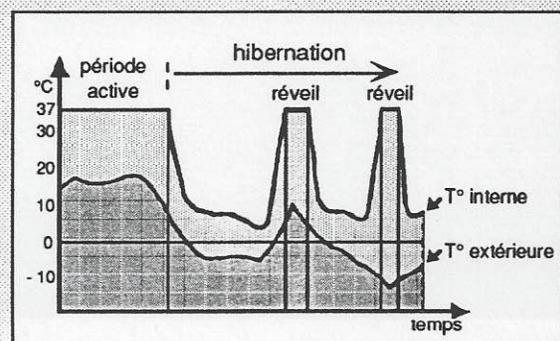


Fig. 35: La température du corps en hiver chez l'Ecureuil (homéotherme actif en hiver), le Hamster (homéotherme hibernant) et la Couleuvre lisse (poïkilotherme).  
(d'après Ch. Wagner, 1989, modifié)

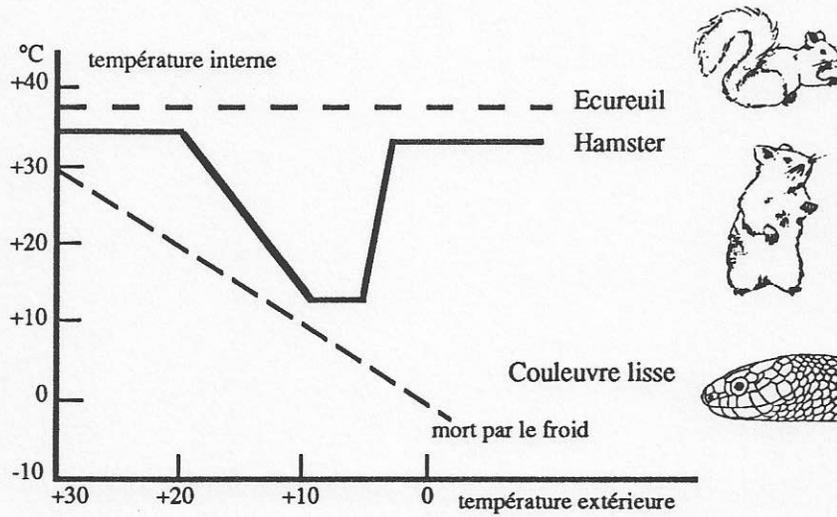
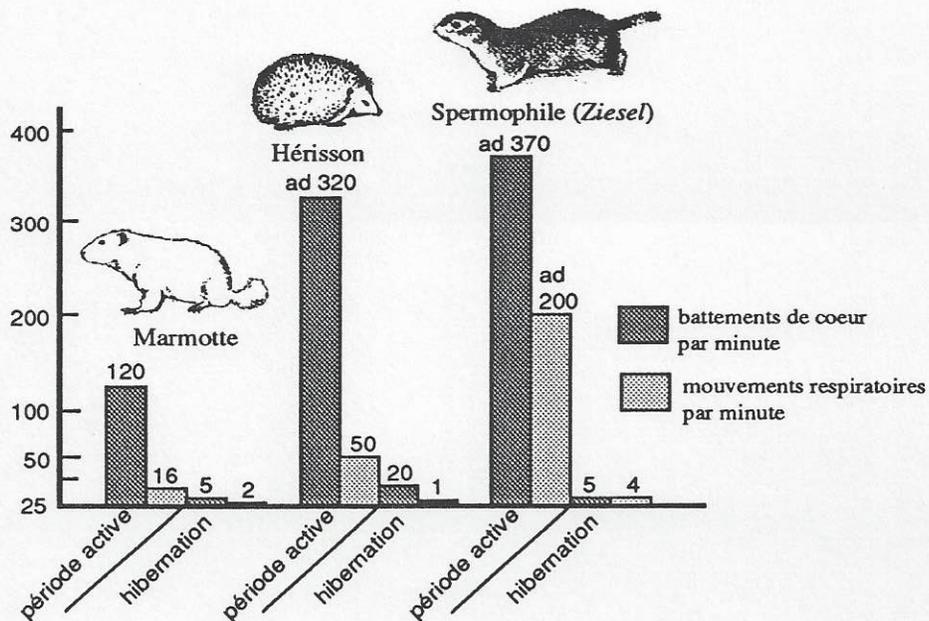


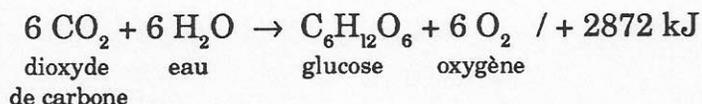
Fig. 36: Rythme cardiaque et rythme respiratoire chez les hibernants vrais.  
(d'après Ch. Wagner, 1989, modifié)



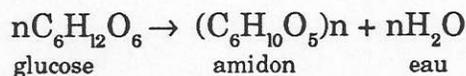
## 2.1.2. La lumière

### 2.1.2.1. La lumière et la nutrition des plantes

Les plantes vertes (plantes à chlorophylle) utilisent le gaz carbonique et l'eau pour synthétiser leurs substances organiques: c'est l'*assimilation chlorophyllienne* ou *photosynthèse*. La source d'énergie est la lumière du soleil qui peut être utilisée grâce à la chlorophylle.



Le glucose formé peut être utilisé pour la synthèse d'autres substances organiques; il peut également être stocké sous forme d'amidon.



L'intensité de la photosynthèse (masse des substances élaborées par unité de temps) augmente avec la luminosité, puis atteint un plafond (fig. 37).

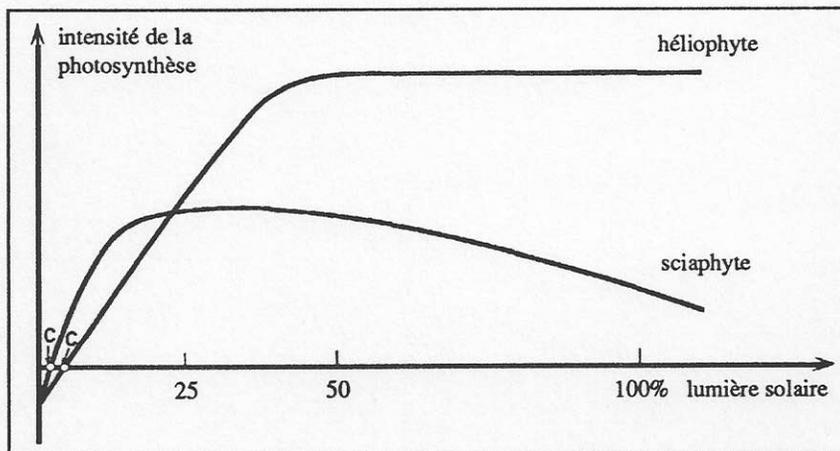


Fig. 37: Les échanges gazeux chlorophylliens en fonction de l'éclairement.

(C = point de compensation où les échanges chlorophylliens et les échanges respiratoires sont égaux en valeur absolue et se neutralisent exactement).

En ce qui concerne la lumière, on peut distinguer deux catégories de plantes:

les *héliophytes* (*helios* = soleil; plantes de lumière), plantes héliophiles:

- exigent une luminosité intense;
- se développent en terrain découvert;

les *sciaphytes* (*skia* = ombre; plantes d'ombre), plantes sciaphiles:

- vivent en lumière faible, végètent mal en plein soleil;
- vivent dans les sous-bois ombragés des hêtraies et des sapinières, à l'entrée des grottes, etc.

## 2.1.2.2. La lumière et la morphologie des végétaux

### Le port des arbres

La morphologie des arbres se modifie avec l'âge: mises à l'ombre par le développement des rameaux supérieurs, les branches inférieures dépérissent et meurent.

L'arbre isolé n'a pas la même forme que l'arbre d'une futaie. Ainsi, un Chêne isolé possède un tronc court et noueux et une couronne en boule; en forêt, son tronc est long et rectiligne, il se dénude peu à peu à la base.

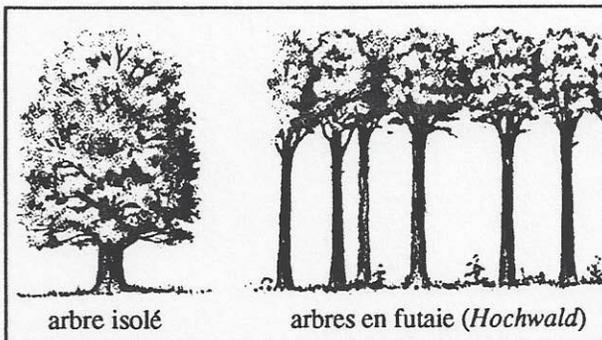


Fig. 38: Influence de la lumière sur la morphologie des arbres.

### La lutte pour la lumière chez les végétaux

La lutte pour la lumière a été décisive pour l'évolution des plantes. Plus de 40 % des espèces de végétaux supérieurs connus sont des arbres.

Dans la *forêt vierge*, où la végétation se superpose, chaque étage filtre une partie de la lumière qui lui parvient. Près du sol règne la pénombre. Les végétaux croissent alors jusqu'à des hauteurs prodigieuses afin d'atteindre la zone illuminée. Certaines espèces d'arbres atteignent la hauteur d'un immeuble de 20 étages. Leur tronc est solide et a un diamètre important.

Les *lianes* suppléent à la débilité de leurs troncs en s'enroulant autour des arbres pour aller s'épanouir à la lumière.

D'autres plantes, comme des Fougères ou des Orchidées, vivent sur les branches d'arbres qu'elles utilisent comme support. Ce sont des *épiphytes*. Elles captent l'eau par leurs feuilles disposées en coupe ou par leurs racines pendantes revêtues d'un tissu spongieux s'imbibant facilement.

Pour le reste des plantes qui croissent sous ce dais touffu, une adaptation à la luminosité très faible consiste p.ex. dans l'agrandissement de

la surface des feuilles qui sont très larges. Ces espèces réalisent la photosynthèse avec très peu de lumière (*sciaphytes*). Ceci explique que certaines d'entre elles peuvent être cultivées comme plantes d'appartement.

Dans les *feuillus (Laubwald)* de l'Europe moyenne, de nombreuses espèces herbacées fleurissent avant la feuillaison des arbres: *plantes à floraison précoce (Frühblüher)*. Citons comme exemples: l'*Anémone des bois*, la *Primevère* ou le *Muguet*.

Au moment de l'apparition des feuilles, l'intensité de la lumière au niveau du sol passe de 50 % environ de la lumière du plein jour à 3 - 5 %. En été, seules les plantes d'ombre peuvent donc s'y développer.

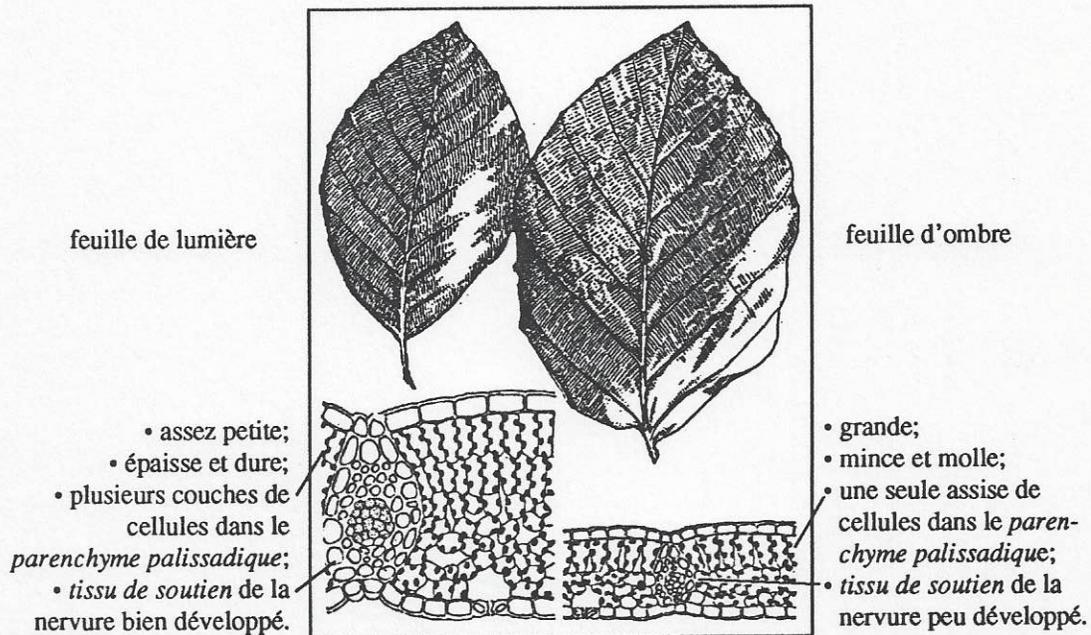
Dans les *pessières* (plantations d'épicéas), l'intensité lumineuse est si faible au niveau du sol que les plantes herbacées manquent presque totalement pendant toute l'année. Peuvent y vivre cependant des végétaux supérieurs non phototrophes comme le *Nid d'oiseau (Nestwurz)*, une Orchidée) ou le *Sucepin (Fichtenspargel)*.

(D'après: Le monde végétal. Bibliothèque Laffont, 1975).

## La forme et la structure des feuilles

Les feuilles d'un même Hêtre sont à peine reconnaissables selon qu'elles se sont développées à la lumière ou à l'ombre.

Fig. 39: Feuille de lumière et feuille d'ombre du Hêtre (d'après Dylla & Krätzner, 1972).



Des différences analogues peuvent être notées entre les feuilles des héliophytes et celles des sciaphytes.

Du point de vue physiologique, on a pu montrer que, dans les mêmes conditions de milieu, les feuilles d'ombre présentent par rapport aux feuilles de lumière:

- une respiration plus faible;
- un appareil d'assimilation plus sensible et plus efficace.

## L'étiollement

Une plante qui se développe à l'obscurité s'étirole (*vergeilt*). La fig. 40 montre bien les caractéristiques de l'étiollement (*Vergeilung*), à savoir:

- une coloration jaune clair ou blanche;
- des tissus pauvres en chlorophylle;
- des tiges fragiles, grêles et élancées;
- des feuilles réduites.

Dans ce contexte, on peut citer les longues pousses blanches émises par les *Pommes de terre* «germées» en cave, ainsi que le *Pissenlit* recouvert par une taupinée.

L'étiollement trouve une application pratique en horticulture où il sert à faire blanchir certaines plantes potagères ce qui leur donne une saveur plus douce (ex.: *Chicorée*, *Céleri*, *Asperges*).

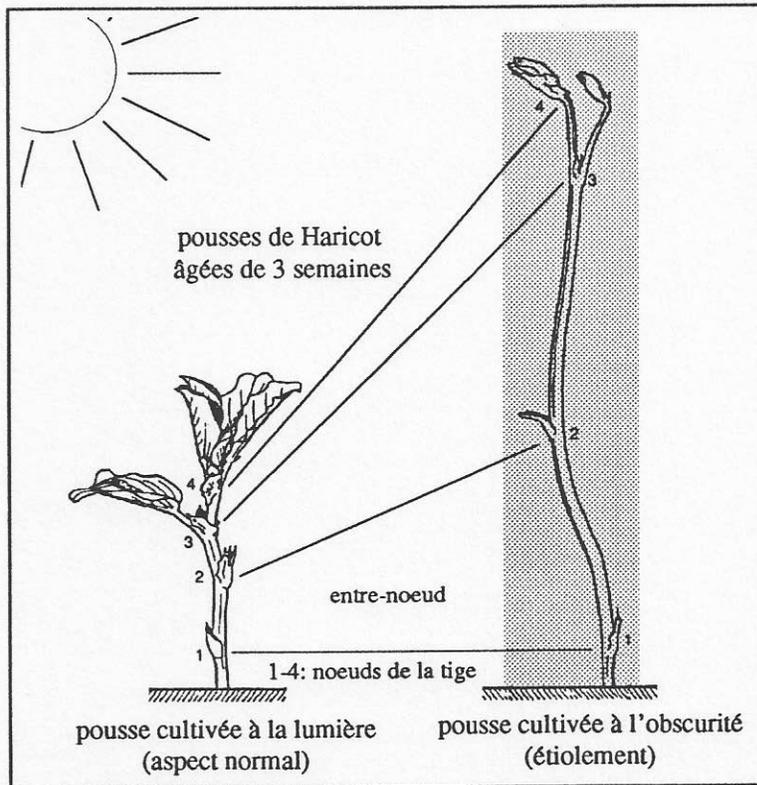


Fig. 40: L'étiolée chez le Haricot: comparaison entre deux jeunes pousses de 3 semaines, l'une cultivée à la lumière, l'autre à l'obscurité (d'après Strasburger, 1991).

### Le photopériodisme

Beaucoup de plantes réagissent à la *photopériode*, c.-à-d. la durée respective du jour et de la nuit. Une telle dépendance vis-à-vis de la durée relative de la lumière et de l'obscurité (respectivement la durée de l'éclairement) est appelée *photopériodisme*.

#### □ Les plantes de jour long (Langtagspflanzen):

Ces plantes ne fleurissent que si la durée du jour est supérieure à un temps minimum appelé *durée du jour critique* (généralement plus de 12 heures de lumière par jour). C'est le cas pour la majeure partie des plantes sauvages de nos régions. Elles fleurissent en été. Citons parmi les plantes utiles les céréales indigènes, à savoir le Blé (*Weizen*, lux.: *Wääss*), le Seigle (*Roggen*, lux.: *Kar*), Orge (*Gerste*, lux.: *Geescht*), l'Avoine (*Hafer*, lux.: *Huewer*), et des légumes comme le Pois, l'Épinard et la Salade.

#### □ Les plantes de jour court (Kurztagspflanzen):

Ces plantes ne fleurissent que si la durée du jour est inférieure à leur minimum

	jour long	jour court
plante de jour long Tabac ( <i>Nicotiana sylvestris</i> )		
plante de jour court Millet ( <i>Hirse</i> )		

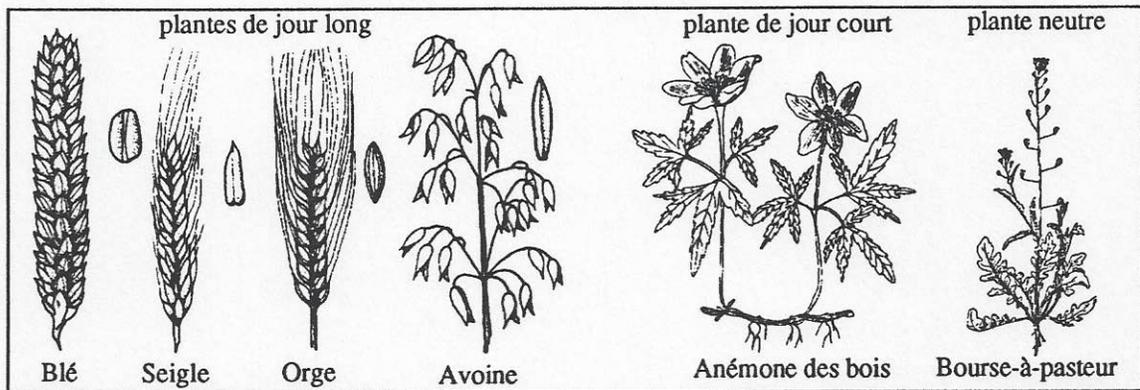
Fig. 41: Plantes de jour long et plantes de jour court (d'après Strasburger, 1991)

spécifique (généralement moins de 12 heures de lumière par jour). C'est le cas de nombreuses plantes tropicales. Sous nos latitudes, ces conditions sont remplies au printemps (plantes printanières comme l'Anémone des bois et la Violette) et en automne (Dahlias et Chrysanthèmes).

□ *Les plantes indifférentes ou neutres (tagneutrale Pflanzen):*

Leur floraison est indépendante de la durée relative du jour et de la nuit. Exemples: Tournesol (*Sonnenblume*), Bourse-à-pasteur (*Hirtentäschelkraut*).

Fig. 42: Plantes indigènes et photopériode.



### 2.1.2.3. La lumière et les animaux

D'une façon générale, par son action sur les végétaux (photosynthèse, photopériodisme), la lumière agit indirectement sur les animaux. Mais, la lumière exerce également une action directe.

#### Influence de la lumière sur la morphologie des animaux

Sur le plan morphologique, la lumière semble souvent indispensable à la pigmentation de la peau et au développement des yeux.

#### Pigmentation de la peau

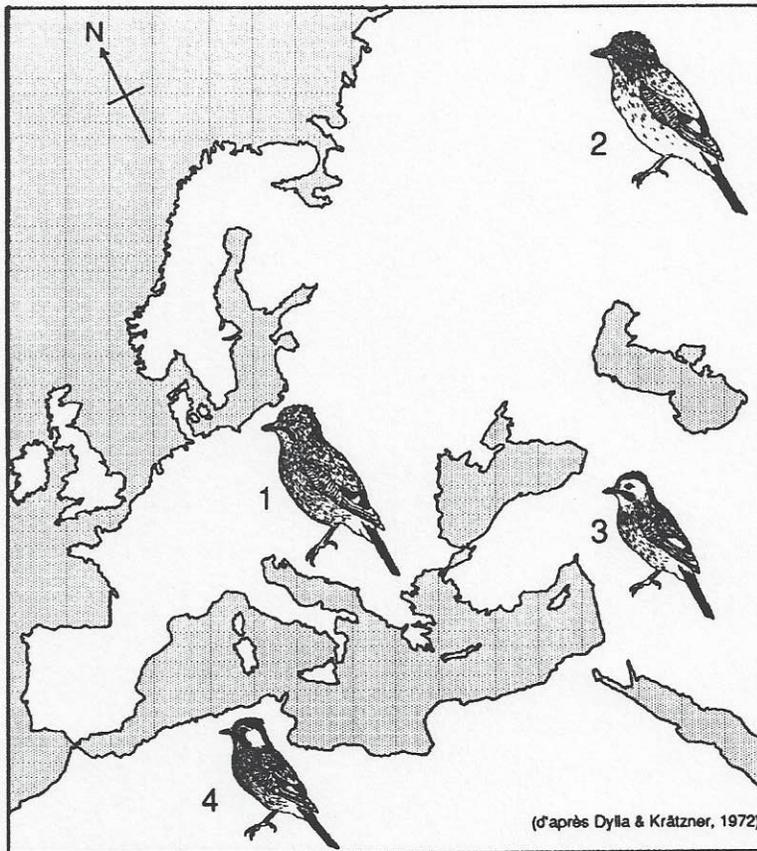
Des animaux exposés en permanence à un fort ensoleillement sont généralement protégés par des pigments noirâtres (*mélanines*) contre l'action nocive des rayons ultra-violet du soleil. Citons à titre d'exemple: la couleur de la peau des Négrides.

#### Règle de GLOGER (1833)

Les différences géographiques observables dans la couleur ou la pigmentation des animaux ont conduit à la formulation de la *règle de GLOGER* (*GLOGERSche Regel, Färbungsregel*), la plus ancienne loi d'écologie animale: *Les Mammifères (l'Homme inclus) et les Oiseaux ont une couleur plus claire dans les régions plus froides et sèches, et une couleur plus foncée dans les régions plus chaudes et humides.* Dans le temps, on expliquait ces différences par l'action de la température; on sait aujourd'hui qu'elles sont dues en réalité à la lumière.

Appliquée au départ aux seuls homéothermes, la règle de Gloger peut être généralisée. Elle permet ainsi d'expliquer p.ex. la fréquence des Coléoptères noirs dans les steppes et les déserts africains.

Fig. 43: La règle de Gloger et la répartition géographique de 4 sous-espèces du *Geai*  
(all.: *Eichelhäher*, lux.: *Maarkollef*).



La sous-espèce habitant la région la plus chaude (Afrique du Nord) a le plumage le plus foncé; la sous-espèce la plus septentrionale (région la plus froide) a le plumage le plus clair.

1 = *Garrulus glandarius glandarius*  
(sous-espèce présente au Luxembourg)

2 = *Garrulus glandarius bransti*

3 = *Garrulus glandarius krynickii*

4 = *Garrulus glandarius cervicalis*

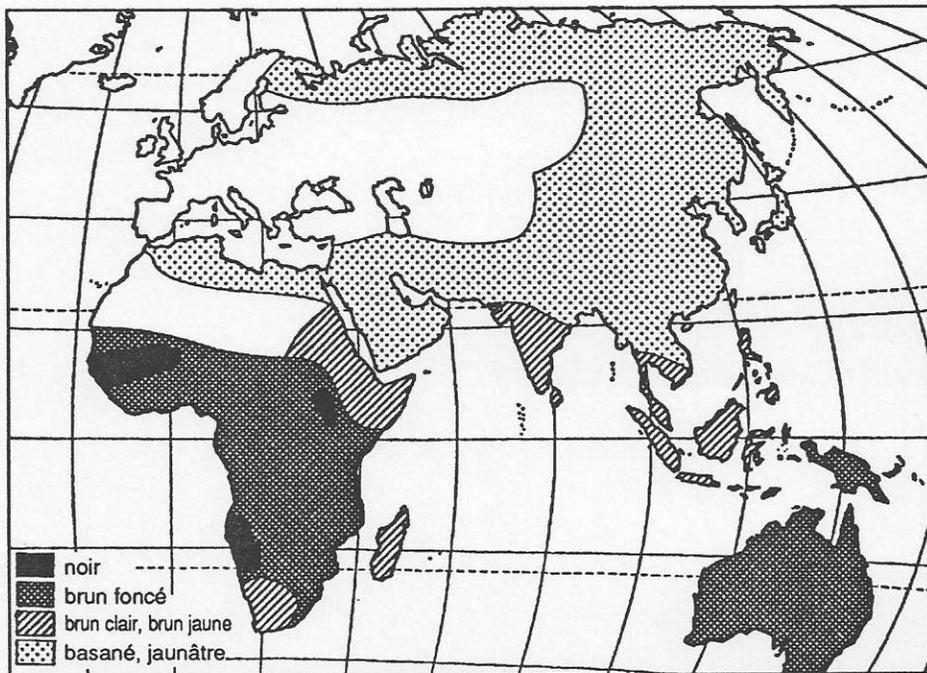


Fig. 44: La règle de Gloger et la répartition géographique de la pigmentation cutanée des races humaines (d'après Olivier, 1980).

Constantin Wilhelm Lambert GLOGER (1803-1863), zoologiste allemand, né en Pologne, ornithologue, notamment auteur de l'ouvrage: *Das Abändern der Vögel durch Einfluß des Klimas* (Breslau, 1833).

### Cas des animaux vivant en absence de lumière

De nombreux animaux des cavernes (*trogloodytes*) et des eaux souterraines (*stygobiontes*) sont aveugles et dépigmentés.

Exemple du Protée (*Proteus anguinus*, all.: *Grottenolm*):

- Salamandre des ruisseaux et lacs souterrains du Nord de l'Italie (près de Trieste) et des régions côtières de l'ancienne Yougoslavie;
- reste pendant sa vie entière à l'état larvaire;
- aveugle et dépigmenté;
- exposé à la lumière, il se pigmente progressivement.

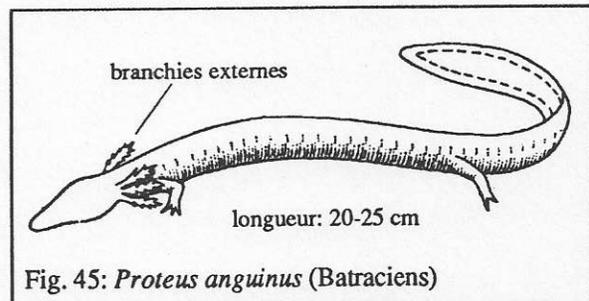


Fig. 45: *Proteus anguinus* (Batraciens)

Exemple du *Niphargus*:

- Crevette d'eau douce voisine des Gammars (Crustacés);
- vit dans les griffons des sources, l'eau des puits, des grottes ou des galeries;
- plusieurs espèces au Luxembourg;
- pas de trace d'yeux;
- pas de pigments, même chez l'animal placé dans un milieu éclairé;
- existence d'une certaine sensibilité à la lumière au niveau des téguments: l'animal fuit la lumière (*phototaxie négative*).

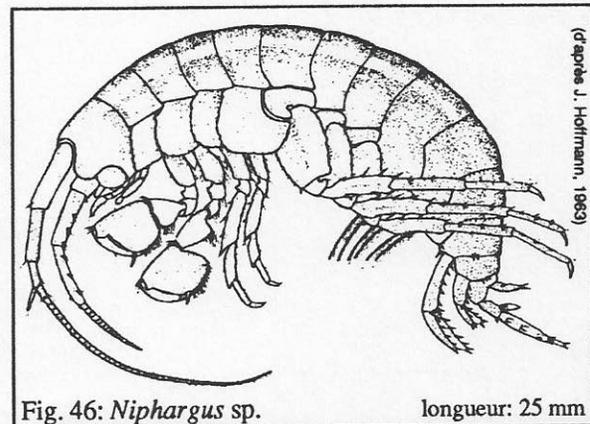


Fig. 46: *Niphargus* sp.

L'absence de lumière n'entraîne pas toujours la dépigmentation de la peau ni la régression des yeux. La *Taupe* possède bien des yeux atrophiés, cachés par la peau, mais son pelage est chargé de pigments noirs. De nombreux Poissons et Crustacés vivant dans l'obscurité des fonds océaniques ont même des yeux très développés.

## Influence de la lumière sur le comportement et la physiologie des animaux

La lumière agit sur les animaux par:

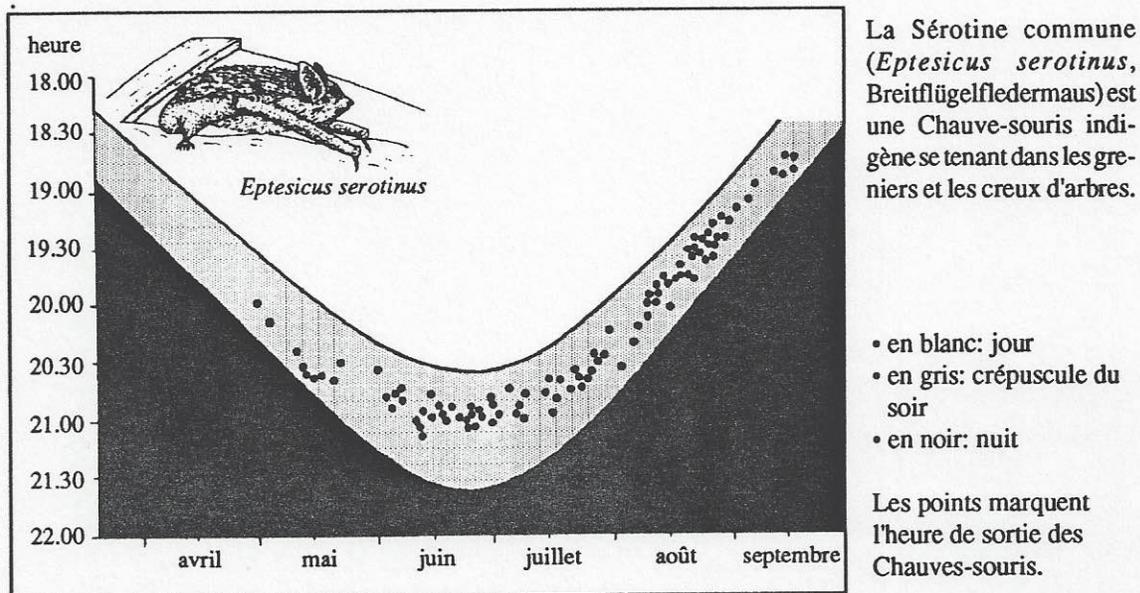
- ses variations journalières (*rythme nycthéméral*);
- ses variations saisonnières (*photopériodisme*).

### Rythme nycthéméral

Le *rythme nycthéméral*, c.-à-d. l'alternance entre le jour et la nuit, règle le rythme de l'activité animale. On distingue:

- les animaux diurnes (*Tagtiere*),
- les animaux crépusculaires (*Dämmerungstiere*),
- les animaux nocturnes (*Nachttiere*).

Fig. 47: Début de la phase active de la *Sérotine commune* en fonction du crépuscule (d'après Tischler, 1979).



## Photopériodisme

### Photopériodisme chez les Vertébrés

L'influence du photopériodisme a été particulièrement étudiée chez les Oiseaux où il conditionne la reproduction, la mue et les migrations. Des phénomènes analogues ont été constatés chez les Mammifères: mue, hibernation, formation des bois chez les Cerfs, etc.

La baisse de température n'est donc pas la cause directe des phénomènes d'adaptation à l'hiver que nous avons étudiés chez les homéothermes. Ces phénomènes sont en réalité déclenchés par la diminution de la photopériode et les changements hormonaux qu'elle entraîne.

La lumière agit par l'intermédiaire des yeux sur les centres nerveux de l'hypothalamus et sur l'hypophyse. Elle peut également agir directement sur les centres nerveux à travers les os crâniens (action se poursuivant après extirpation des globes oculaires ou après section des nerfs optiques).

Un éclairage artificiel de 15 heures par jour du Canard impubère stimule le testicule qui grossit. Au bout de deux semaines la spermatogenèse est normale et complète.

La lumière favorisant la ponte, les éleveurs de poules pondeuses éclairent leurs poulaillers pendant plusieurs heures dès que les jours se font plus courts.

Fig. 48: Courbe de l'évolution du testicule de Canard adulte au cours de l'année.

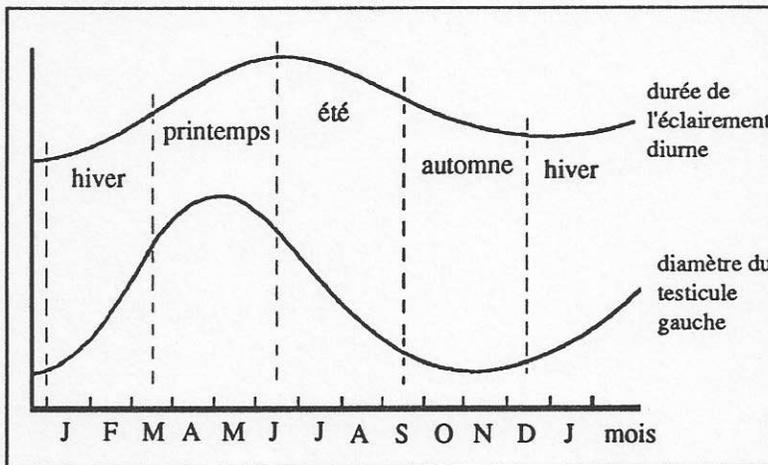
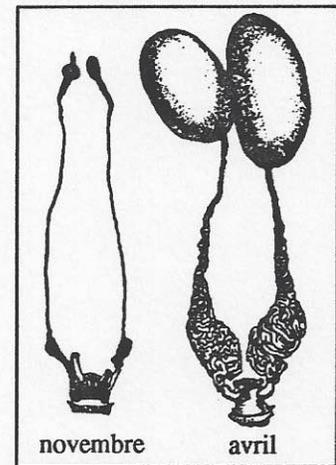


Fig. 49: Variations saisonnières du testicule d'Etourneau.



L'influence de la lumière permet de comprendre les différences géographiques dans l'apparition des premières règles (*ménarche*) chez la Femme:

- régions chaudes : 9 - 11 ans (Négresses de Sierra-Leone: 10 ans),
- régions tempérées: 12 - 14 ans,
- régions froides : 16 - 18 ans (Laponnes: 18 ans).

### Photopériodisme chez les Invertébrés

Chez le Papillon Carte-géographique (*Araschnia levana*, *Landkärtchen*), il existe un dimorphisme saisonnier lié à la photopériode.

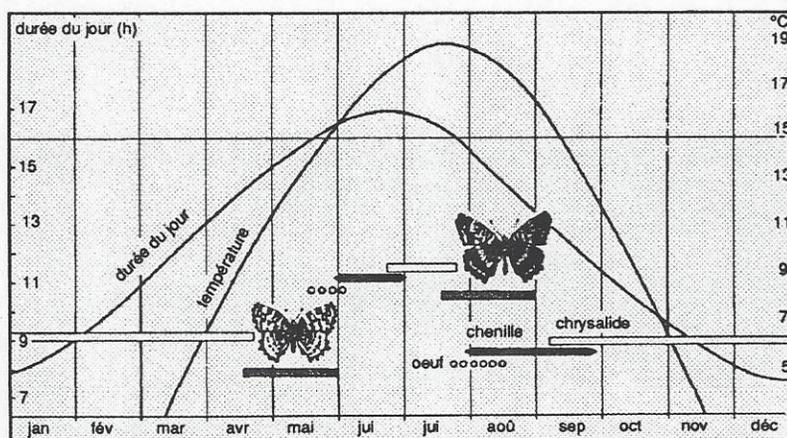
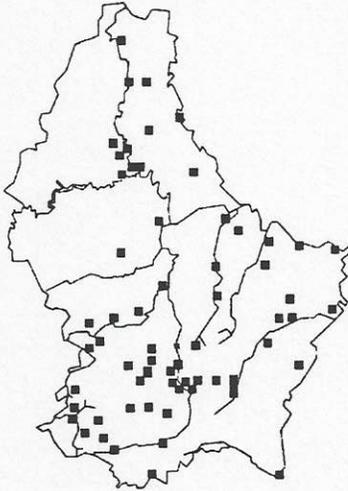


Fig. 50: Dimorphisme saisonnier chez le Carte-géographique (*Araschnia levana*, *Landkärtchen*) (d'après Tischler, 1979).

Fig. 51: Le *Carte-géographique* au Luxembourg (d'après Meyer & Pelles, 1981).



La *forme vernale* du *Carte-géographique* qui s'est développée sous les conditions de jour court, a une coloration plus claire que la *forme estivale* (développement sous les conditions de jour long). La différence est telle que les deux générations ont été longtemps considérées comme deux espèces différentes.

Le *Carte-géographique* se trouve chez nous dans les régions boisées et le long des chemins de campagne bordés de haies. La chenille se développe sur les Orties.

### 2.1.3. L'humidité et l'eau

Tous les êtres vivants ont besoin d'eau. Si celle-ci constitue le milieu naturel de beaucoup de végétaux et d'animaux aquatiques, son importance n'est pas moindre en milieu terrestre. L'humidité de l'air et du sol est fonction des précipitations.

Selon leurs besoins en eau, on peut classer les êtres vivants en plusieurs catégories:

- les *hydrophiles*: plantes (*hydrophytes*) et animaux aquatiques;
- les *hygrophiles*: plantes (*hygrophytes*) et animaux des milieux très humides (ex.: Salamandre, Lombric);
- les *mésophiles*: plantes (*mésophytes*) et animaux ayant des besoins modérés en humidité (cas le plus fréquent);
- les *xérophiles*: plantes (*xérophytes*) et animaux des milieux secs (pelouses sèches, déserts).

Les *plantes grasses* ou *succulentes* représentent un cas particulier de xérophytisme. Leurs organes aériens peuvent mettre de l'eau en réserve:

- dans les tiges : Cactées;
- dans les feuilles: Orpin brûlant (*Sedum acre*, all.: *Scharfer Mauerpfeffer*, lux.: *Héngerféiss*);  
Joubarbe (*Sempervivum tectorum*, all.: *Hauswurz*, lux.: *Donnerkraut*).

Ces plantes se rencontrent chez nous sur les murs et les rochers ensoleillés.

Fig. 52: Exemples de plantes succulentes.

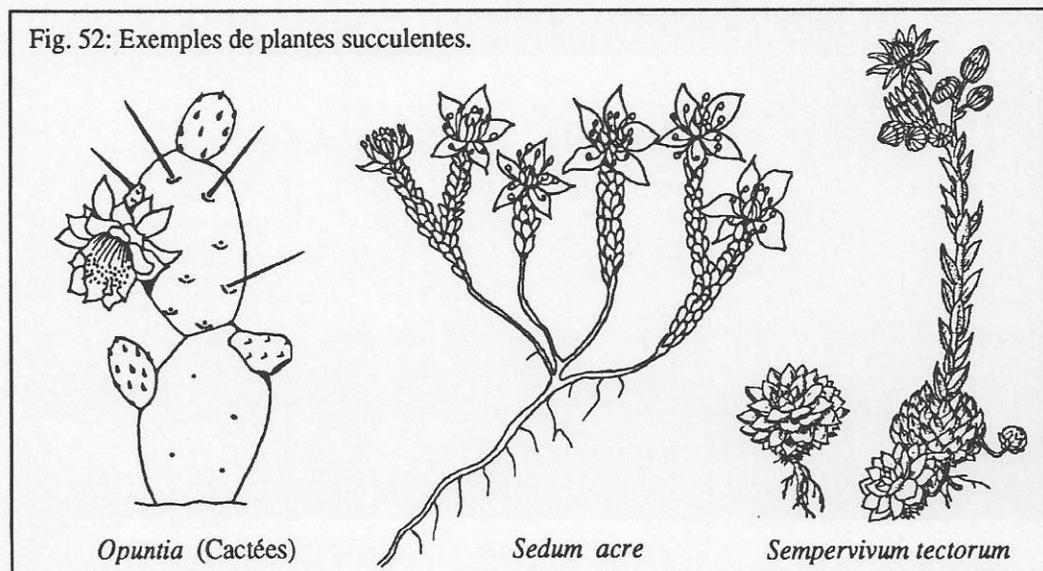
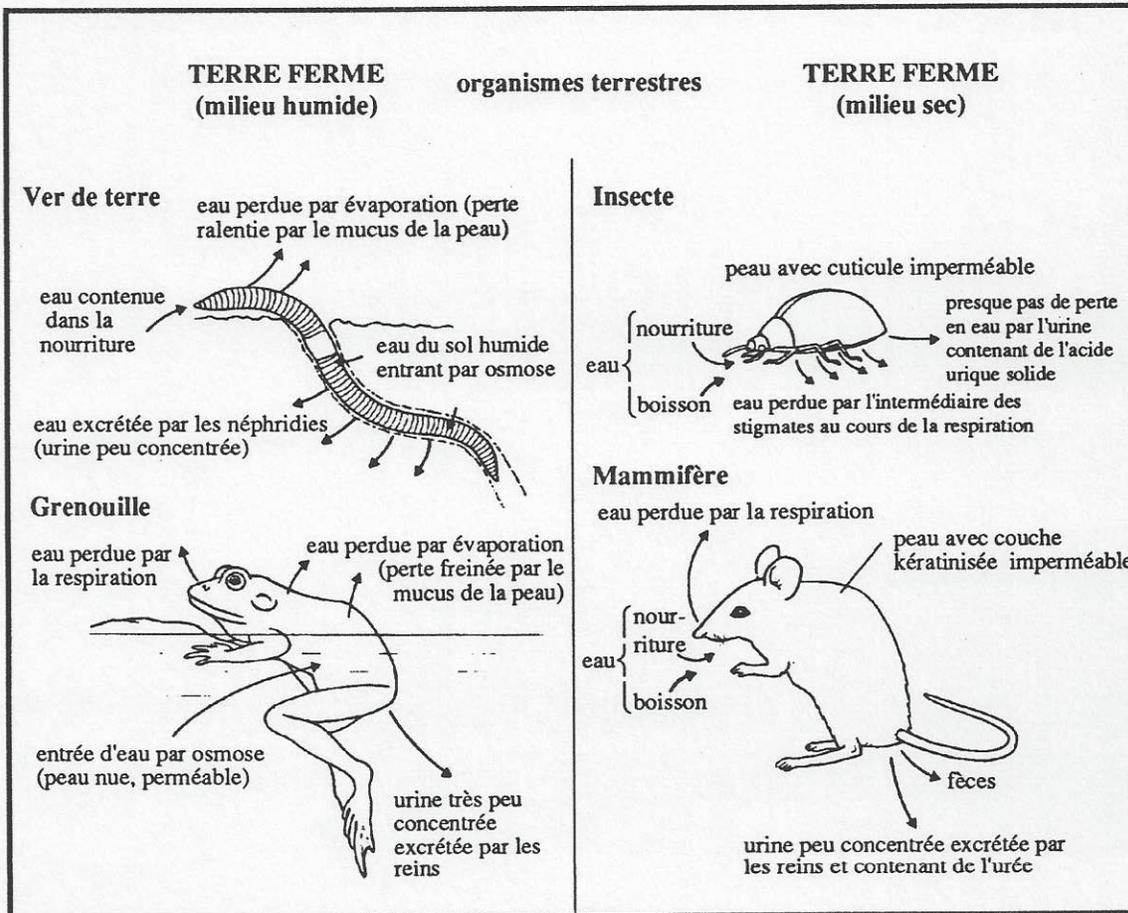
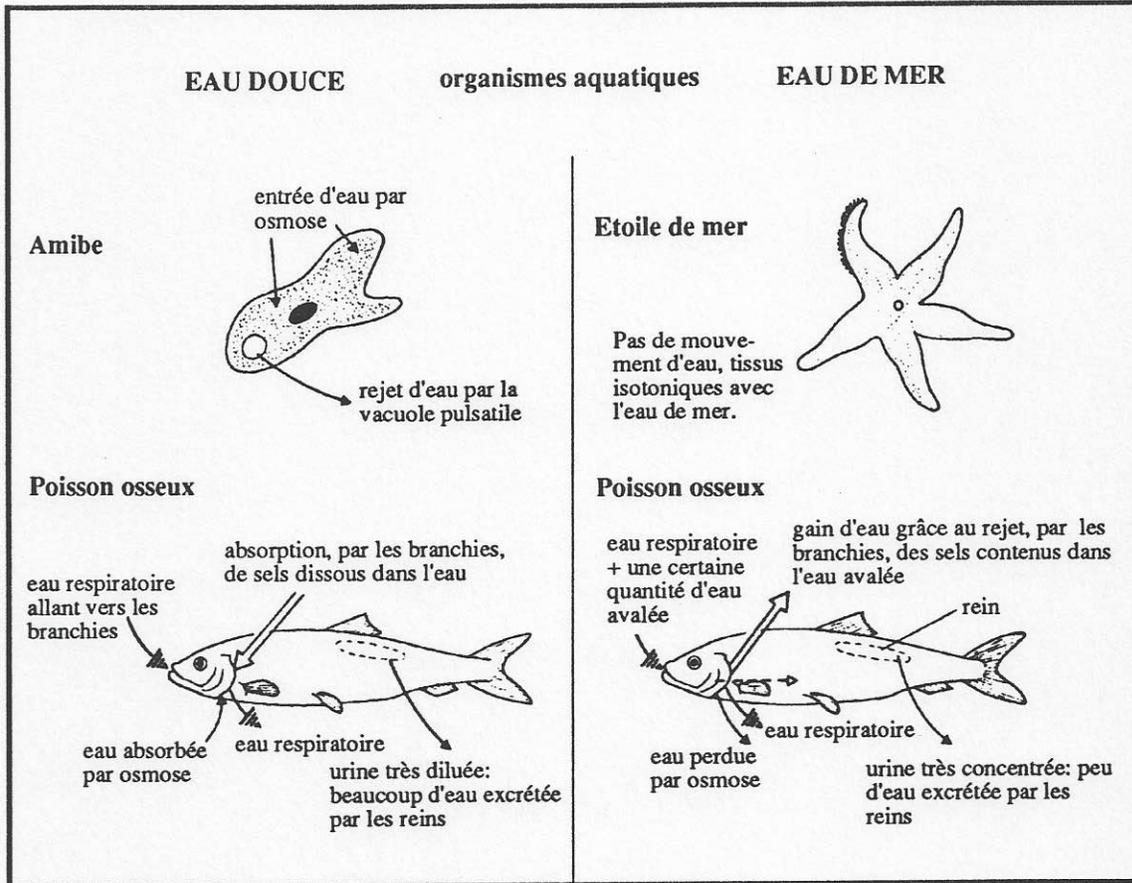


Fig. 53: Absorption de l'eau, conservation de l'eau et excrétion de l'excès d'eau chez les animaux (d'après Ford-Robertson, 1991).



## 2.1.4. Le sol

### 2.1.4.1. Définition

Le sol est le facteur édaphique par excellence pour les organismes terrestres. C'est une formation meuble qui résulte de l'altération des couches supérieures de la lithosphère sous l'action du climat, du relief et des organismes vivants. L'étude du sol est le domaine de la *pédologie*.

### 2.1.4.2. Composition chimique

Du point de vue de la composition chimique, le sol comprend deux grandes catégories de constituants:

◆ les constituants minéraux:

- le calcaire,
- l'argile,
- le sable, etc.
- l'eau (en proportion variable)

◆ les constituants organiques:

- l'*humus brut* (débris des structures végétales et animales encore visibles);
- les *particules humiques* (très fines, invisibles à l'oeil nu, résultent de la décomposition de l'humus brut).

### 2.1.4.3. Caractéristiques physiques

Du point de vue physique, le sol est avant tout caractérisé par:

◆ *la texture ou composition granulométrique (Korngrößenzusammensetzung)*

La notion de texture se rapporte à la grosseur des matériaux constitutifs de la fraction minérale du sol qui peuvent être classés en plusieurs groupes:

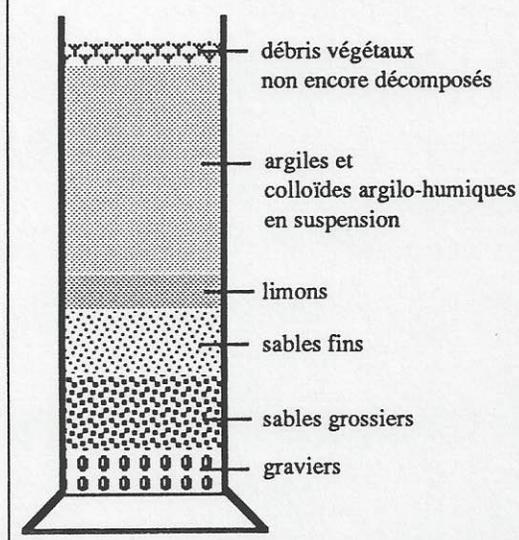
- les *graviers et cailloux*: diamètre: >2 mm;
- les *sables*: diamètre: 2 mm - 50 µm;
- les *limons* (all.: *Schluff*): diamètre: 50 µm - 2 µm;
- les « *argiles* » (all.: *Ton*) ou la *fraction fine*: diamètre: <2 µm.

En fonction de la prédominance de l'un ou de l'autre groupe, on parle de:

- *sol argileux*: terre collante, qui se moule facilement en boudin et résiste à la trituration entre les doigts;
- *sol limoneux*: trituration aisée, sensation d'onctuosité dans la main, moulage imparfait;
- *sol sableux*: facilement reconnaissable aux sables qui grattent sous les doigts.

Les *sols compacts* sont riches en argiles; les *sols légers* sont pauvres en argiles.

Fig. 54: Séparation des constituants d'un sol par sédimentation dans l'eau.



◆ *la structure du sol (Bodengefüge)*

La notion de structure est en rapport avec la manière dont les particules du sol s'arrangent entre elles. Elle est déterminée par les grosses molécules présentes dans le sol: *molécules minérales (argiles)* ou *organiques (acides humiques)*. Les acides humiques sont des produits intermédiaires de la dégradation de la cellulose et de la lignine.

Les argiles sont insolubles dans l'eau, où elles restent en suspension à l'état de très fines particules: ce sont des *colloïdes*. Les particules argileuses sont chargées négativement; elles se repoussent donc mutuellement et restent ainsi *dispersées*. L'introduction de cations tels  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$  dans de l'eau contenant de l'argile en suspension neutralise les charges négatives. Les particules ne se repoussent plus, l'argile sédimente: elle passe de l'état dispersé à l'état *floculé*.

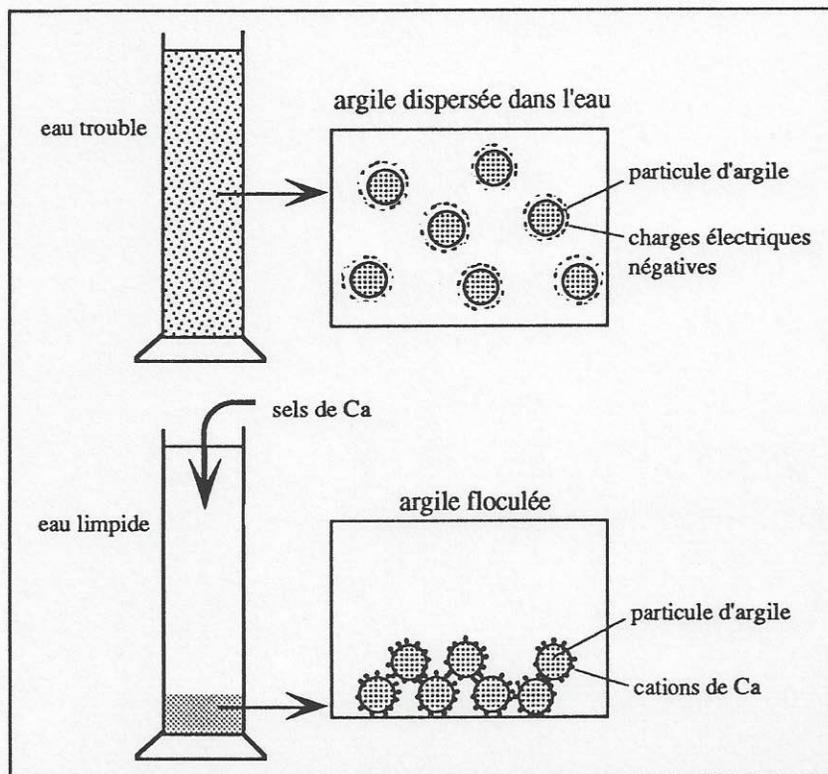


Fig. 55: Les deux états de l'argile.

Dans le sol, les argiles et les acides humiques peuvent se regrouper en présence de cations et former des complexes colloïdaux: *les complexes argilo-humiques* qui finalement déterminent la structure du sol.

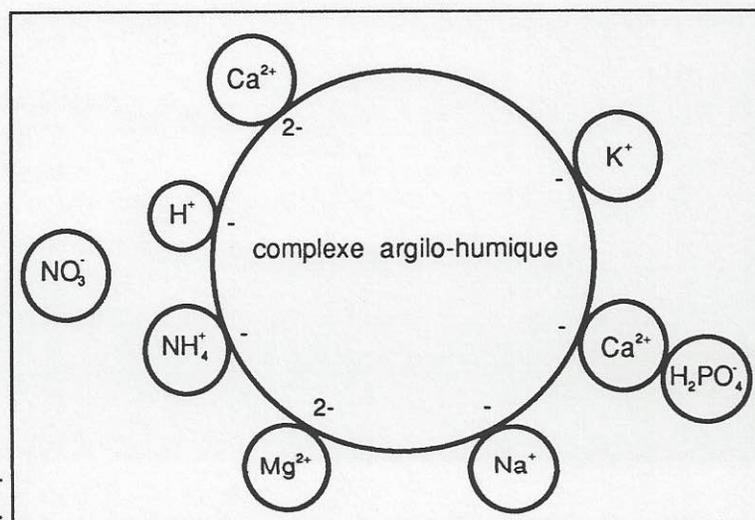
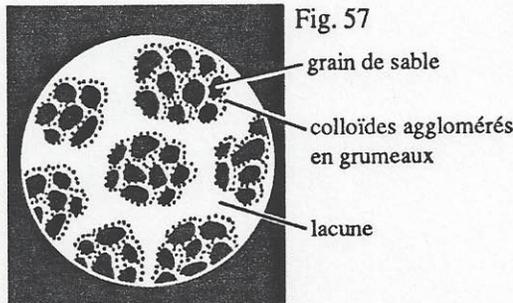


Fig. 56: Le complexe argilo-humique.

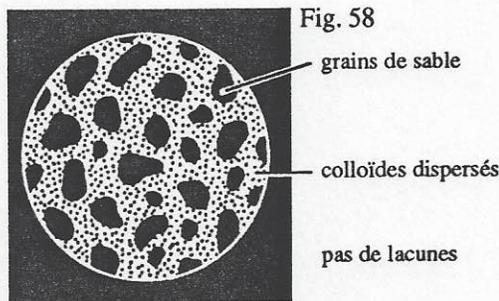
On distingue plusieurs types de structure, dont nous retenons:

• *la structure grumeleuse ou glomérulaire (Krümelgefüge):*



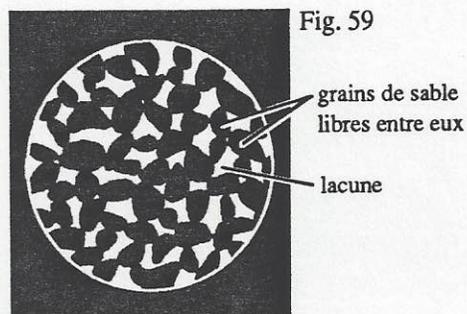
- les colloïdes argilo-humiques sont flocculés;
- ils servent de ciment aux particules minérales plus grosses;
- il y a formation d'agrégats séparés par des lacunes;
- la circulation de l'eau et de l'air, la pénétration des racines ainsi que la vie bactérienne sont favorisées par cette structure.

• *la structure compacte (Kohärentgefüge):*



- les colloïdes argilo-humiques sont dispersés;
- les particules minérales du sol sont noyées dans une masse argileuse;
- l'ensemble forme un bloc sans vides;
- la circulation de l'eau et de l'air est empêchée par cette structure (*sol asphyxiant*); la pénétration des racines est difficile.

• *la structure particulaire (Einzelkorngefüge):*



- les colloïdes argilo-humiques sont absents;
- seules les particules minérales de grande taille (>0,02 mm = sables) sont présentes;
- les particules sableuses non cimentées permettent la circulation de l'air; elles ne retiennent cependant pas l'eau.

Texture et structure déterminent la *porosité* du sol dont dépendent les quantités d'air et d'eau qui peuvent s'infiltrer et circuler dans le sol.

#### 2.1.4.4. Formation de l'humus

L'humus est dû à la décomposition biologique des débris végétaux et des cadavres animaux.

Selon le degré d'acidité, on distingue plusieurs types d'humus:

◆ le *mull* ou *humus doux*:

- humus basique à neutre;
- siège d'une transformation rapide de la matière organique;

- formant avec l'argile un *complexe argilo-humique* colloïdal;
  - typique pour des sols riches et frais;
  - généré par la forêt de feuillus et la prairie à Graminées.
- ◆ le *moder* ou *humus intermédiaire*:
- humus légèrement acide;
  - typique pour des sols pauvres;
  - généré par la forêt feuillue.
- ◆ le *mor* ou *humus brut* :
- humus très acide;
  - siège d'une transformation lente de la matière organique;
  - typique pour les sols pauvres acides ou mal aérés;
  - généré par la forêt de résineux ou la lande à Bruyère.

### 2.1.4.5. Profil du sol

La formation d'humus en surface va de pair avec la décomposition progressive de la roche sous-jacente. Il y a donc un double apport de matériau: matériau organique provenant de la litière, en haut, et matériau minéral provenant de la roche, en bas. Il en résulte une stratification qui, dans une coupe verticale du sol (*profil pédologique*), se présente sous forme de couches superposées appelées *horizons*. On distingue trois horizons fondamentaux désignés par des lettres majuscules:

- Horizon A: *horizon de lessivage* ou *horizon éluvial*.

Il est caractérisé par la présence de matière organique en décomposition (litière, humus). Ses constituants solubles sont entraînés par l'eau de pluie qui s'infiltre dans le sol; c'est le *lessivage*.

Il peut être subdivisé en horizons A<sub>0</sub> (litière) A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>.

- Horizon B: *horizon d'accumulation* ou *horizon illuvial*.

Les constituants solubles entraînés par lessivage dans l'horizon A s'accumulent dans l'horizon B. Sa teneur en argile, en fer ou en humus peut de ce fait devenir plus élevée qu'en A.

On peut distinguer: B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>.

- Horizon C: *roche-mère*.

C'est le matériau d'origine dont la décomposition a fourni les constituants minéraux de A et de B.

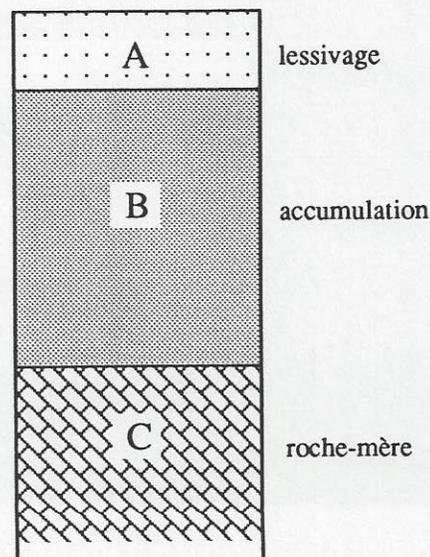
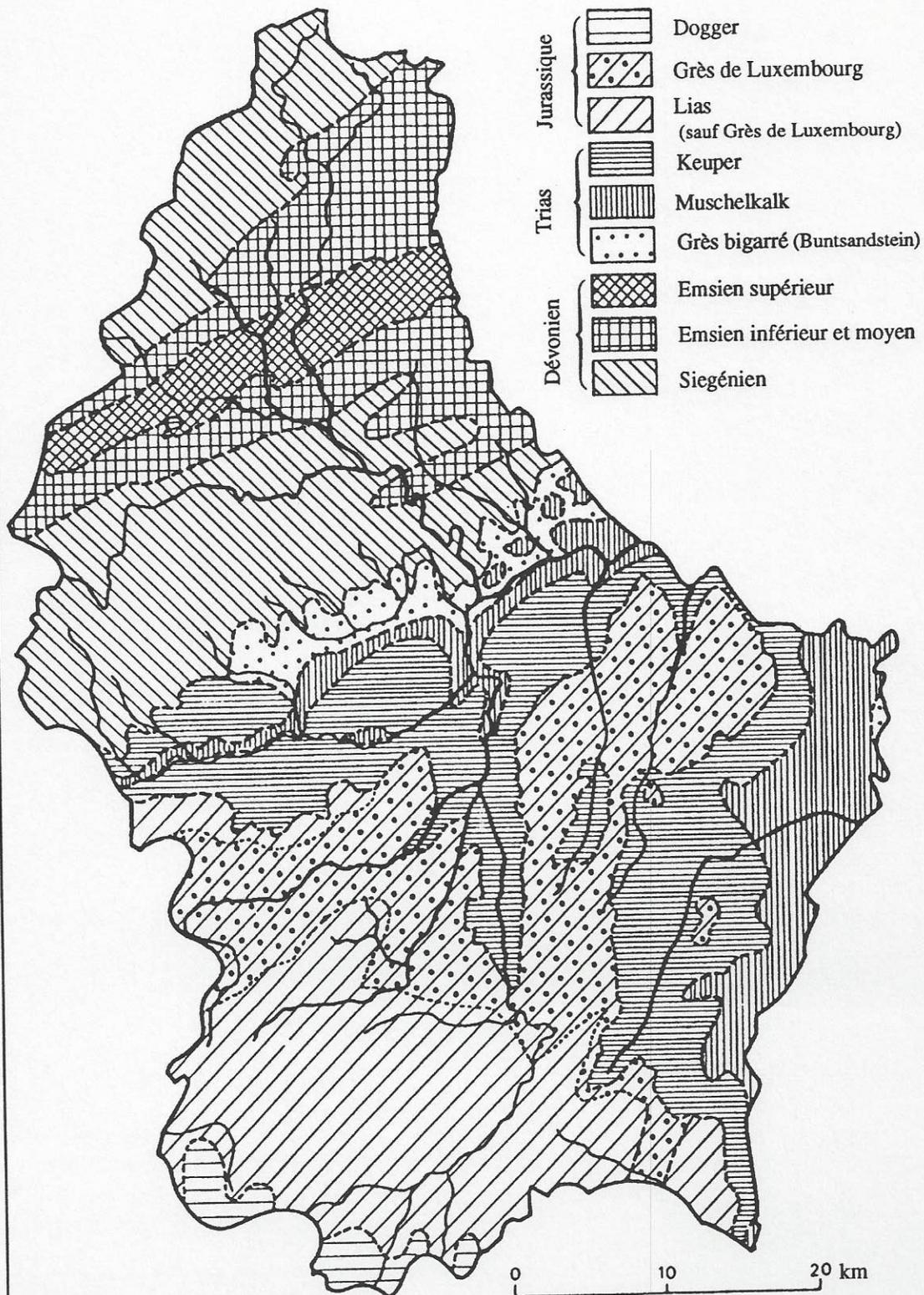


Fig. 60: Profil pédologique théorique.

Fig. 61: Carte géologique schématique du Luxembourg.



(d'après Bintz & al. in J.C. Streitz: Auf Fossiliensuche in Luxemburg. Luxemburg, 1983).

### 2.1.4.6. Les principaux types de sols luxembourgeois

#### □ Les sols bruns:

Les sols luxembourgeois appartiennent en principe au groupe des sols bruns, type de sol qui est caractéristique des régions tempérées (température moyenne: 8°C - 15°C; quantité de pluie: > 500 mm/an).

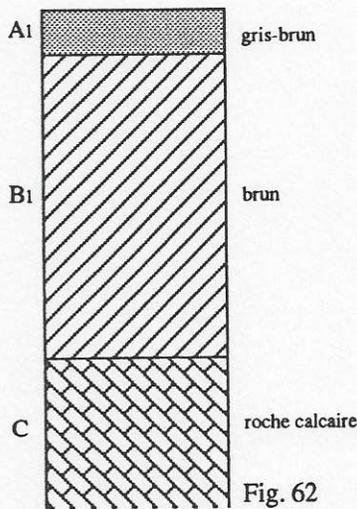


Fig. 62

#### ◆ Le sol brun forestier (Braunerde):

- humus doux (*mull*);
- horizon B peu différencié du horizon A;
- couleur due à de l'oxyde de fer hydraté;
- végétation: *forêt de feuillus* ou *prairie*;
- défrichement considérable, car il fournit d'excellentes terres de culture;
- très répandu dans notre pays.

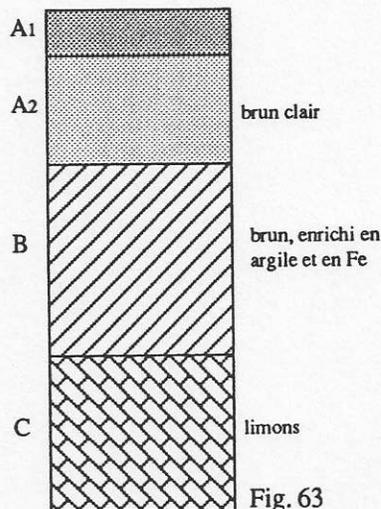


Fig. 63

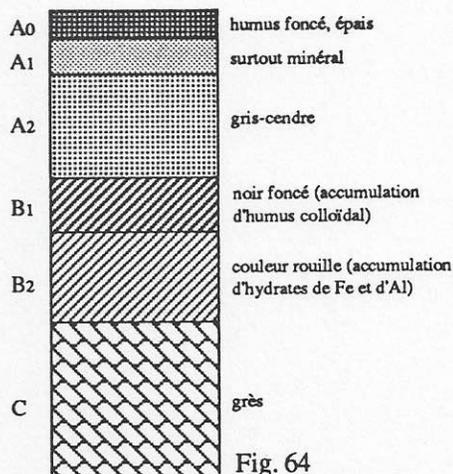
#### ◆ Le sol brun lessivé (Parabraunerde):

- humus: *moder*;
- lessivage mécanique du horizon A avec accumulation des argiles et du fer dans l'horizon B, qui devient plus foncé et est bien différencié;
- végétation: *forêt de feuillus* (chênaie-charmaie, chênaie-hêtraie);
- présent, par exemple, sur les plateaux du Grès de Luxembourg.

#### □ Les podzols (all.: *Podsol*; en russe: *podzol* = comme la cendre):

Les podzols caractérisent les régions à climat froid (température moyenne: 0° à 8°C; pluie: > 500 mm). Ce type de climat entraîne une décomposition lente de la matière organique et la formation d'un humus de type brut. Les podzols sont surtout répandus dans les pays nordiques: Russie septentrionale, Finlande, Suède septentrionale.

En climat tempéré, la podzolisation est un phénomène local caractérisé par un lessivage intense et provoqué par une végétation acidifiante (*forêt résineuse*, *lande à Bruyère*) dont l'action peut être renforcée par la nature du terrain. Chez nous, le lessivage est favorisé par les terrains siliceux (formations gréseuses du Dévonien de l'Oesling, grès bigarré, Grès de Luxembourg).

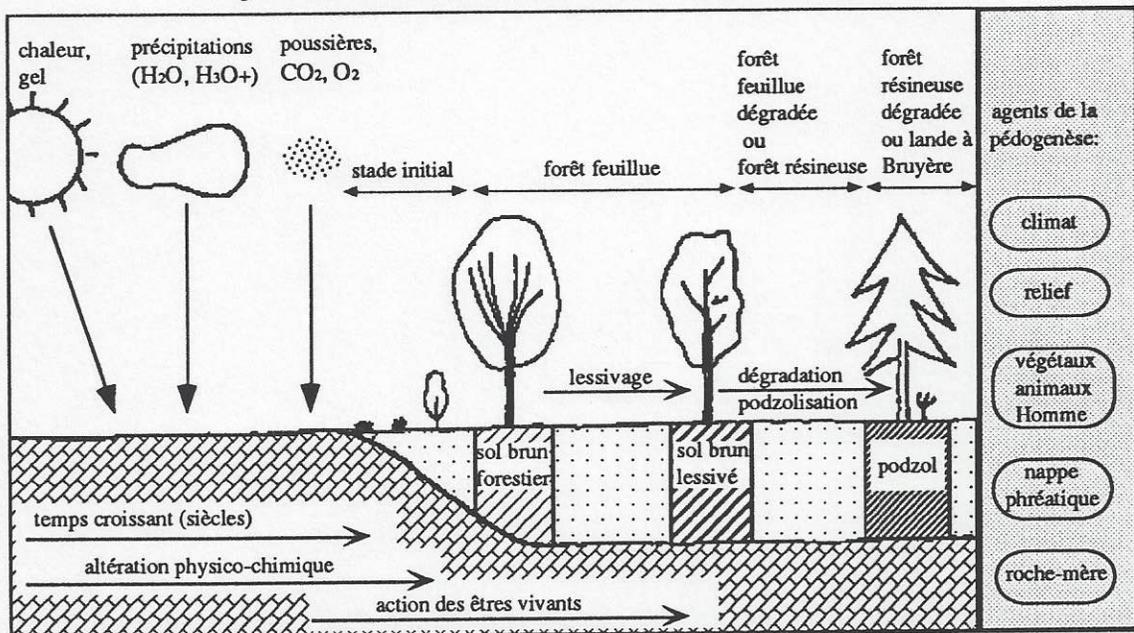


- humus: *mor* (humus brut);
- lessivage important avec transformation chimique des constituants minéraux par les acides de l'humus brut;
- végétation: *forêt de Conifères* ou *lande à Bruyère*;
- la podzolisation peut être provoquée par la substitution de Conifères à la forêt de feuillus (*sol dégradé*).

Fig. 64

D'autres types de sols très répandus au Luxembourg sont les *sols à gley* (sols engorgés d'eau, à nappe phréatique permanente à quelques décimètres de la surface), les *sols à pseudogley* (sols à engorgement périodique) et les *pélosols* (sols peu évolués, développés sur roche-mère très argileuse, imperméables dès la surface).

Fig. 65: Evolution et dégradation des sols forestiers de nos régions.



### 2.1.4.7. Le sol et la répartition des végétaux

Le sol a évidemment une influence sur la répartition des végétaux. Certaines plantes ont des exigences très précises. Elles peuvent par leur présence fournir des renseignements sur la nature chimique du sol. Ce sont des *plantes indicatrices* (*Zeigerpflanzen*).

□ Plantes indiquant la présence ou l'absence de calcaire:

- ◆ *plantes calciphiles* ou *calcicoles* : vivent sur les sols riches en calcaire (ex.: certaines *Orchidées*).
- ◆ *plantes calcifuges* ou *silicicoles* : croissent sur les sols siliceux ou argileux pauvres en calcaires (ex.: *Genêt*, *Fougère-aigle*, *Bruyère*, *Myrtille*, *Arnica des montagnes*, *Digitale*).

Fig. 66: Répartition de deux Orchidées calciphiles au Luxembourg.

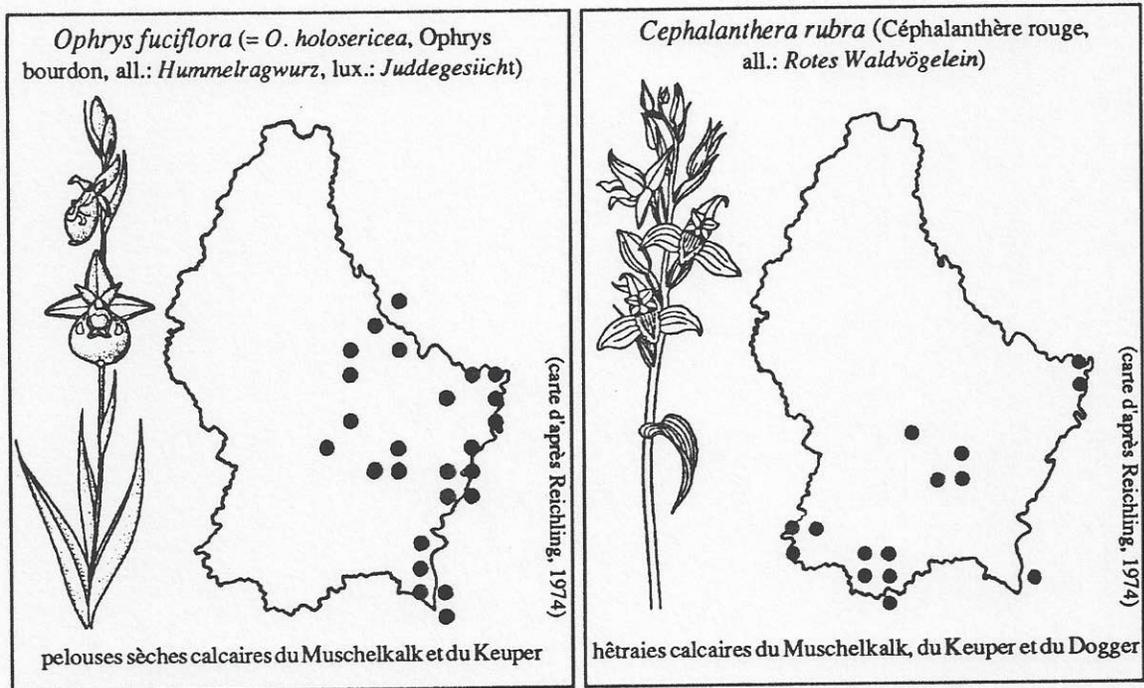
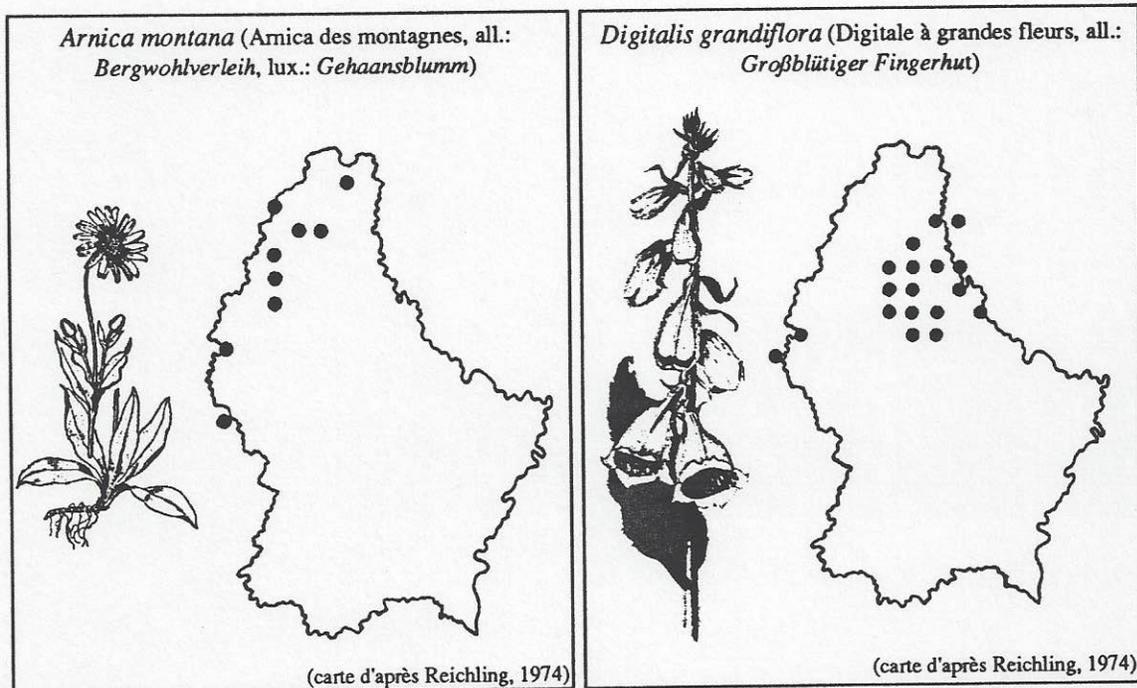


Fig. 67: Répartition de deux plantes calcifuges au Luxembourg.



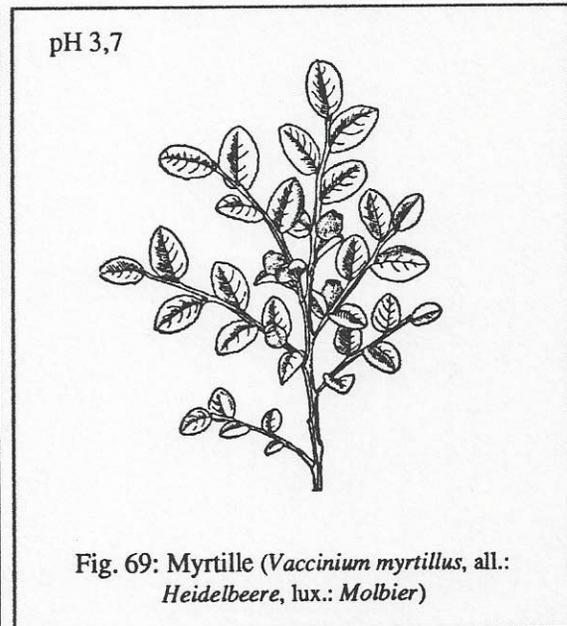
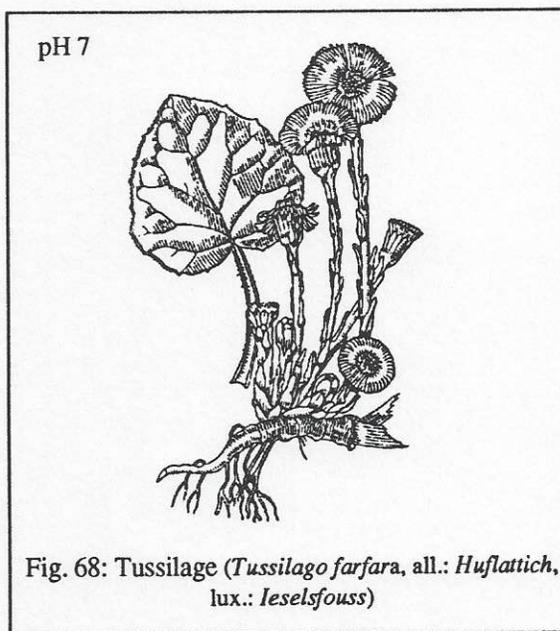
□ Plantes indiquant la présence de nitrates:

Sur les décombres et autour des étables, endroits riches en nitrates provenant de la matière organique en décomposition, se développent des *plantes nitrophiles*. Elles forment la *végétation rudérale* (lat.: *rudus*, *runderis* = décombres).

Ex.: *Ortie* (all.: Brennessel)

### □ Plantes indicatrices du pH

Le *Tussilage* (all.: *Huflattich*) se développe bien vers un pH = 7 (neutre), la *Myrtille* vers un pH = 3,7 (acide).



### 2.1.4.8. Le sol et la répartition des animaux

#### □ Influence de la structure du sol:

Les animaux fouisseurs (*Taupes*, *Lombrics*, *Musaraignes*, beaucoup d'*Insectes*) recherchent les sols meubles et bien aérés.

#### □ Influence de la composition chimique:

Beaucoup d'auteurs soulignent la relation entre la répartition des *Escargots* (Mollusques) et la teneur du sol en calcaire, dont ils ont besoin pour la fabrication de leur coquille.

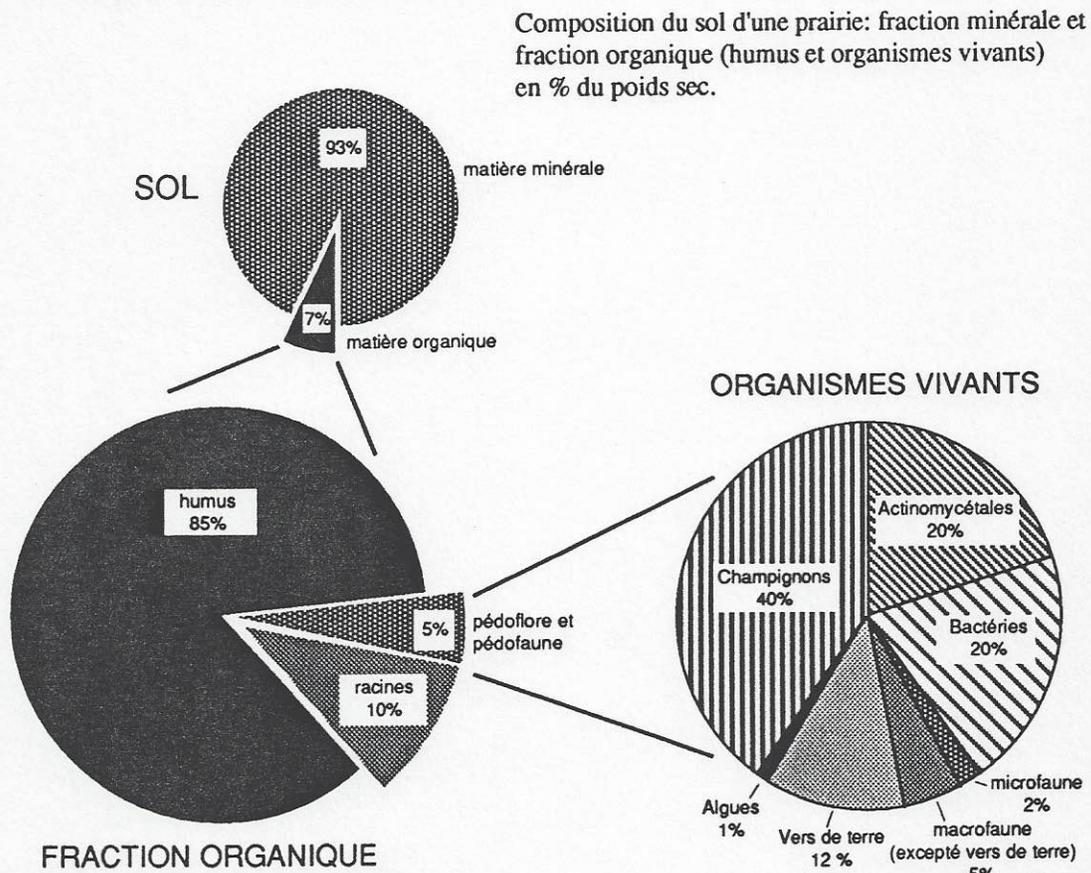
Victor FERRANT (1856-1942), l'un des pionniers de la zoologie luxembourgeoise, a relevé, de son côté, dans sa *Faune des Mollusques du Grand-Duché de Luxembourg* (1902) que les Mollusques sont moins bien représentés dans l'Oesling pauvre en calcaire que dans le Gutland riche en calcaire.

### 2.1.4.9. L'activité biologique du sol

Si l'on place un échantillon de sol sous une cloche de verre en présence d'eau de chaux, cette dernière se trouble. Il y a donc eu rejet de dioxyde de carbone par le sol. Ce rejet de CO<sub>2</sub> est lié soit à une respiration soit à une fermentation, phénomènes liés tous les deux à la présence d'organismes vivants.

Après calcination, qui détruit toute trace de vie, l'échantillon de sol ne montre plus aucun rejet de CO<sub>2</sub>. Ce sont donc bien des organismes vivants qui en ont été responsables. Il s'agit à la fois de plantes (*pédoflore*) et d'animaux (*pédofaune*).

Fig. 70: Importance quantitative des organismes du sol.



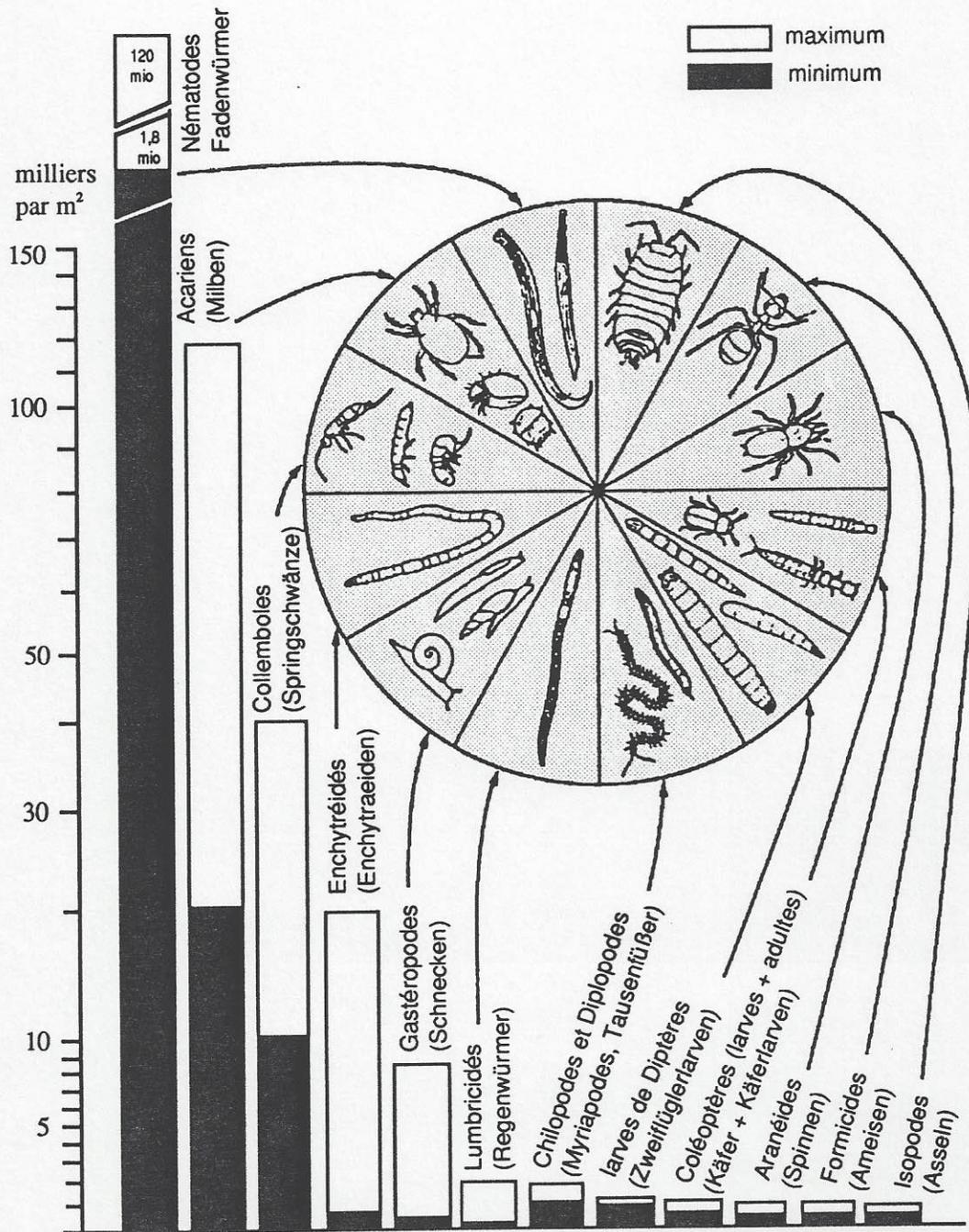
## ESTIMATION PONDERALE MOYENNE DE LA FAUNE ET DE LA FLORE DU SOL

Groupe	kg/ha	Groupe	kg/ha	Groupe	kg/ha
<i>Bactéries</i>	1000 à 7000	<i>Algues</i>	10 à 300	<i>Arthropodes</i>	1000
<i>Microchampignons</i>	100 à 1000	<i>Protozoaires</i>	5 à 10	<i>Annélides</i>	350 à 1000

## ESTIMATION DE L'IMPORTANCE DES ETRES VIVANTS DANS DIFFERENTS SOLS

Sol de	<i>Insectes</i>		<i>Lumbricidés</i>		<i>Enchytréidés</i>		<i>Collemboles</i>	<i>Acariens</i>	<i>Nématodes</i>	
	nb/m <sup>2</sup>	kg/ha	nb/m <sup>2</sup>	kg/ha	nb/m <sup>2</sup>	kg/ha	nb/m <sup>2</sup>	nb/m <sup>2</sup>	nb/m <sup>2</sup>	kg/ha
Forêt	3 · 10 <sup>3</sup>	400	78	400	3,5 · 10 <sup>3</sup>	100	4 · 10 <sup>4</sup>	8 · 10 <sup>4</sup>	6 · 10 <sup>6</sup>	60
Prairie	4,5 · 10 <sup>3</sup>	500	97	500	10,5 · 10 <sup>3</sup>	300	2 · 10 <sup>4</sup>	4 · 10 <sup>4</sup>	5 · 10 <sup>6</sup>	50
Cultures	1 · 10 <sup>3</sup>	200	41	200	2 · 10 <sup>3</sup>	60	1 · 10 <sup>4</sup>	1 · 10 <sup>4</sup>	4,5 · 10 <sup>6</sup>	45

Fig. 71: Estimation du nombre des animaux dans le sol d'une prairie d'Europe (surface: 1 m<sup>2</sup>, profondeur: 70 cm).



(d'après Illies & Klausowitz, 1973)

FIG. 72: PRINCIPAUX GROUPES D'ORGANISMES ANIMAUX DU SOL (PÉDOFAUNE).

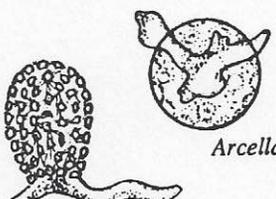
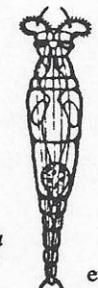
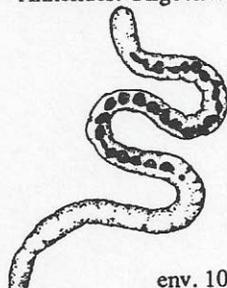
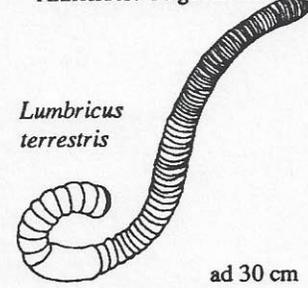
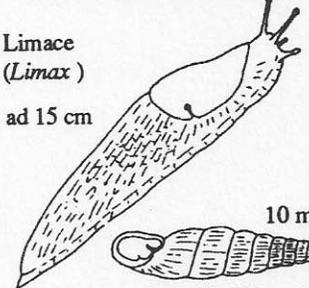
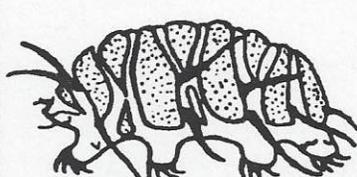
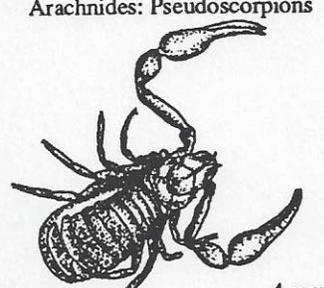
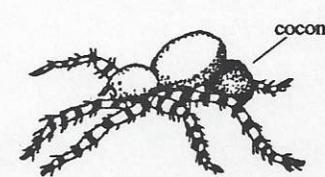
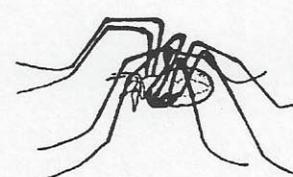
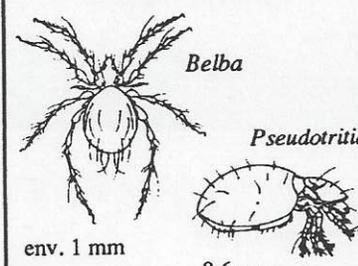
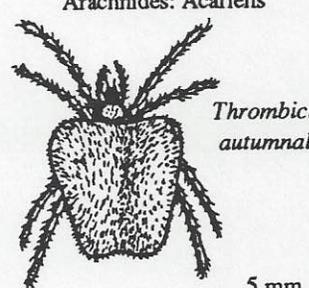
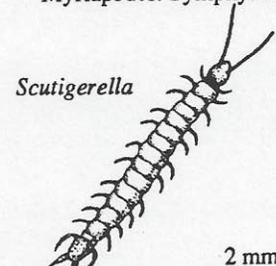
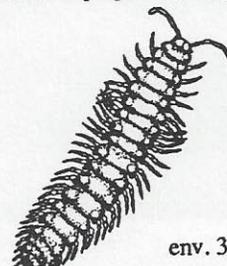
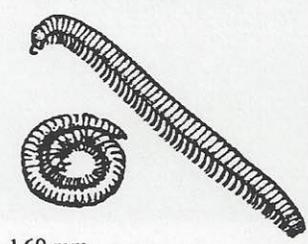
<p>Thécambiens (Schalenamöben) Protozoaires</p>  <p><i>Euglypha</i>      <i>Arcella</i></p> <p>env. 100 µm</p>	<p>Rotifères (Rädertiere)</p>  <p><i>Philodina</i></p> <p>env. 350 µm</p>	<p>Nématodes (Fadenwürmer)</p>  <p>0,3-2 mm</p>
<p>Enchytréidés (Enchytraeiden) Annélides: Oligochètes</p>  <p>env. 10 mm</p>	<p>Ver de terre (Regenwurm) Annélides: Oligochètes</p>  <p><i>Lumbricus terrestris</i></p> <p>ad 30 cm</p>	<p>Gastéropodes (Schnecken)</p> <p>Limace (<i>Limax</i>) ad 15 cm</p>  <p>10 mm</p> <p>Clausilie (<i>Clausilia</i>)</p>
<p>Tardigrades (Bärtierchen)</p>  <p><i>Echiniscus</i></p> <p>&lt;1 mm</p>	<p>Pseudoscorpion (Pseudoskorpion) Arachnides: Pseudoscorpions</p>  <p>4 mm</p>	<p>Araignée-loup (Wolfsspinnne) Arachnides: Aranéides</p>  <p>cocon</p> <p>femelle avec cocon</p> <p>10 mm</p>
<p>Opilion (Weberknecht) Arachnides: Opilions</p>  <p>12 mm</p>	<p>Oribatides (Hornmilben) Arachnides: Acariens</p>  <p><i>Belba</i></p> <p><i>Pseudotritia</i></p> <p>env. 1 mm      0,6 mm</p>	<p>Aoûtat (Rote Samtmilbe) Arachnides: Acariens</p>  <p><i>Thrombicula autumnalis</i></p> <p>5 mm</p>
<p>Symphyles (Zwergfüßer) Myriapodes: Symphyles</p>  <p><i>Scutigera</i></p> <p>2 mm</p>	<p>Polydesme (Bandfüßer) Myriapodes: Diplopodes (Doppelfüßer)</p>  <p>env. 30 mm</p>	<p>Iule (Schnurfüßer) Myriapodes: Diplopodes</p>  <p>ad 60 mm</p>

FIG. 72: PRINCIPAUX GROUPES D'ORGANISMES ANIMAUX DU SOL (PÉDOFAUNE)  
(suite).

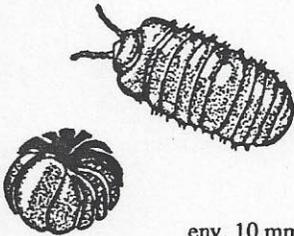
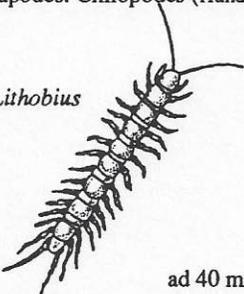
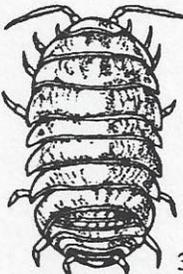
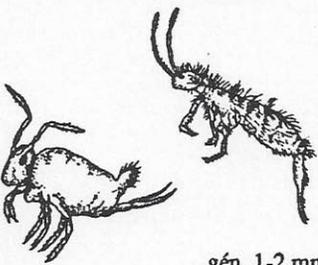
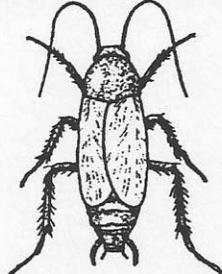
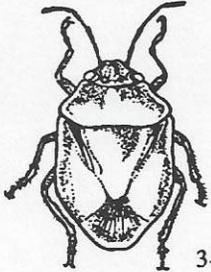
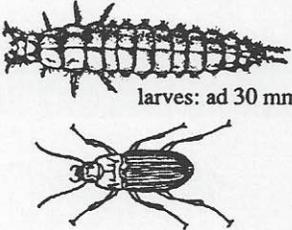
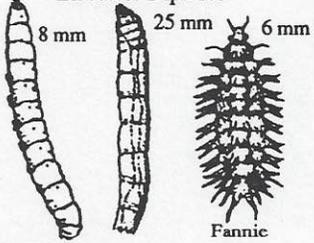
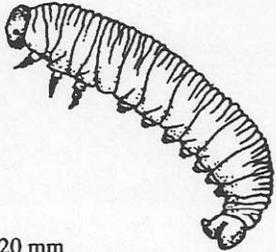
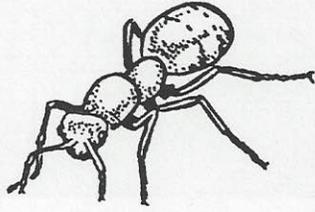
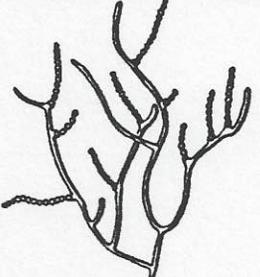
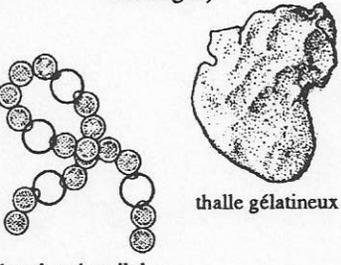
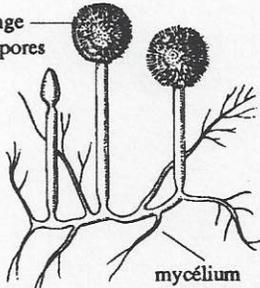
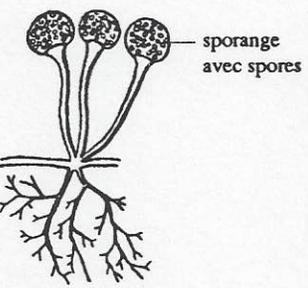
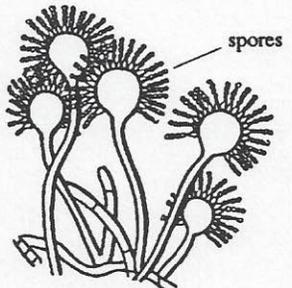
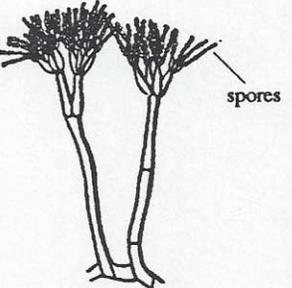
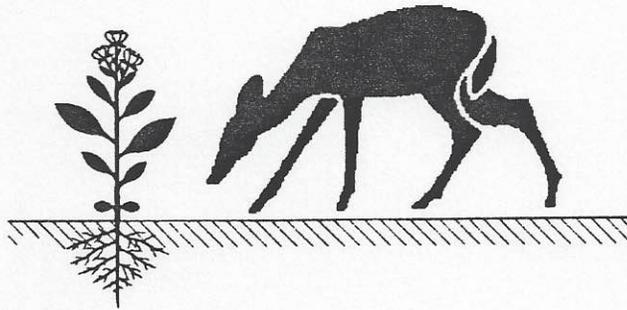
<p>Glomeris (Saftkugler) Myriapodes: Diplopodes</p>  <p>env. 10 mm</p>	<p>Lithobie (Steinkriecher) Myriapodes: Chilopodes (Hundertfüßer)</p>  <p>ad 40 mm</p>	<p>Géophile (Erdläufer) Myriapodes: Chilopodes</p>  <p>ad 40 mm</p>
<p>Cloportes (Asseln) Crustacés: Isopodes</p>  <p>3-12 mm</p>	<p>Collemboles (Springschwänze) Insectes: Aptérygotes</p>  <p>gén. 1-2 mm</p>	<p>Diploures (Doppelschwänze) Insectes: Aptérygotes</p>  <p>ad 7 mm</p>
<p>Protooures (Beintastler) Insectes: Aptérygotes</p>  <p><i>Eosentomon</i></p> <p>2 mm</p>	<p>Thysanoures (Borstenschwänze) Insectes: Aptérygotes</p>  <p><i>Machilis</i> (Felsenspringer)</p> <p>1-1,5 cm</p>	<p>Ectobius (Waldschabe) Insectes: Dictyoptères (Blattides)</p>  <p>10 mm</p>
<p>Forficule (Ohrwurm) Insectes: Dermaptères</p>  <p>12-15 mm</p>	<p>Punaises (Wanzen) Insectes: Hétéroptères</p>  <p>3-10 mm</p>	<p>Carabes (Laufkäfer) Insectes: Coléoptères</p>  <p>larves: ad 30 mm adultes: ad 25 mm</p>
<p>Larves de Diptères (Fliegenlarven) Insectes: Diptères</p>  <p>8 mm      25 mm      6 mm</p> <p>Mycétophile (Pilzmücke)      Tipule (Schnake)      Fannic (Kleine Stubenfliege)</p>	<p>Larve de Tenthrède (Blattwespe) Insectes: Hyménoptères</p>  <p>ad 20 mm</p>	<p>Fourmi (Ameise) Insectes: Hyménoptères</p>  <p>4-18 mm</p>

FIG. 73: PRINCIPAUX GROUPES D'ORGANISMES VÉGÉTAUX DU SOL (PÉDOFLORE).

<p><i>Cytophaga</i> (Bactéries)</p>  <p>aérobie, cellulolytique</p>	<p><i>Clostridium</i> (Bactéries)</p>  <p>anaérobie</p>	<p><i>Rhizobium</i> (Bactéries)</p>  <p>diverses phases de développement (Bactérie polymorphe); se trouve dans les nodosités des racines des Légumineuses</p>
<p><i>Streptomyces</i> (Bactéries: Actinomycétales, Strahlenpilze)</p> 	<p><i>Nostoc</i> (Cyanophycées, Blaualgen)</p>  <p>chapelets de cellules thalle gélatineux</p>	<p><i>Mucor</i> (Champignons)</p>  <p>sporange avec spores mycélium</p>
<p><i>Rhizopus</i> (Champignons)</p>  <p>sporange avec spores</p>	<p><i>Aspergillus</i> (Champignons)</p>  <p>spores</p>	<p><i>Penicillium</i> (Champignons)</p>  <p>spores</p>



---

## 2.2.

# Facteurs biotiques

---



### 2.2.1. Action des êtres vivants sur le milieu abiotique

Si le milieu agit sur les organismes, ceux-ci, en revanche, peuvent à leur tour exercer une action profonde sur celui-ci et en modifier les conditions abiotiques.

□ Ainsi, l'installation progressive d'une forêt sur un terrain découvert modifie:

- les *facteurs climatiques* (luminosité, température, humidité, force du vent, etc.); ces modifications sont en relation notamment avec la taille des arbres et la densité de leur feuillage;
- les *facteurs édaphiques*, à savoir la teneur du sol en:
  - substances minérales (eau et sels minéraux);
  - substances organiques (décomposition de la litière et formation de l'humus).

□ Dans le domaine des animaux, l'action des *Vers de terre* sur le milieu est significative:

Les Vers de terre ingèrent une grande quantité d'aliments formés en bonne partie par des débris végétaux entremêlés de terre. Ils peuvent également avaler de la terre lorsqu'ils creusent leurs galeries dans le sol. Par an et par hectare de forêt, 20 à 30 tonnes de terre passent de cette manière par leur tube digestif; ces matières non digérées sont rejetées à la surface et assurent ainsi un brassage non négligeable du sol. On a calculé qu'en 65 ans toute la partie labourable du sol passe par le tube digestif des Vers de terre.

D'un autre côté, par leurs galeries, qui peuvent s'enfoncer jusqu'à une profondeur de 1,5 à 2 m, ils contribuent à la bonne aération du sol et à une pénétration plus rapide de l'eau de pluie.

L'action des Vers de terre sur leur milieu est donc à la fois *chimique* et *mécanique*.

L'un des premiers à comprendre pleinement l'influence fondamentale des Vers de terre sur la fertilité du sol a été Charles Darwin (1809-1882). Il a consacré à cette question toute une monographie intitulée: «*The formation of vegetable mould through the action of worms, with observation of their habits*» (1881).

«Wenn wir eine weite mit Rasen bedeckte Fläche betrachten, so müssen wir dessen eingedenk sein daß ihre Glätte, auf welcher ihre Schönheit in einem so hohen Grade beruht, hauptsächlich dem zuzuschreiben ist, daß alle die Ungleichheiten langsam von den Regenwürmern ausgeebnet worden sind. Es ist wohl wunderbar, wenn wir uns überlegen, daß die ganze Masse des oberflächlichen Humus durch die Körper der Regenwürmer hindurchgegangen ist und alle paar Jahre

wiederum durch sie hindurchgehen wird. Der Pflug ist eine der allerältesten und wertvollsten Erfindungen des Menschen; aber schon lange, ehe er existierte, wurde das Land durch Regenwürmer regelmäßig gepflügt und wird fortdauernd noch immer gepflügt. Man kann wohl bezweifeln, ob es noch viele andere Tiere gibt, welche eine so bedeutungsvolle Rolle in der Geschichte der Erde gespielt haben, wie diese niedrig organisierten Geschöpfe.» (Darwin, 1881, trad.)

## 2.2.2. Action des êtres vivants entre eux

### 2.2.2.1. Relations interspécifiques

#### La compétition interspécifique (zwischenartliche Konkurrenz)

Lorsque deux espèces vivant dans un milieu donné ont des besoins identiques, elles entrent en *compétition*. Cette compétition tend vers l'éviction de l'une des deux espèces concurrentes.

Ainsi, l'introduction en Europe de l'Écrevisse américaine (*Cambarus affinis*), plus résistante à la peste d'Écrevisse que l'espèce indigène *Astacus astacus*, a entraîné un remplacement progressif de cette dernière par la première.

Certaines espèces végétales sécrètent des *substances chimiques* qui inhibent le développement d'autres espèces. On parle d'*allélopathie* (gr.: *allelos* = réciproque; gr.: *pathos* = maladie).

#### □ Allélopathie chez les végétaux supérieurs.

Des tomates, des laitues, etc. plantées à proximité d'un Noyer (*Juglans* sp., all.: *Walnußbaum*, lux.: *Nëssert*) ne prospèrent guère. L'explication de ce phénomène bien connu en horticulture est la suivante: Les tissus du Noyer contiennent une substance chimique dérivée de la quinone. Ce dérivé quinonique, lui-même inactif, est présent dans les feuilles mortes et les fruits tombés par terre. Extrait par l'eau de pluie, le composé quinonique passe dans le sol, y est oxydé et ainsi transformé en une forme active, la *juglone*, qui inhibe la croissance d'autres végétaux.

Semé ensemble avec d'autres espèces végétales, le Mélilot blanc (*Melilotus albus*, all.: *Steinklee*, lux.: *Stäkléi*) en inhibe plus ou moins fortement la germination respectivement le développement des jeunes plantules de ces espèces.

Un comportement analogue est montré par l'Épervière piloselle (*Hieracium pilosella*, all.: *Kleines Habichtskraut*, lux.: *Kazefouss*) et bien d'autres végétaux supérieurs.

Fig. 74: Allélopathie chez le Noyer (*Juglans*).

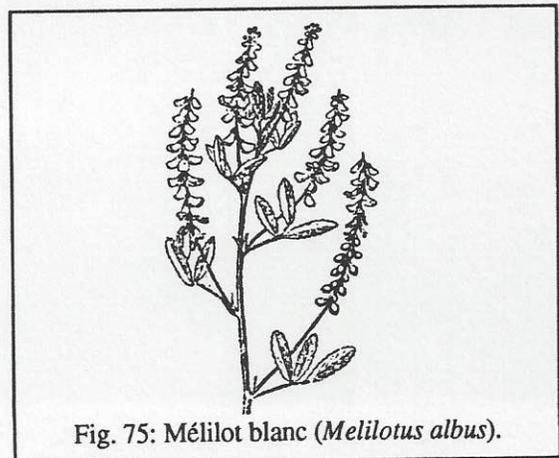
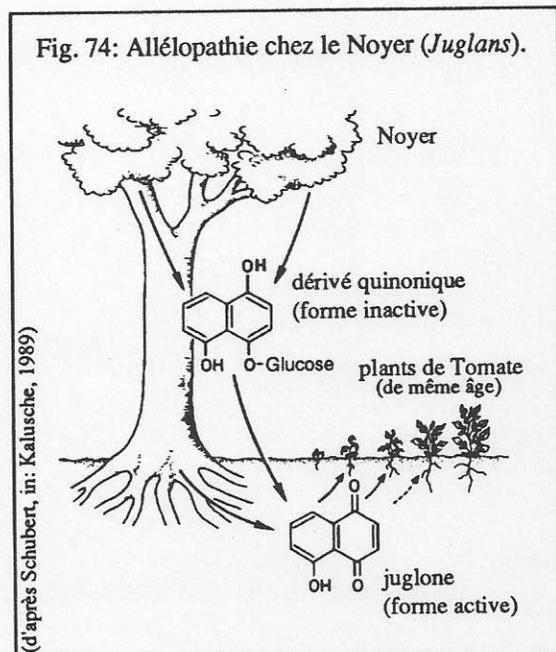
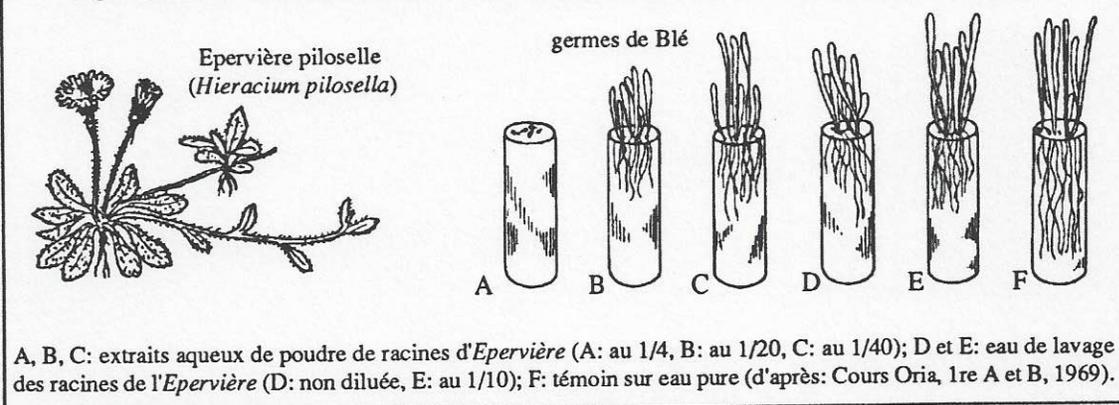


Fig. 75: Mélilot blanc (*Melilotus albus*).

Fig. 76: Action des sécrétions de la racine de l'*Epervière piloselle* sur la germination du Blé.



### □ Allélopathie chez les végétaux inférieurs.

Beaucoup de Moisissures sécrètent des *antibiotiques* s'opposant au développement des Bactéries, qui se nourrissent des mêmes substances qu'elles, c.-à-d. de matière organique.

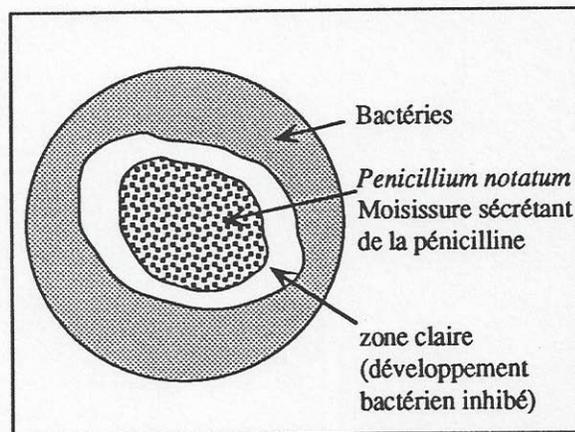


Fig. 77: Action de *Penicillium notatum* sur une culture de Bactéries.

## La niche écologique

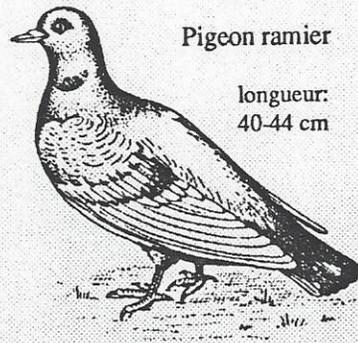
La compétition interspécifique peut être évitée par la formation de *niches écologiques*.

Ainsi, le Pigeon ramier (all.: *Ringeltaube*, lux.: *Grouss Bëschdauf*) et le Pigeon colombin (all.: *Hohltaube*, lux.: *Kleng Bëschdauf*) vivent sur le même arbre, mais ne se concurrencent pas, leurs besoins étant différents:

	<i>Pigeon ramier</i>	<i>Pigeon colombin</i>
nid	dans le branchage	dans une cavité du tronc
nourriture	fruits, chenilles, vers, limaces	fruits
quête de la nourriture	près du lieu de nidification	loin du lieu de nidification

On dit que chaque oiseau occupe une *niche écologique* différente.

Fig. 78: *Pigeon ramier* et *Pigeon colombin*.



Pigeon ramier

longueur:  
40-44 cm



Pigeon colombin

longueur:  
env. 33 cm

Au cours des dernières décennies, le *Pigeon colombin* est devenu plus abondant au Luxembourg. Cette expansion semble liée à celle du *Pic noir*, apparu chez nous au début du siècle. En effet, le *Pic noir* crée les emplacements de nidification (cavités dans des troncs d'arbres) qui font défaut au *Pigeon colombin* dans nos forêts bien entretenues. L'aire de répartition du *Pigeon colombin* se superpose d'ailleurs approximativement à celle du *Pic noir* (Melchior et al., 1987).

La niche écologique est formée par l'ensemble des facteurs écologiques, biotiques et abiotiques, qui ont une influence sur l'existence d'une espèce déterminée.

La niche écologique ne correspond donc pas seulement à l'habitat d'une espèce, mais à l'ensemble des relations entre cette espèce et son milieu.

Deux espèces vivant dans le même milieu doivent y occuper deux niches écologiques différentes (ex.: *Crenobia alpina*: région de la source d'un cours d'eau; *Dugesia gonocephala*: tronçons en aval de la source, là où le cours d'eau est plus large). Dans le cas contraire, il y a compétition totale, et l'espèce la plus apte éliminera son concurrent.

Dans un écosystème en équilibre, il ne peut donc y avoir qu'«une seule espèce par niche».

Fig. 79: Formation de niches écologiques chez les Anseriformes (*Gänsevögel*): chaque espèce exploite une partie différente de la zone littorale d'un étang.

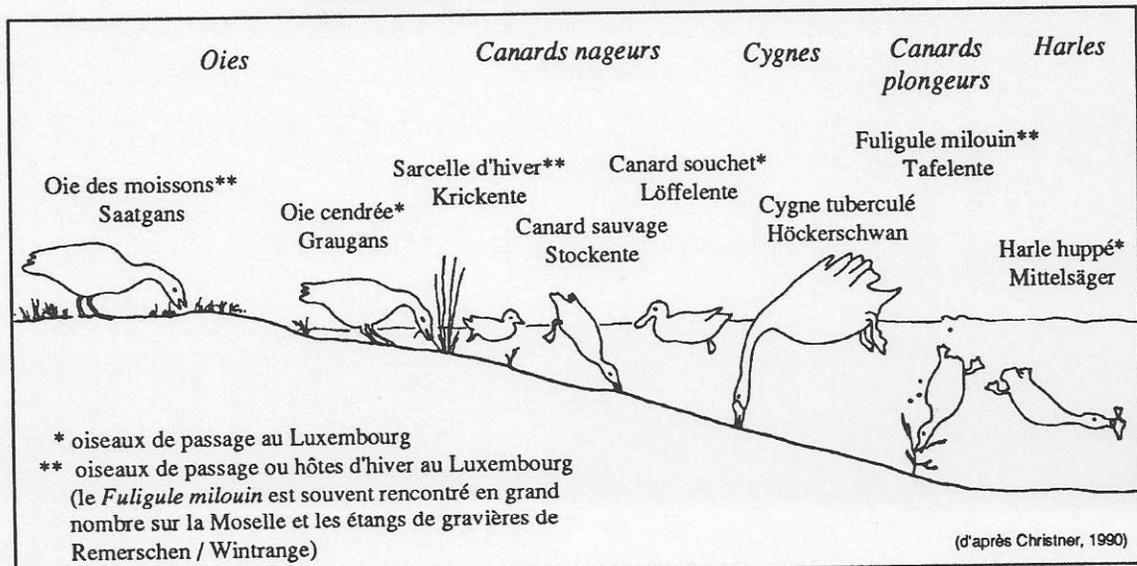


Fig. 80: Formation de niches chez les Oiseaux chanteurs. Le Gobe-mouche prend des insectes au vol; la Mésange charbonnière les recherche parmi les branchages; le Merle recherche sa nourriture au sol, et le Cincle sous l'eau.

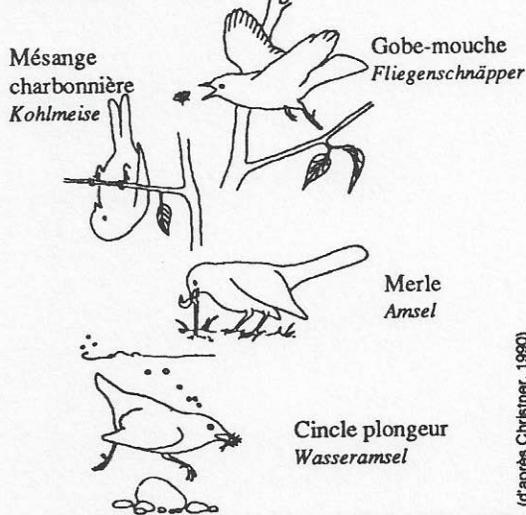


Fig. 81: Formation de niches chez les Mésanges. Par rapport à un même arbre, chaque espèce se nourrit à un niveau différent.

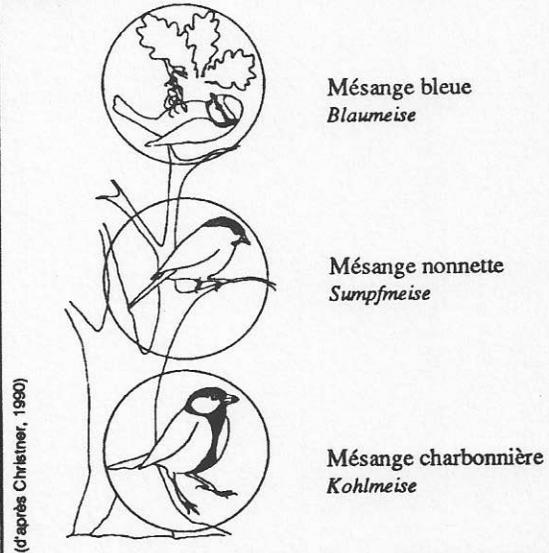


Fig. 82: Niches écologiques des Araignées d'une prairie.

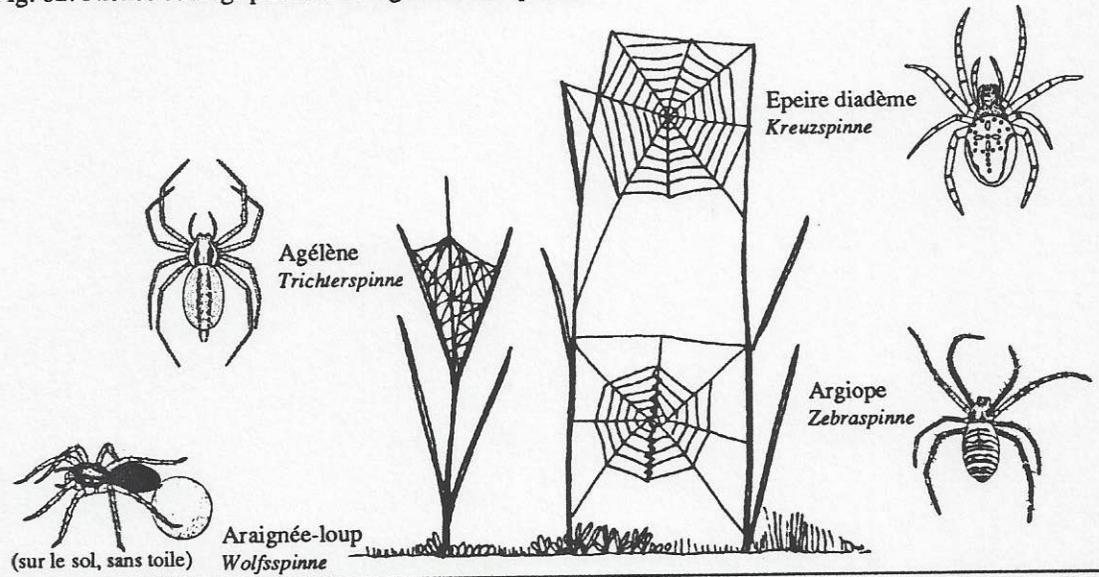
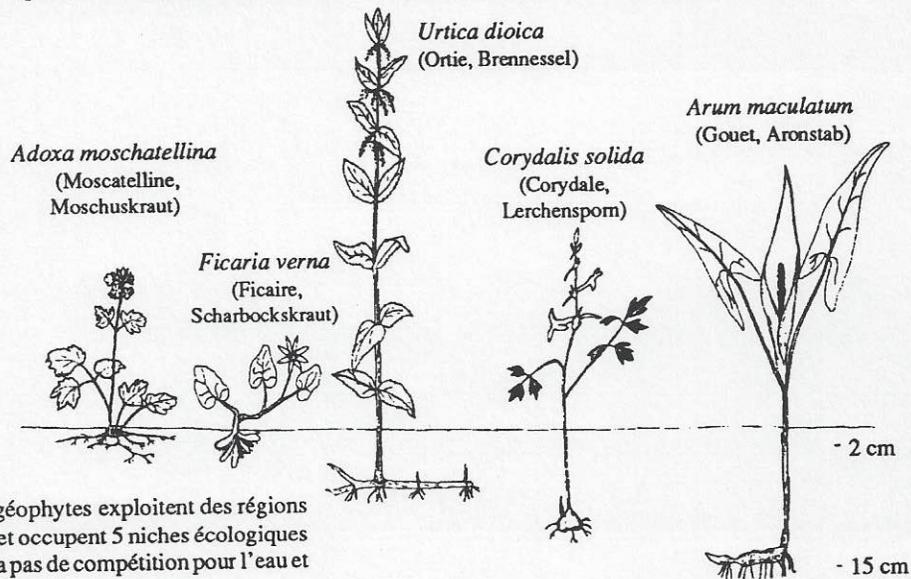


Fig. 83: Géophytes de la Chênaie - charmaie (Eichen - Hainbuchenwald).



Les 5 espèces de géophytes exploitent des régions différentes du sol et occupent 5 niches écologiques différentes. Il n'y a pas de compétition pour l'eau et les sels minéraux.

## La prédation (Prädation, Räubertum)

Beaucoup d'êtres vivants se nourrissent d'autres organismes, qui forment leur *proie*, qui sont généralement plus petits qu'eux, et dont ils peuvent provoquer la mort immédiate. Ce sont des *prédateurs* (Räuber).

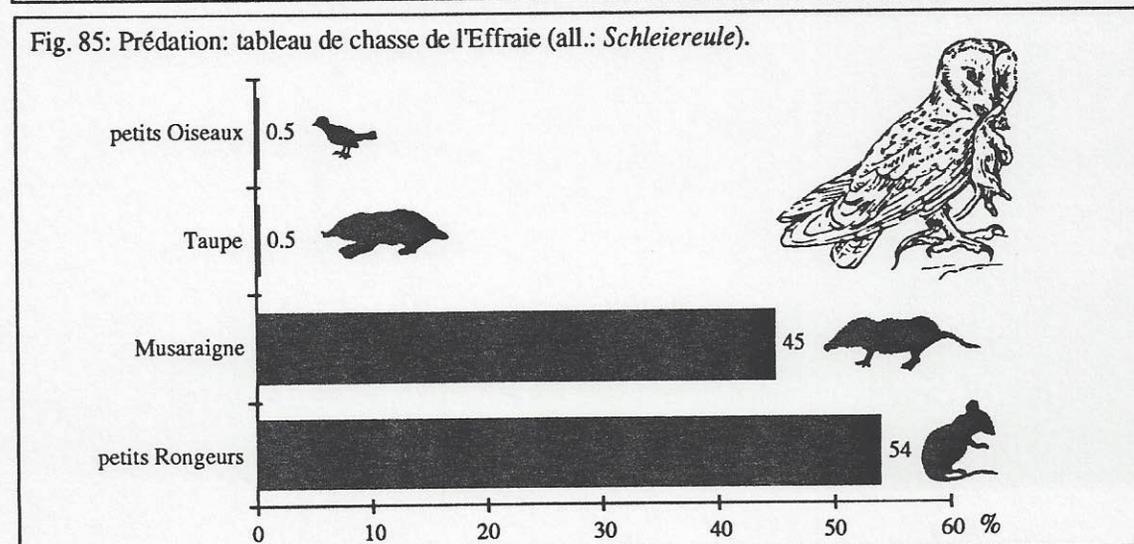
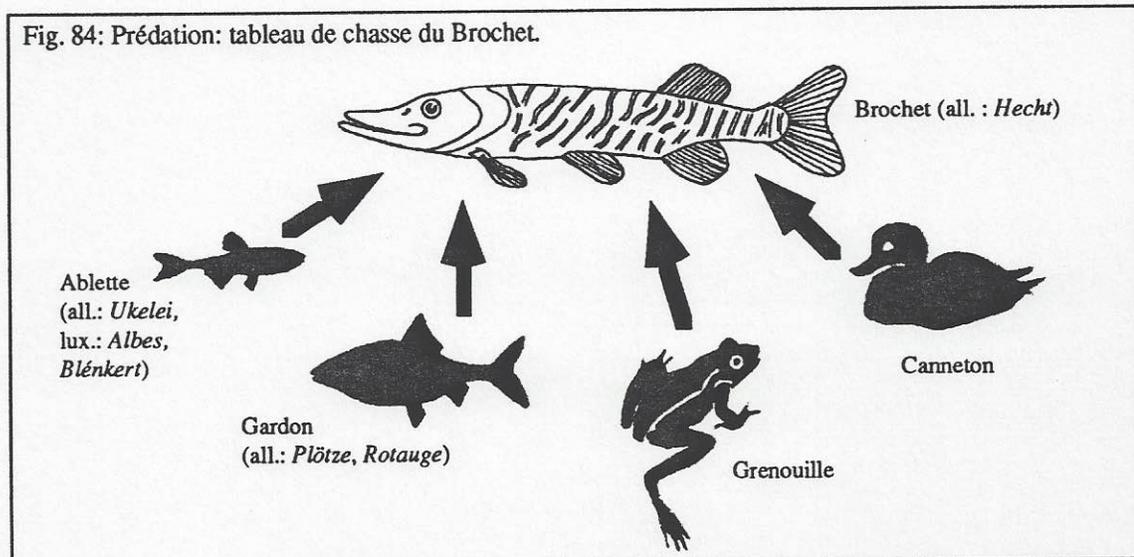
Il peut s'agir de:

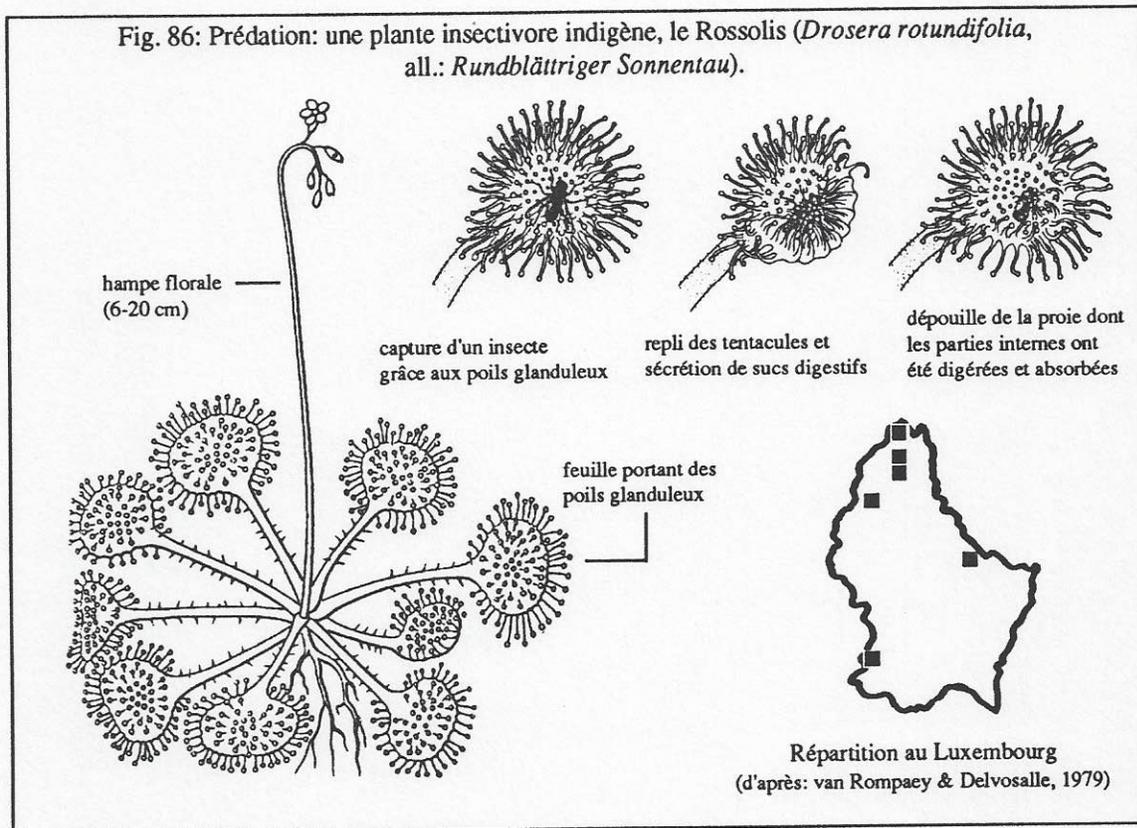
□ prédateurs animaux:

- carnivores (*zoophages*): - Brochet chassant le Gardon;  
- Renard chassant la Souris.
- herbivores (*phytophages*): - Vache broutant l'herbe.

□ prédateurs végétaux: - Rossolis (*Drosera*, all.: *Sonnentau*)  
(plantes insectivores) capturant des Insectes.

La majeure partie des prédateurs sont *polyphages*. Les *monophages*, qui ne recherchent qu'une seule proie, sont plus rares (exemple: le Ver à soie qui se nourrit exclusivement de feuilles de Mûrier).





### Le parasitisme (Schmarotzertum)

Le parasite vit aux dépens d'un autre organisme, généralement plus grand que lui, et qu'on appelle: l'hôte. Le parasitisme nuit à l'hôte et peut en provoquer à la longue la mort.

Le parasite peut être externe (*ectoparasite*) ou interne (*endoparasite*).

Le parasitisme peut avoir lieu:

- entre deux végétaux:
  - la plante supérieure *Euphorbia cyparissias* (all.: Zypressenwolfsmilch) parasitée par le Champignon *Uromyces pisi*;
  - le Hêtre parasité par le Champignon *Fomes fomentarius* (all.: Zunderschwamm);
- entre un végétal et un animal: - formation de galles;
- entre deux animaux:
  - l'Homme (hôte) et le Pou (*ectoparasite*);
  - l'Homme (hôte) et le Ténia (*endoparasite*).

#### *Le cas particulier des hémiparasites*

Certaines plantes parasites ont conservé leur chlorophylle. Elles restent donc capables de synthétiser elles-mêmes une partie de leurs substances organiques. Ce sont des *hémiparasites* (*Halbschmarotzer*).

Le Gui (all.: *Mistel*, lux. *Mëspel*) en est un exemple type.

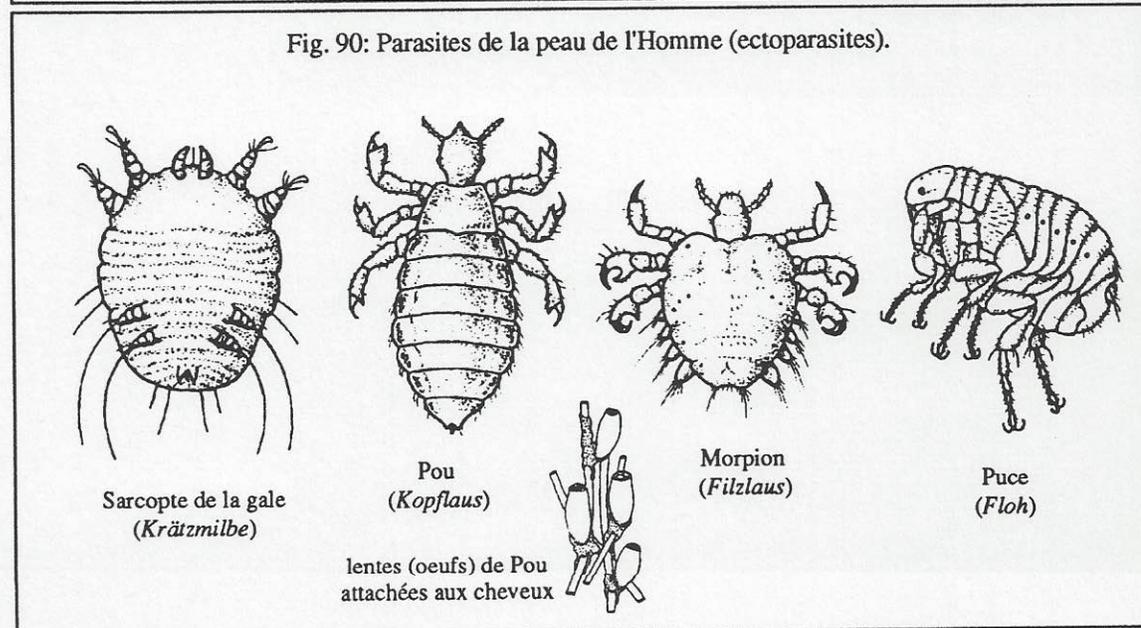
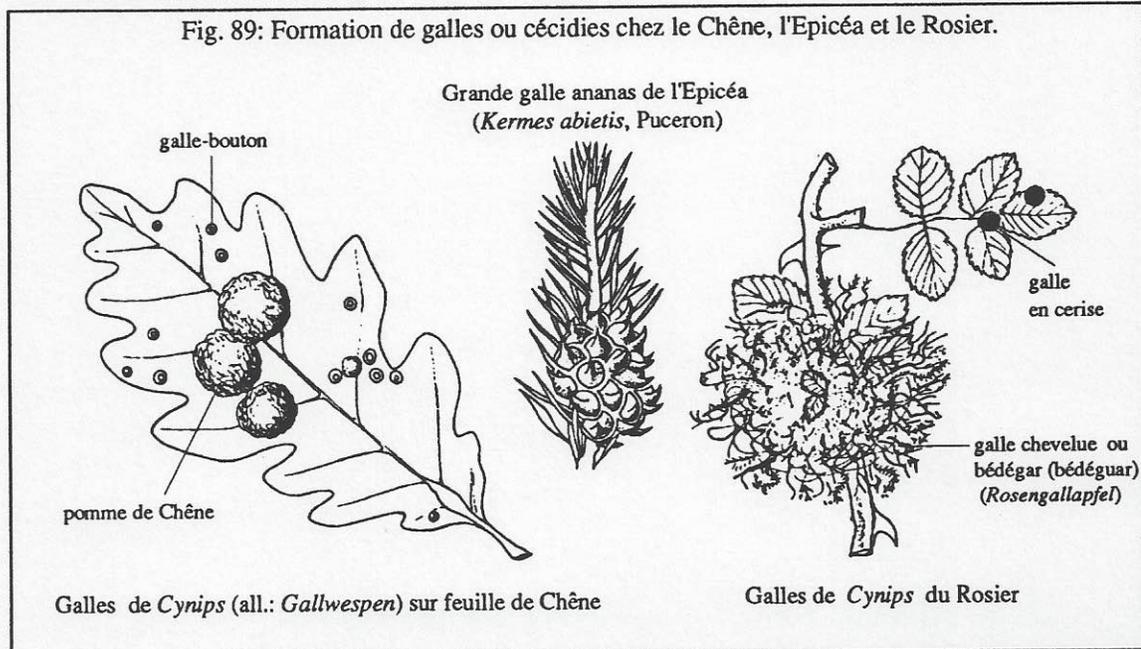
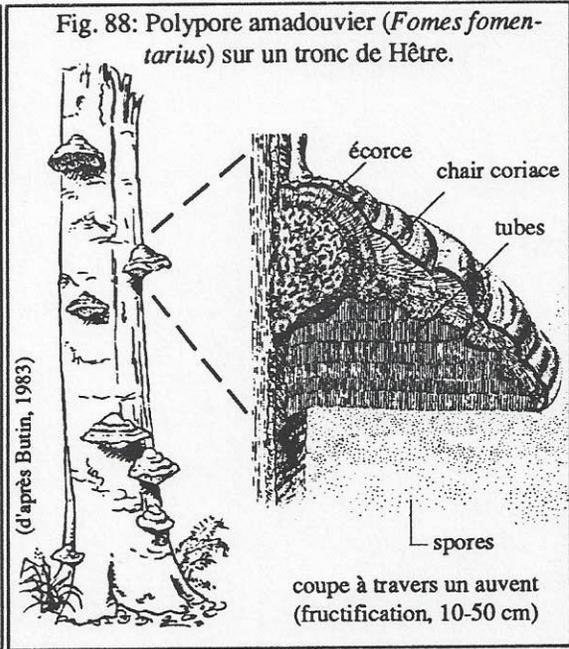
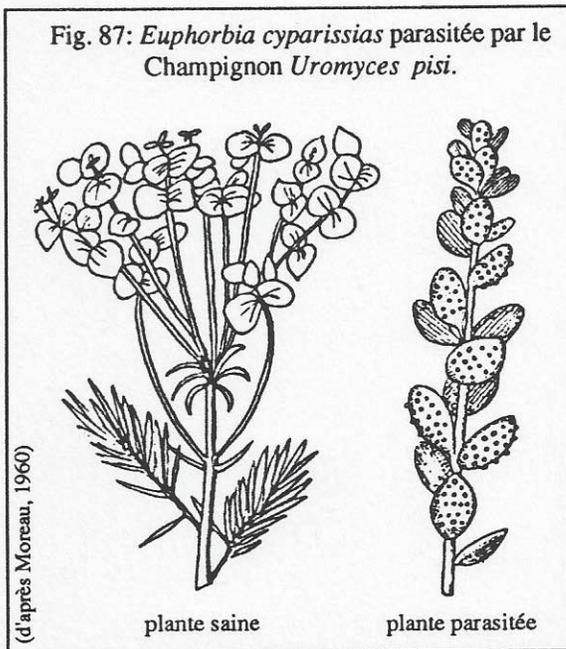
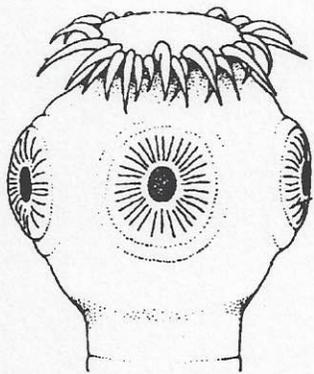
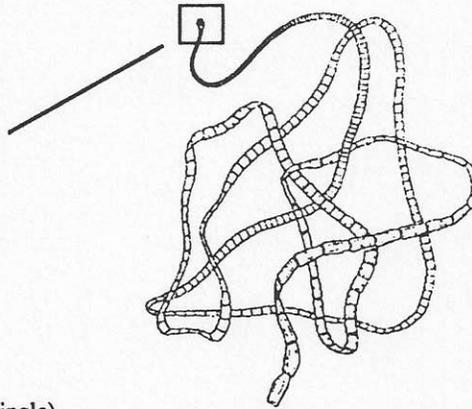


Fig. 91: Le Ténia ou Ver solitaire (*Taenia solium*, all.: *Schweinebandwurm*), endoparasite de l'Homme (hôte principal) et du Porc (hôte intermédiaire).



scolex (à peine plus gros qu'une tête d'épingle)  
avec 4 ventouses et une couronne de crochets



ver entier (longueur: 2-6 m)

### Le gui, un hémiparasite.

Chez nous, le Gui se rencontre surtout sur les Pommiers, le Peuplier et le Poirier, mais il se développe également sur de

à qui il soustrait de l'eau et des sels.

La dissémination des fruits du Gui (baies blanches) est assurée par les oiseaux, notamment les Grives.

\* \* \*

Dans une étude parue en 1915, le professeur Edmond J. KLEIN (1866-1942) a essayé de démontrer qu'au Luxembourg la répartition du Gui est fonction de la teneur en calcaire du sous-sol géologique et qu'il est donc calciphile. Ses conclusions ont été infirmées en 1949 par les recherches botaniques du Dr Nicolas THURM (1899-1947): «S'il reste vrai que le Gui colonise chez nous de préférence les terrains riches en calcaire, ce fait n'est pas attribuable à sa calciphilie, mais tout simplement au fait que l'homme y cultive en nombre plus élevé les arbres qui conviennent le mieux à ce parasite.»

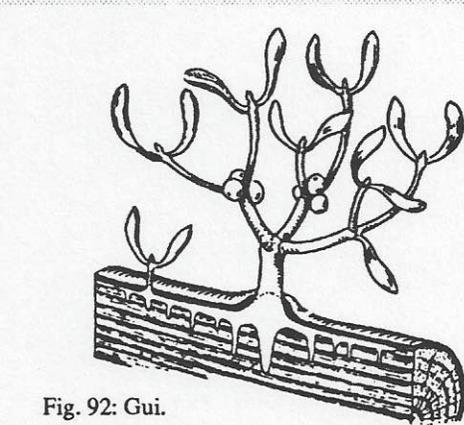


Fig. 92: Gui.

nombreuses autres essences. Le Gui ne se développe que très exceptionnellement sur le Chêne indigène. Au Luxembourg, un cas assez récent a été signalé à Grevenmacher en 1956; quelques cas ont été mentionnés dans les pays voisins.

C'était ce Gui-là qui était recherché par les druides celtes et qui le cueillaient à l'aide d'une serpe d'or. Ils considéraient le Gui comme une plante sacrée apportant le bonheur, rendant fertiles les animaux et protégeant contre les poisons et les maladies.

Le Gui enfonce dans le rameau qui le porte des suçoirs dont les vaisseaux entrent en communication directe avec ceux de l'hôte

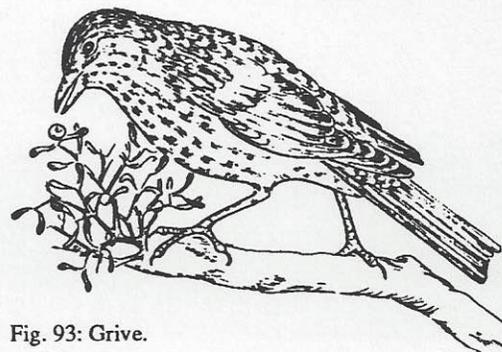


Fig. 93: Grive.

## Le commensalisme

Le commensalisme correspond à une association entre deux espèces qui profite à l'un des partenaires, sans que l'autre ne s'en trouve lésé.

### □ Les commensaux des Fourmis.

De nombreux commensaux se rencontrent dans les fourmilières.

Citons le Lépisme des Fourmis (*Atelura*, all.: *Ameisenfischchen*), un insecte aptérygote, qui, lorsque deux fourmis échangent de la nourriture, en profite pour prélever une partie de la gouttelette alimentaire.

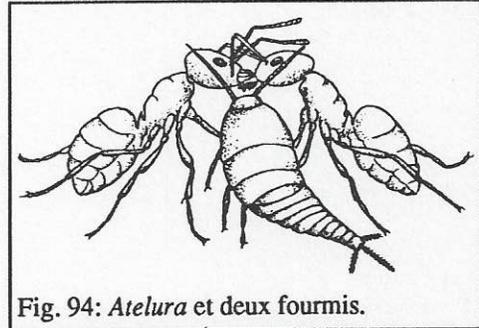


Fig. 94: *Atelura* et deux fourmis.

### □ Le Poisson pilote (*Naucrates ductor*, all: *Lotsenfisch, Pilotfisch*).

C'est un poisson qui suit les Requins dans tous leurs déplacements. Il se nourrit des déchets de nourriture des Requins. En quête de nourriture, il accompagne également les navires (d'où son nom!).

### □ Les épiphytes.

Beaucoup de plantes utilisent d'autres végétaux comme support; ce sont des *épiphytes*. Chez nous, il s'agit surtout de Mousses, Lichens et Algues croissant sur les troncs ou les branches d'arbres.

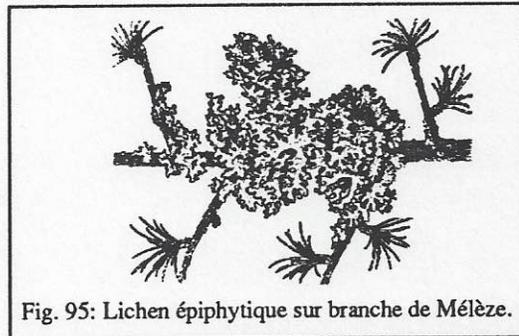


Fig. 95: Lichen épiphytique sur branche de Mélèze.

## La symbiose

La symbiose correspond à une association de deux organismes différents qui en profitent tous les deux. Cette association peut être:

- plus ou moins lâche et éventuellement brève, c'est le *mutualisme*;
- intime et durable, c'est la *symbiose vraie* ou *eusymbiose*.

### Le mutualisme

#### □ *La pollinisation des plantes par les Insectes.*

En butinant le pollen ou le nectar des plantes, les Insectes en réalisent la pollinisation. L'aire de répartition de ces plantes est de ce fait limitée par celle des Insectes qui la pollinisent. Citons comme exemple l'aire de répartition des Aconits (*Eisenhut*) et des Bourdons (*Hummeln*) qui en assurent la pollinisation.

Pour assurer leur pollinisation, certaines plantes ont développé de véritables pièges à insectes. C'est le cas, par exemple, du Gouet tacheté (*Arum maculatum*, all.: *Gefleckter Aronstab*, lux.: *Heckepeppchen, Ieselsouer*), géophyte de nos forêts.

Fig. 96: L'inflorescence du Gouet, un piège à Insectes.

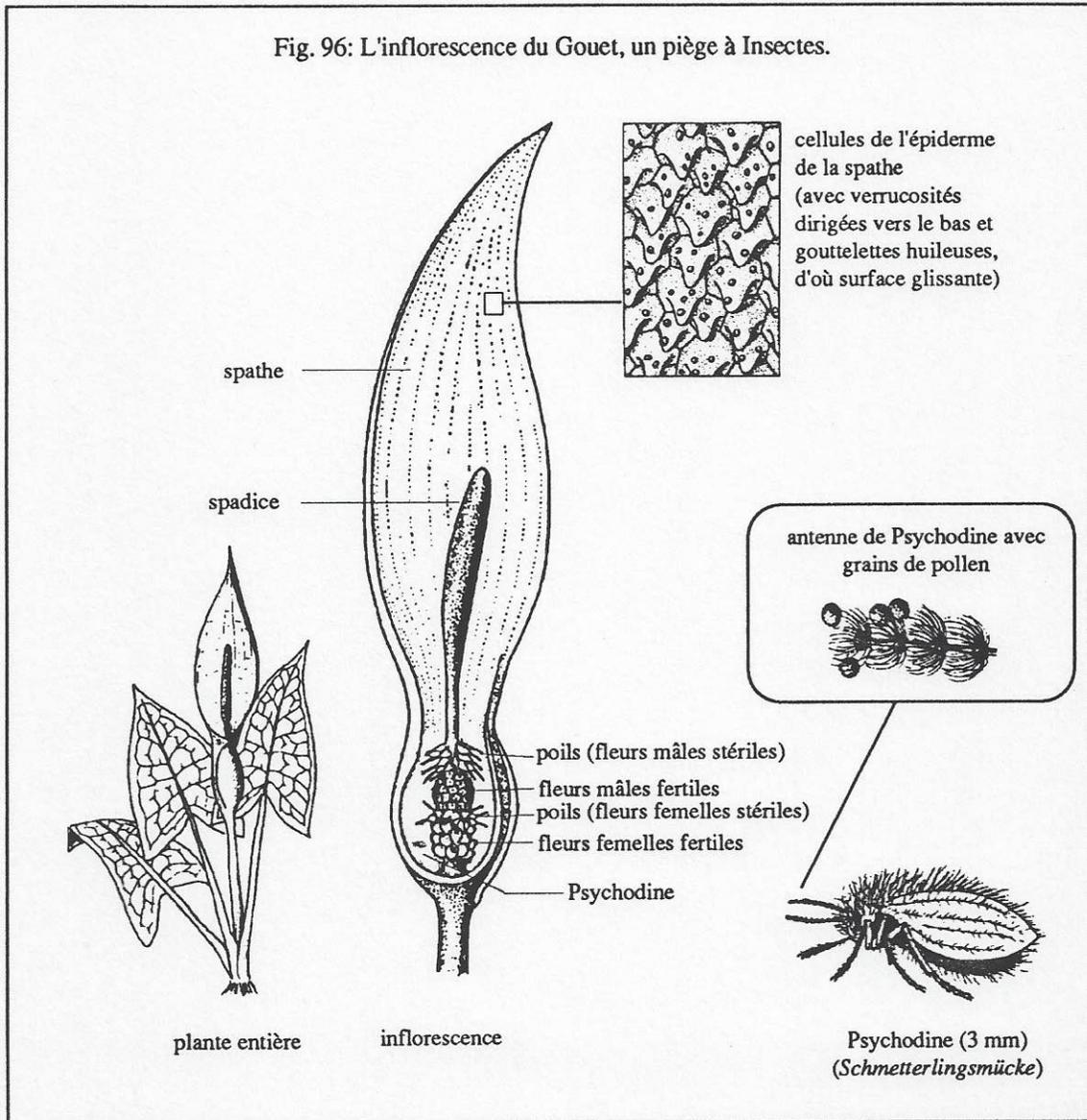
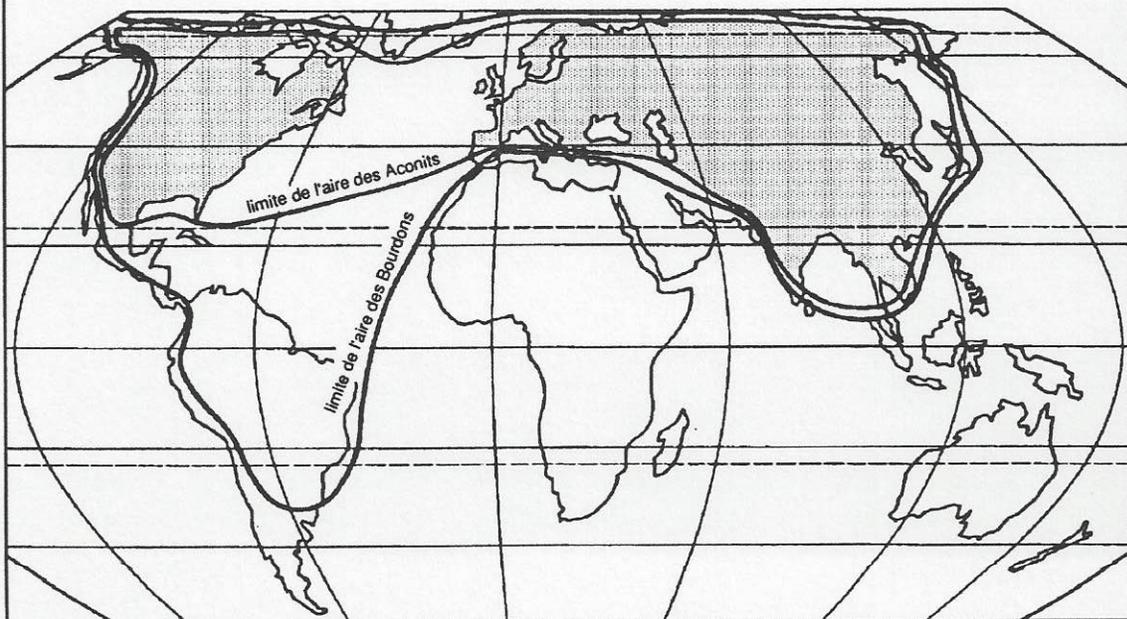


Fig. 97: Aire de répartition des Aconits et des Bourdons qui en assurent la pollinisation. Dans nos bois, on rencontre à l'état sauvage l'Aconit tue-loup (*Aconitum vulparia*, all.: *Wolfseisenhut*), vénéneux, rare.

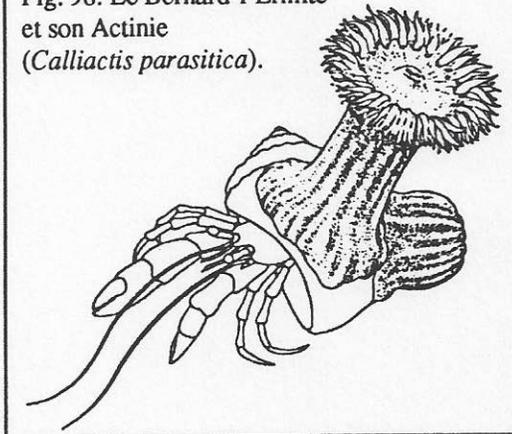


□ *Le cas du Bernard-l'Ermite (Crustacé décapode) et de son Actinie.*

Le Bernard-l'Ermite (*Einsiedlerkrebs*) loge son abdomen mou dans une coquille vide de Gastéropode. Sur la coquille peut s'installer une Actinie (Anémone des mers). Celle-ci protège le Crustacé contre ses prédateurs (Seiches et Poulpes) et profite des restes de sa nourriture.

Quand la coquille devient trop exigüe, le Bernard-l'Ermite l'abandonne pour une plus grande, tout en emportant «son» Actinie pour la reloger.

Fig. 98: Le Bernard-l'Ermite et son Actinie (*Calliactis parasitica*).

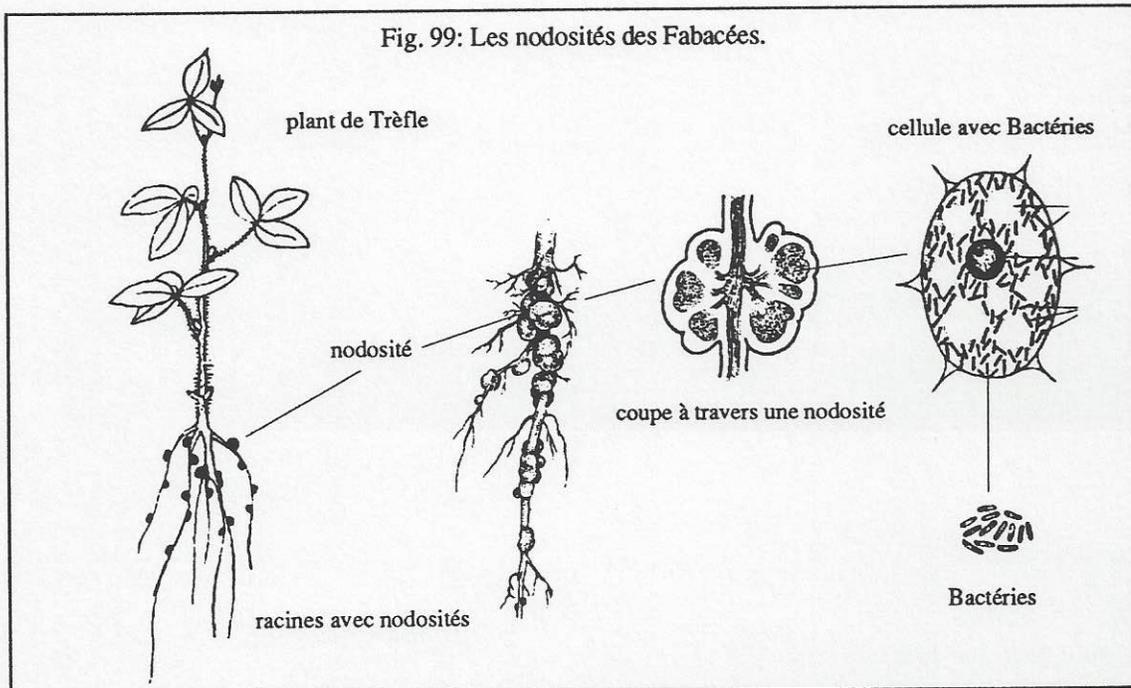


**L'eusymbiose**

□ *Les nodosités des Fabacées (Papilionacées, Schmetterlingsblütler).*

Les racines des Fabacées (Luzerne, Trèfle, Pois, etc.) logent des Bactéries symbiotiques (*Rhizobium*) capables de fixer l'azote atmosphérique et de le transformer en azote organique. Ces végétaux peuvent ainsi se développer sur des sols pauvres en azote qu'ils contribuent à enrichir en nitrates provenant de leur décomposition ultérieure («engrais vert»).

Fig. 99: Les nodosités des Fabacées.

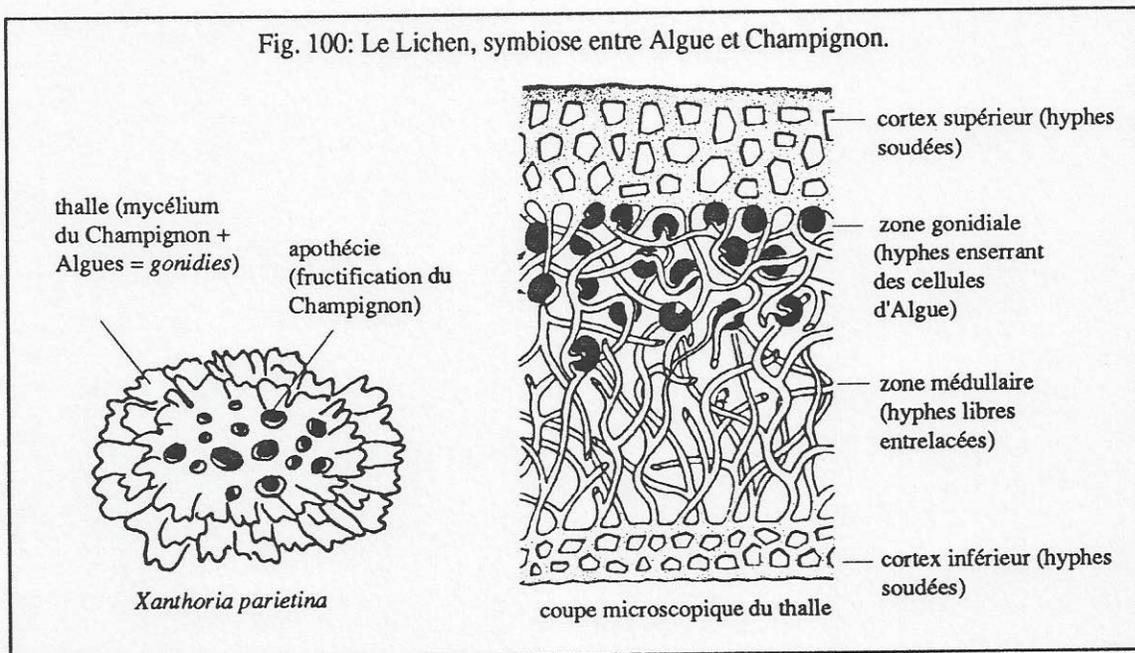


□ *Les Lichens.*

Le Lichen est formé par une association symbiotique d'une Algue et d'un Champignon.

L'Algue réalise la photosynthèse dont le Champignon est incapable. Ce dernier fournit à l'Algue l'eau et les sels dissous indispensables à son développement.

L'association est si étroite que les deux partenaires forment un organisme unique bien individualisé.



□ La mycorhize (Pilzwurzel): un Champignon et une racine s'associent.

◆ *Mycorhize ectotrophe*: Le mycélium du Champignon forme autour de la racine de la plante une gaine de filaments mycéliens qui remplacent les poils absorbants. Cette mycorhize existe chez de nombreux arbres.

Le Champignon fournit à l'arbre de l'eau et des substances minérales; l'arbre lui fournit des glucides, ainsi que des acides aminés et des vitamines.

C'est cette symbiose qui explique pourquoi certains Champignons comestibles se trouvent si souvent associés à certaines espèces d'arbres:

- le Bouleau et le Bolet scabre (*Boletus scaber*, Birkenpilz);
- le Mélèze et le Bolet élégant (*Boletus elegans*, Cèpe des Mélèzes, Goldröhring);
- le Pin sylvestre et le Bolet à chair jaune (*Suillus luteus*, Butterpilz).

◆ *Mycorhize endotrophe*: Dans ce cas les filaments mycéliens pénètrent dans les cellules de la racine de l'hôte. C'est le cas de nombreuses plantes herbacées, notamment des Orchidées dont la graine ne peut même pas germer en l'absence du Champignon symbiotique.

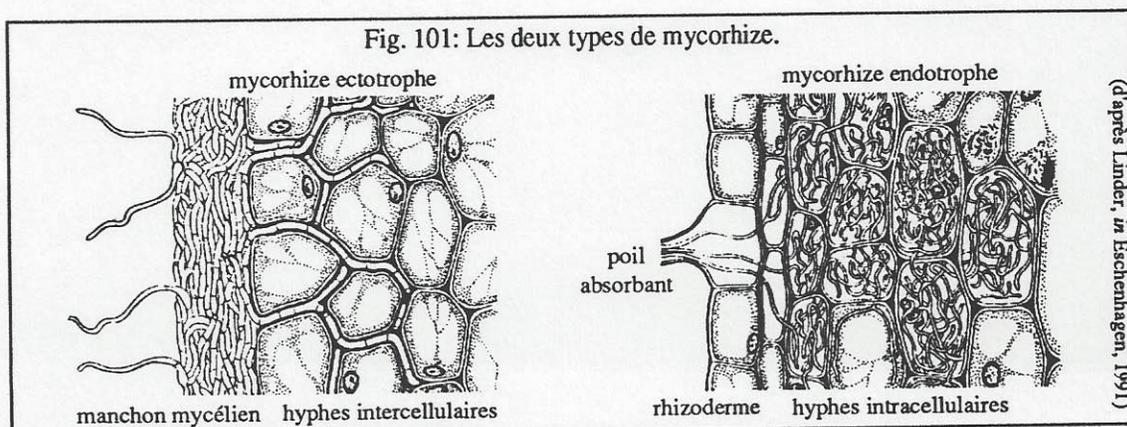
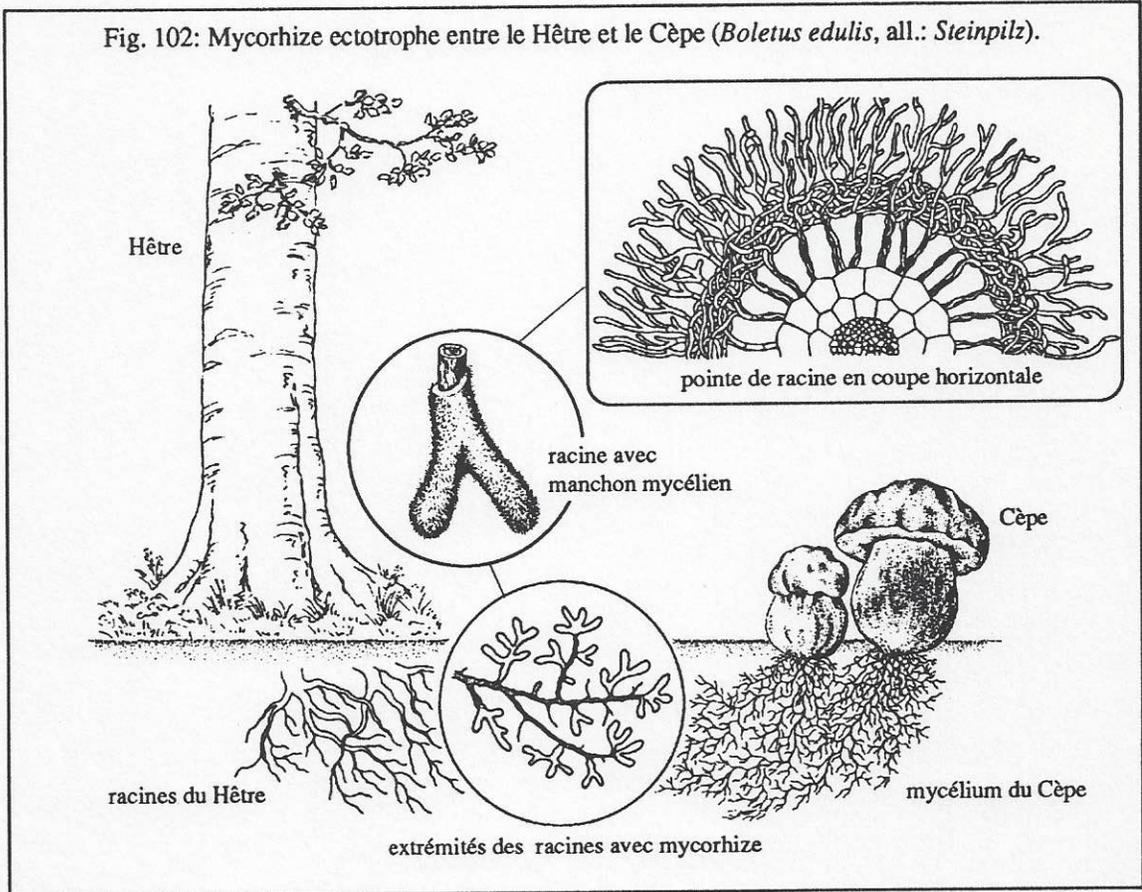


Fig. 102: Mycorhize ectotrophe entre le Hêtre et le Cèpe (*Boletus edulis*, all.: Steinpilz).



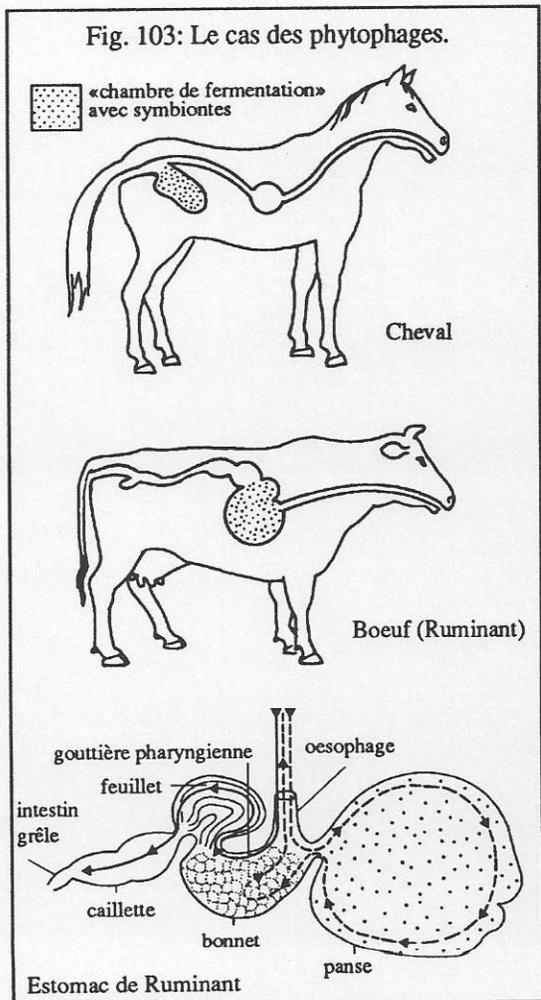
□ La symbiose et la digestion de la cellulose chez les phytophages.

Les Vertébrés n'ont pas de cellulase, enzyme capable d'hydrolyser les molécules de cellulose. Des *Bactéries* et des *Protozoaires cellulolytiques* vivant dans leur tractus digestif pallient à cette absence et rendent disponible à leur hôte le matériel ingéré qu'ils décomposent par fermentation anaérobie.

Chez les phytophages cette symbiose revêt une importance capitale. Souvent, c'est le caecum très développé qui héberge les organismes symbiotiques et sert de chambre de fermentation (Cheval, Lapin). Chez les Ruminants, c'est la *panse*, l'un des quatre compartiments de l'estomac, qui assure cette fonction.

Du côté des Invertébrés, une symbiose intéressante existe entre les Termites xylophages et des Protozoaires flagellés, qui vivent dans une volumineuse dilatation du rectum des Termites, la *panse rectale*.

Fig. 103: Le cas des phytophages.



### 2.2.2.2. Relations intraspécifiques

#### La compétition intraspécifique (innerartliche Konkurrenz)

Une forte compétition existe entre individus de la même espèce puisqu'ils ont des besoins identiques et occupent la même niche écologique.

On sait que les cultures doivent être éclaircies pour que les individus restants puissent se développer au maximum.

Dans une hêtraie issue d'un jeune peuplement dense âgé de 10 ans, il ne reste au bout de 120 ans qu'un arbre sur 2000. La compétition, dans ce cas, se situe à plusieurs niveaux:

- *lutte pour la lumière*: dans une population dense les feuilles se font ombrager, ce qui réduit la photosynthèse;
- *lutte pour la nourriture*: les racines se concurrencent dans le sol pour prélever l'eau et les sels minéraux.

#### Formation de territoires

Chez les animaux, l'une des conséquences de la compétition intraspécifique est la formation de territoires (*Territorium*, Revier).

Le territoire correspond à l'espace que s'approprie, pour un temps plus au moins long, soit un individu isolé, soit un couple, soit un groupe, soit une société. L'accès en est interdit aux individus appartenant à la même espèce que le propriétaire, et étrangers au groupe.

Les limites sont définies par des marques spéciales:

- marques acoustiques: chant (nombreux Oiseaux);
- marques chimiques: fèces (Renard), urine (Loup), sécrétions des glandes anales (Martre);
- marques optiques.

Les territoires d'individus de la même espèce ne se recoupent pas.

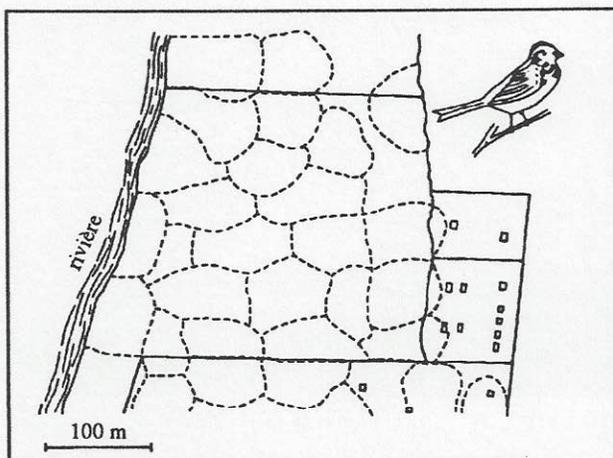
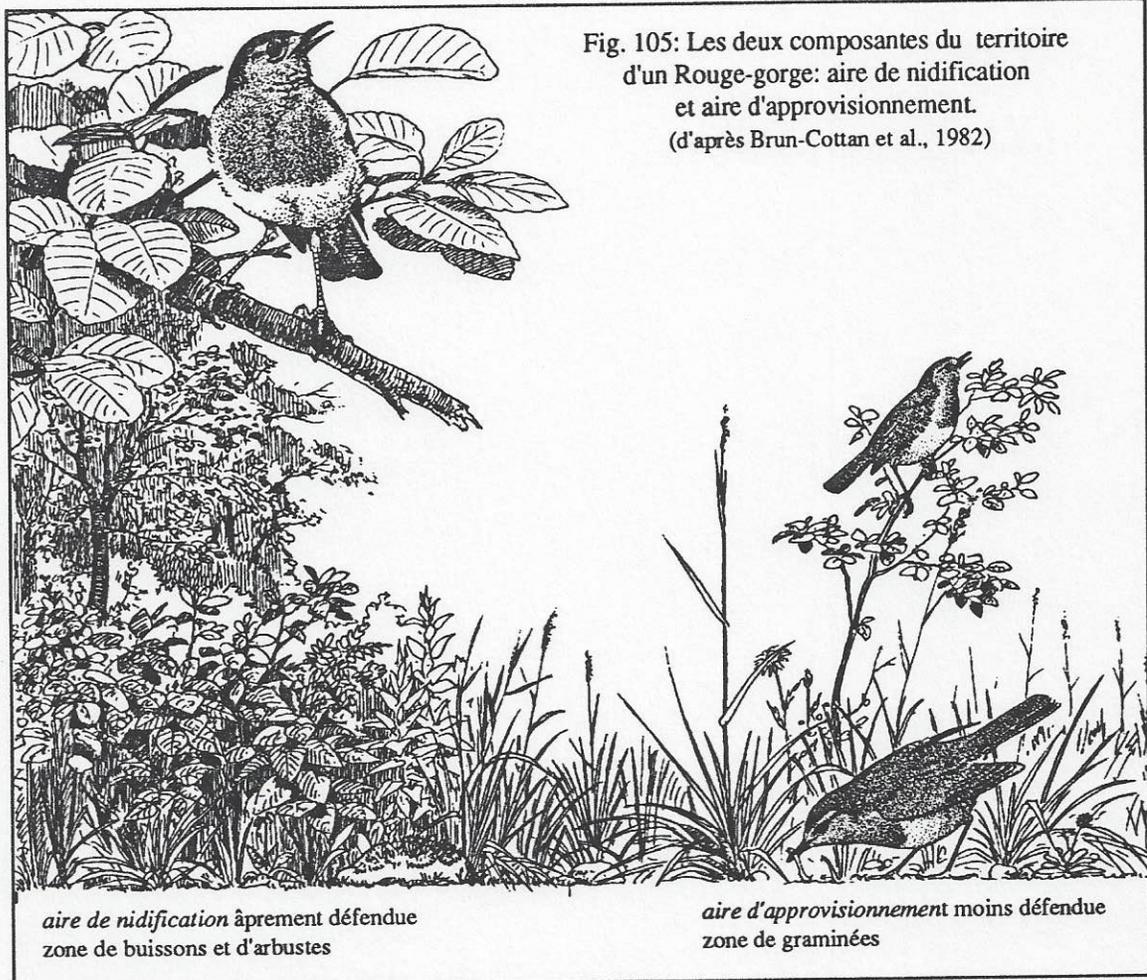


Fig. 104: Juxtaposition des territoires chez un Pinson nord-américain (d'après Tischler, 1979).



Plus un animal s'éloigne du centre de son territoire, plus son agressivité diminue, et plus sa tendance à la fuite augmente.

Chez les Oiseaux, le territoire est généralement subdivisé en une *aire de nidification* d'étendue restreinte et une *aire d'approvisionnement* plus étendue.

L'étendue des territoires est variable selon les espèces. Elle dépend de la quantité de nourriture nécessaire, de la quantité de nourriture fournie par le territoire et du type de nourriture recherchée (les animaux spécialisés sur certains fruits ont besoin d'un territoire plus grand que les phytophages ordinaires).

L'étendue des territoires détermine la densité des populations.

Ainsi, la Buse variable a un territoire de 1 à 10 km<sup>2</sup>. On comprend ainsi le nombre de 35 couples de Buses variables dénombrés en 1969 sur une étendue de 70 km<sup>2</sup> aux alentours de la ville de Luxembourg (Schmitt, 1980); ceci correspond, en effet, à une densité de 1 couple pour 2 km<sup>2</sup>.

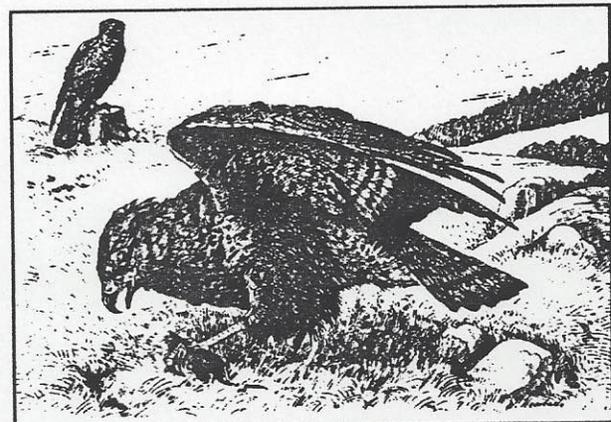
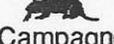
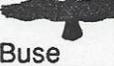
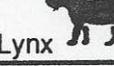


Fig. 106: Buse variable (*Mäusebussard*).

Une étude effectuée au printemps 1990 dans le sud du pays (région de Soleuvre, Ehlerange, Limpach, Sanem et Mondercange) a révélé, sur une surface de 25 km<sup>2</sup>, la présence de 33 nids de Pie (*Elster*). Ceci correspond à une densité moyenne de 1,32 couples nicheurs par km<sup>2</sup>. Plus fréquente dans les localités que dans la campagne d'alentour, la Pie a atteint une densité maximale à l'intérieur du village de Soleuvre: 3,33 couples par km<sup>2</sup> (Thiry & Jungers, 1992). L'étendue du territoire des Pies de cette région range donc entre 0,3 et 0,76 km<sup>2</sup> par couple.

Fig. 107: Etendue des territoires de quelques animaux indigènes.

 Campagnol	5 m <sup>2</sup> aire d'habitation
 Merle	4000 m <sup>2</sup> aire de nidification
 Lapin	10 000 m <sup>2</sup> aire d'habitation
 Belette	20 000 m <sup>2</sup> aire d'habitation et de chasse
 Hermine	250 000 m <sup>2</sup> aire d'habitation et de chasse
 Buse	1 km <sup>2</sup> aire de nidification
 Renard	15 km <sup>2</sup> aire d'habitation et de chasse
 Lynx	20 km <sup>2</sup> aire d'habitation et de chasse

Il ne faut pas confondre la notion de «territoire» avec celle de «domaine vital».

Le *domaine vital* d'un animal est l'ensemble des lieux habituellement fréquentés par ce dernier, au cours d'une période donnée. Chez beaucoup de Mammifères, le domaine vital peut comprendre un ou plusieurs gîtes, plusieurs zones de chasse et éventuellement des zones de rencontre avec des congénères. Une bonne partie du domaine vital peut donc être utilisée en commun avec d'autres individus de la même espèce.

Le *territoire* correspond à la portion du domaine vital qui est marqué et défendu contre l'intrusion de congénères. La délimitation d'un territoire par un animal est souvent un phénomène temporaire lié à la reproduction.

Chez le Hamster d'Europe toute l'aire d'habitation est défendue et correspond par conséquent au territoire. Chez le Goéland argenté (*Silbermöwe*), seul un petit territoire d'une quinzaine de mètres carrés à l'intérieur d'une vaste aire d'habitation est défendu.

### 3.

# DÉMÉCOLOGIE DÉMOÉCOLOGIE

## Écologie des populations

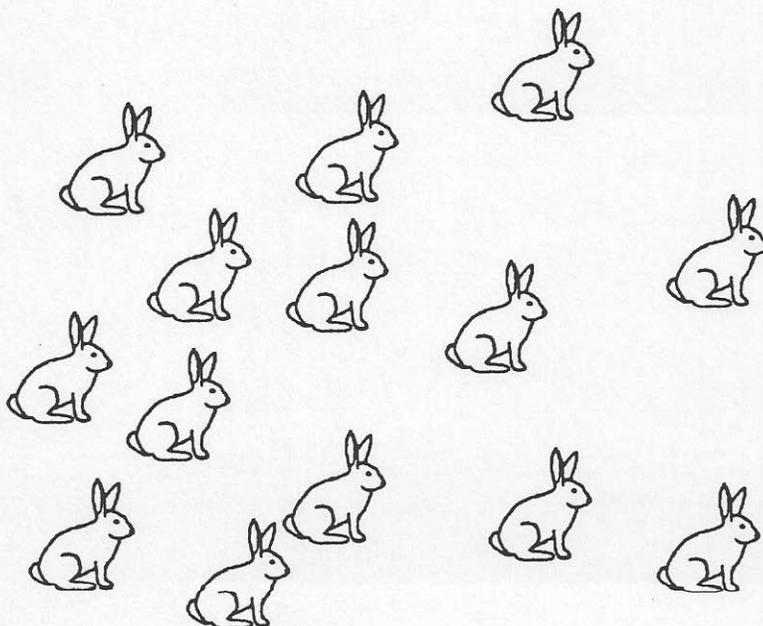
---

---

La démécologie étudie la structure et la dynamique des populations. Une *population* est formée par l'ensemble des individus d'une espèce qui vivent dans un espace donné.

---

---



### 3.1. La croissance des populations

Théoriquement, une population animale ou végétale s'accroît indéfiniment selon une équation exponentielle. Cette croissance se traduit par une *courbe de croissance* théorique en forme de lettre J. Cette croissance illimitée présuppose un milieu offrant des possibilités elles aussi illimitées.

Comme un tel milieu n'existe pas, la croissance est limitée en pratique par des *facteurs limitants* du milieu (la nourriture, par exemple), et elle prend l'allure d'une *courbe logistique* (courbe de croissance en S ou courbe sigmoïde).

Considérons l'exemple d'une culture de Paramécies régulièrement nourries avec des bactéries. Au début, le nombre des individus augmente lentement; vient ensuite une phase d'accroissement rapide. Puis, la population se stabilise et se maintient à un niveau qui est fonction de la quantité de nourriture fournie. Ce niveau correspond à la *capacité limite* du milieu.

Fig. 108: Croissance exponentielle et croissance logistique.

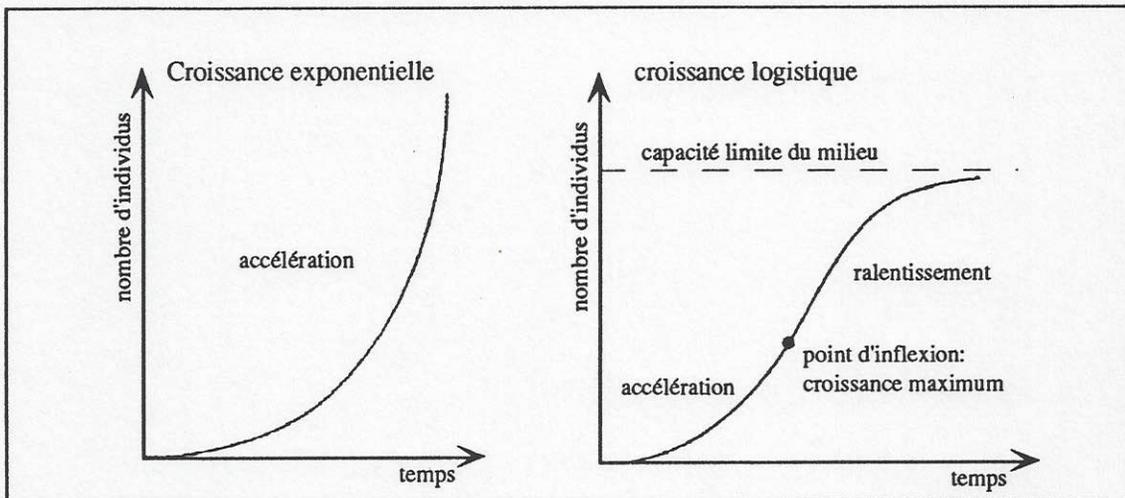


Fig. 109: Culture de Paramécies (*Paramecium caudatum*) nourries avec des bactéries. Les points représentent le résultat des comptages journaliers.

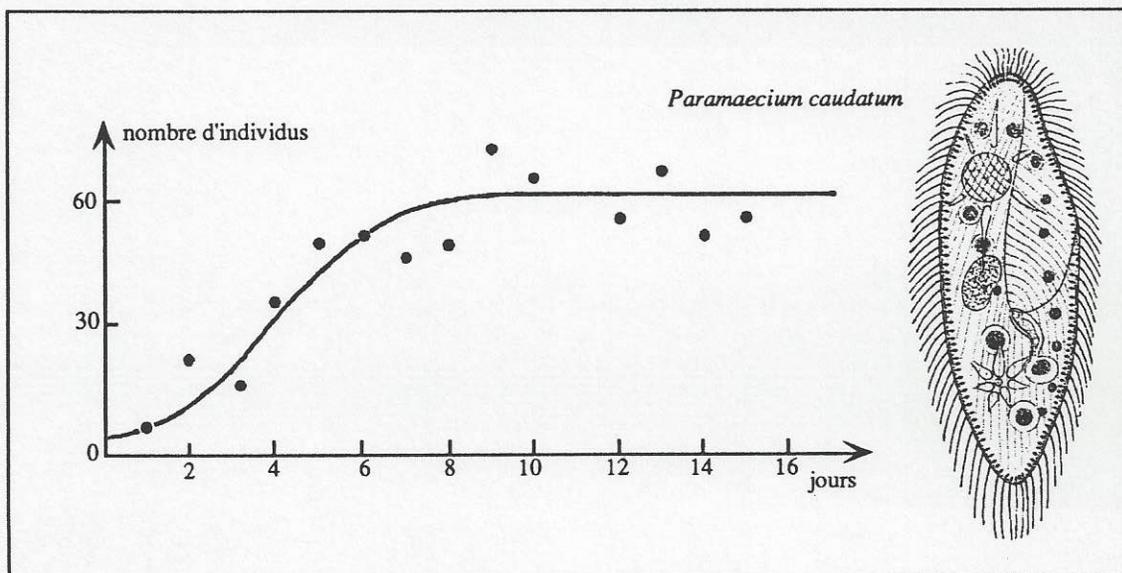
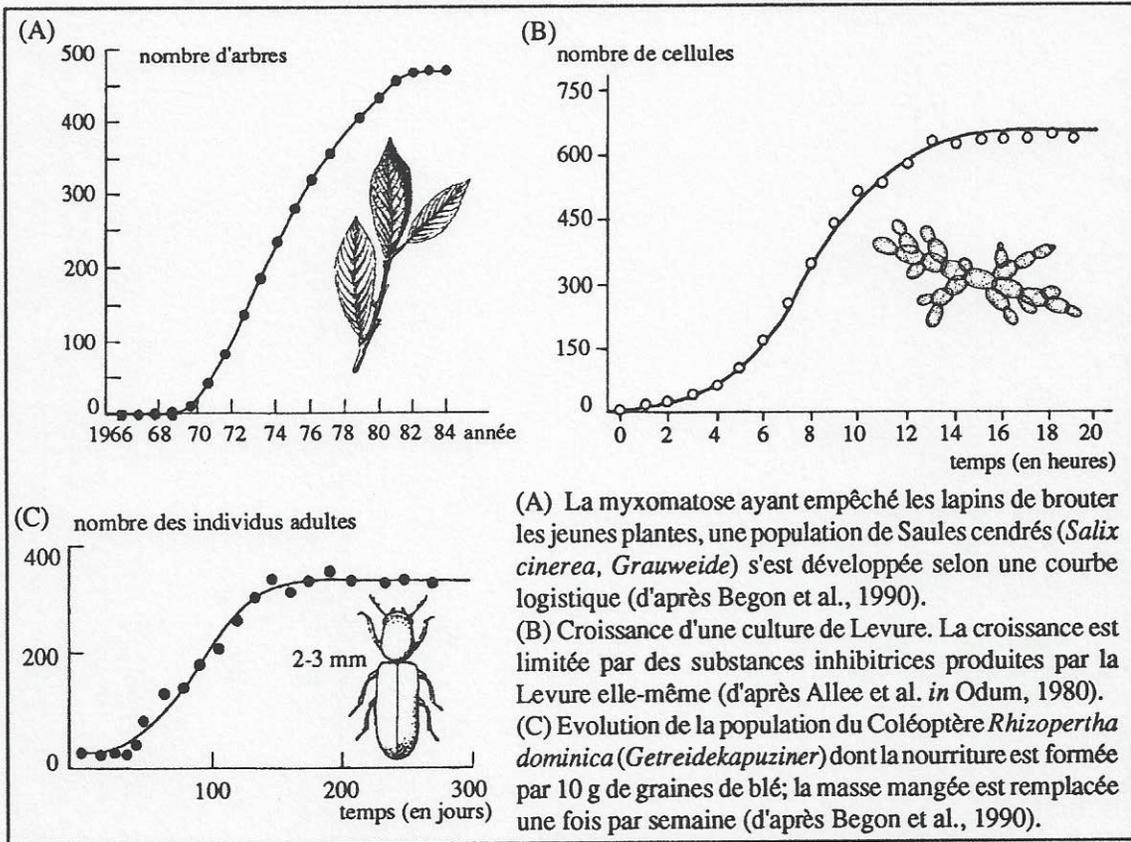
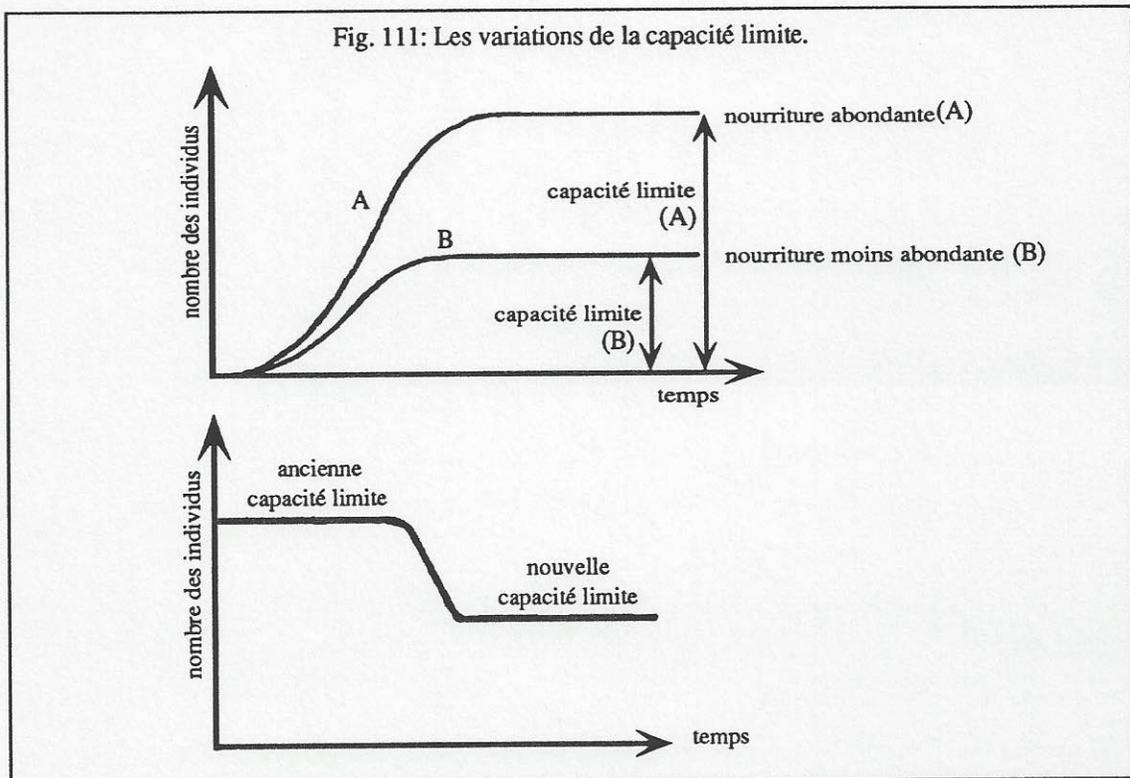


Fig. 110: Exemples de populations à courbe de croissance logistique.



Si les conditions de milieu sont modifiées de façon durable, la capacité limite peut changer pour une espèce déterminée (fig. 111).



Toute modification de la capacité limite entraîne une variation de la densité maximale de la population. La densité d'une population (ou abondance) correspond au nombre d'individus par unité de surface ou de volume.

## 3.2. Dynamique des populations

### 3.2.1. Les fluctuations de la densité des populations

Dans une population arrivant au terme de sa croissance, la densité n'est pas nécessairement fixe, mais peut osciller autour de la capacité limite. Les variations qui s'étendent sur des intervalles relativement longs — de génération en génération — sont appelées: *fluctuations* (*Fluktuationen*, *Massenwechsel*).

Fig. 112: Evolution de la densité d'une population (croissance logistique et fluctuations).

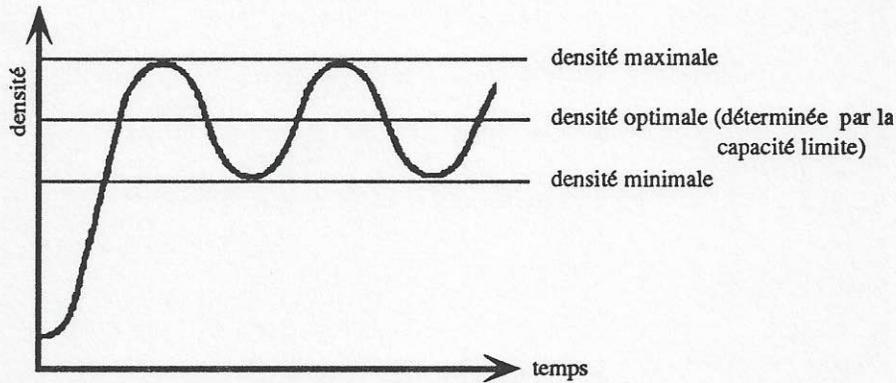


Fig. 113: Evolution de la population des Moutons introduits en Tasmanie au début du 19<sup>e</sup> siècle. (d'après Davidson in Kalusche, 1989)

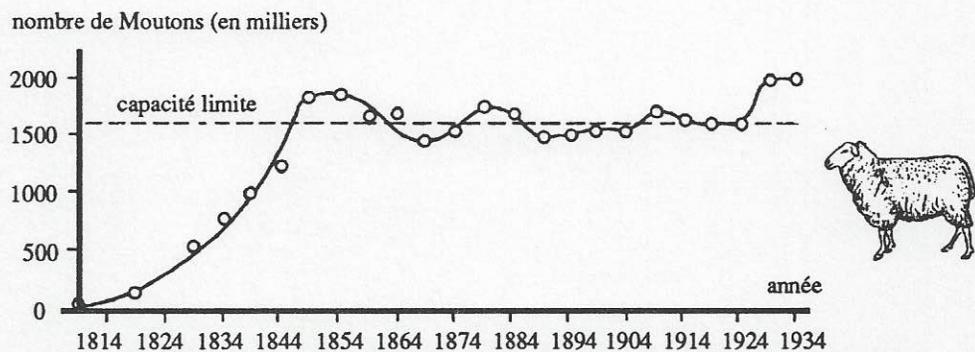


Fig. 114: Fluctuations annuelles de l'abondance du Lépidoptère *Bupalus piniarius* (Fidonie du Pin, *Kiefernspanner*) dont la chenille vit sur le Pin. L'exemple se rapporte à la région de Letzlingen en Allemagne (d'après Schwerdtfeger in Dajoz, 1982).

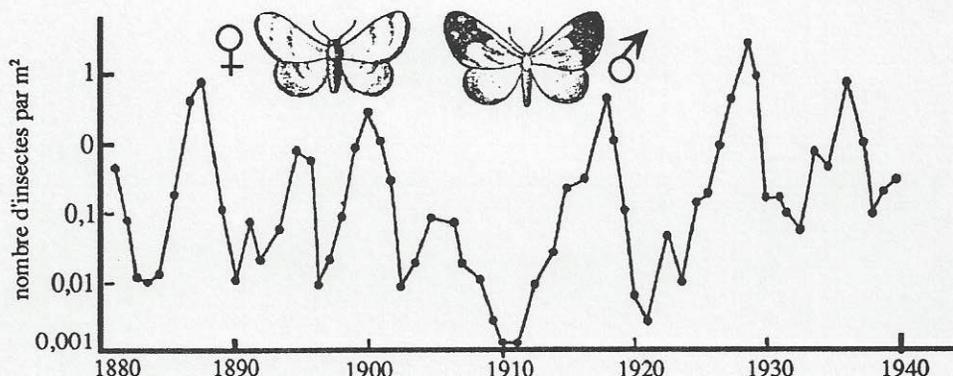


Fig. 115: Fluctuations de la population de Lapins sauvages du Luxembourg entre 1946 et 1980. (d'après Weiss, 1982)

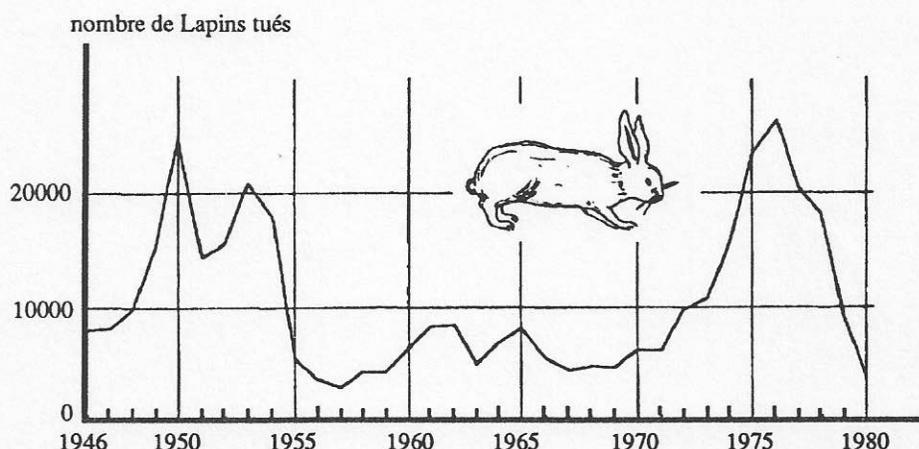
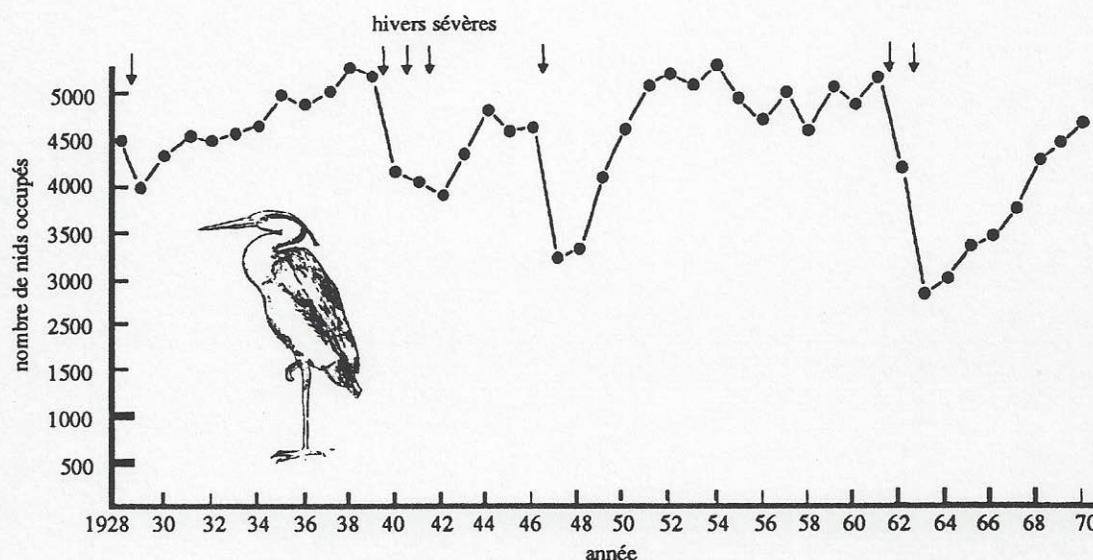


Fig. 116: Variations de l'abondance des Hérons (*Ardea cinerea*) en Angleterre et au Pays de Galles. L'influence des hivers particulièrement rudes (flèches) est très nette. (d'après Stafford in Begon et al., 1990)



#### Les ravages de *Bupalus piniarius* (Fidonie du Pin) dans la «Hardt» à Echternach en 1925

Les fluctuations plus ou moins cycliques de la Fidonie du Pin, avec les hauts et les bas qui en résultent, expliquent que certaines années soient particulièrement marquées par l'abondance de ces Lépidoptères. Chez nous, c'était le cas en 1925, par exemple. Ainsi, les ravages causés par l'insecte dans la région d'Echternach ont été évoqués par Victor Ferrant et Félix Heuertz lors de la séance du 25 octobre 1925 de la Société des Naturalistes luxembourgeois. Le bulletin de la société a rapporté leur intervention de la manière suivante: «Sont démontrés ensuite, par ces mêmes messieurs, des rameaux de pin de la «Hardt» qui est la forêt

municipale d'Echternach. Les vastes pineraies de la Hardt ont été envahies et anéanties par une Géométride très vorace: le *Bupalus piniarius* L., dont les chenilles arpeuteuses pullulent sur chaque branche. Les ravages s'étendent à environ 40 ha de forêts qui seront condamnées à être abattues. — C'est le monde des oiseaux surtout qui a mission de s'attaquer à la vermine. La protection de l'oiseau et la protection de l'arbre vont de pair, et on peut constater une fois de plus combien les hommes et les sociétés qui s'occupent du problème de la protection des oiseaux méritent d'être encouragés et secondés par les autorités.»

[Bull. Soc. Nat. luxemb., 35 (1925): 78].

Les fluctuations telles qu'elles apparaissent dans les exemples précédents peuvent être provoquées:

- par des facteurs qui sont *indépendants* de la population et de sa densité (ex.: hiver très rude se traduisant par une forte mortalité). Ces *fluctuations irrégulières* entraînent des *variations*, mais pas de régulation.
- par des facteurs dont l'action devient d'autant plus forte que la densité de la population augmente et qui devient plus faible quand la densité de la population diminue: *facteurs dépendants de la densité*. Si la dépendance de la densité est très forte, on aboutit à des *fluctuations régulières*, périodiques. Leur durée varie de quelques années à plusieurs dizaines d'années. Elles traduisent l'existence d'un équilibre biologique dû à une véritable *régulation*.

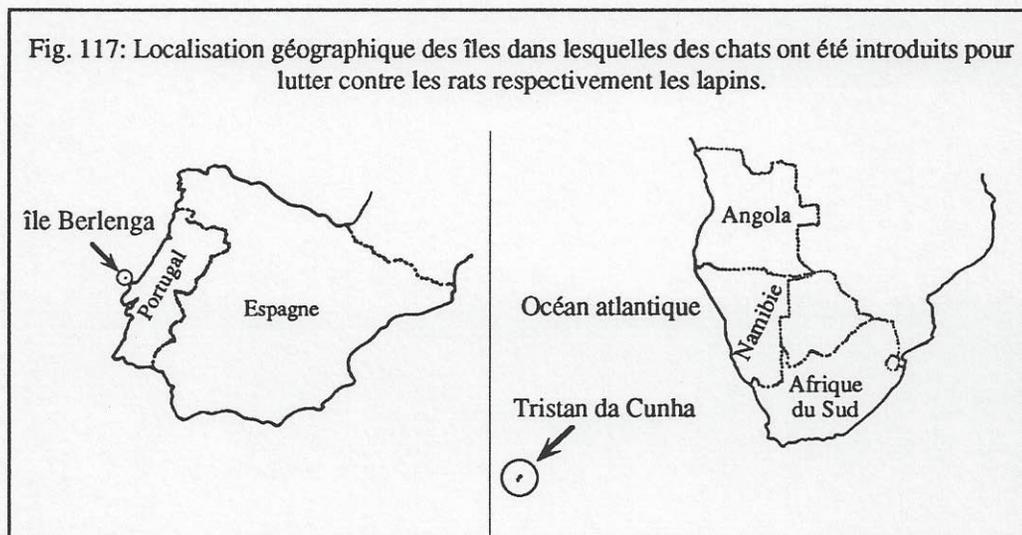
Le but de la régulation est le maintien de la densité optimale.

•

Si la densité de la population dépasse la limite supérieure ou inférieure, la population s'effondre.

L'exemple de l'introduction de chats dans deux îles auparavant non habitées par ces animaux peut servir d'illustration à cette assertion:

- Dans l'un des cas (île de Tristan da Cunha dans l'Atlantique Sud), les chats ont été introduits pour combattre les rats. Comme ils étaient trop peu nombreux, ils ont été éliminés par les rats.
- Dans l'autre cas (île Berlenga en avant de la côte portugaise), on les a introduits pour freiner la multiplication des lapins qui menaçaient les cultures maraîchères. Les chats ont tué tous les lapins, puis, l'île n'hébergeant pas d'autres proies, ils sont morts de faim. Cette fois-ci, les chats étaient donc trop nombreux.



### 3.2.2. Les mécanismes de la régulation de la densité des populations

Les mécanismes de la régulation de la densité des populations sont généralement déclenchés avant que la densité maximale ne soit atteinte. Ils sont provoqués par l'augmentation même de la densité. Les facteurs qui interviennent sont surtout:

- la compétition intraspécifique;
- la compétition interspécifique;
- la prédation / le parasitisme.

#### Effet régulateur de la compétition intraspécifique

C'est le facteur essentiel qui intervient dans la limitation de la croissance des populations. Elle entraîne:

##### 1. Le manque de nourriture provoqué par la surpopulation.

L'action de ce facteur devient d'autant plus intense que la densité de la population augmente et peut mener à l'effondrement de celle-ci.

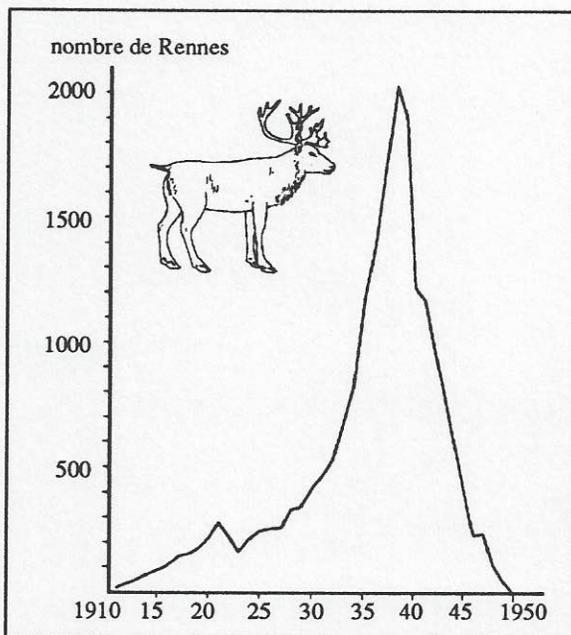
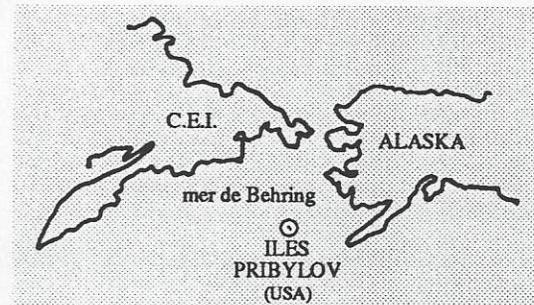


Fig. 118: Evolution de la population des Rennes introduits dans l'une des îles Pribylov situées dans la mer de Behring près de l'Alaska (d'après Scheffer, 1951 in Tischler, 1979).



En automne 1911, quelques couples de Rennes ont été introduits dans cette île. En l'absence de prédateurs, la population a rapidement augmenté. Elle a fini par détruire les Lichens dont elle s'est nourrie, et elle s'est effondrée.

##### 2. L'accumulation de produits nocifs (d'origine métabolique ou autre).



env. 3 mm

Expérimentalement, il a été démontré que le Coléoptère *Tribolium* (*Reismehlkäfer*) rejette en cas de surpopulation de l'éthylquinone, une substance qui diminue la fécondité et rallonge la durée du développement larvaire. Dans la nature, ce mécanisme a été constaté dans les cas de pullulements de larves de Moustiques dans des mares de forêt.

Fig. 119: *Tribolium confusum* (all.: Amerikanischer Reismehlkäfer).

### 3. Le cannibalisme.

A côté du mécanisme décrit, on constate chez *Tribolium* que sous l'effet de l'augmentation de la population les Insectes adultes mangent de plus en plus d'oeufs de leur propre espèce. Le cannibalisme en cas de surpeuplement a été observé chez de nombreuses autres espèces (Souris, Lézards, etc.).

### 4. L'émigration.

Un exemple bien connu est celui du Lemming des toundras (all.: *Berglemming*, angl.: *Norway lemming*) qui vit dans les régions montagneuses de Scandinavie. A intervalles de 5 à 20 ans, il se multiplie de façon prodigieuse. Alors des millions de Lemmings émigrent en même temps. Des quantités énormes se tuent lors de la traversée des rivières et des lacs à la nage. Ils deviennent la proie de prédateurs ou la victime d'épidémies. Beaucoup meurent d'épuisement. Comme ils suivent les vallées, ils finissent souvent par arriver au bord de la mer; ne faisant pas de différence entre celle-ci et un lac, ils essaient de la traverser et se noient. Aucun animal émigré ne revient à son habitat de départ qu'un petit nombre n'a heureusement pas quitté. Ces sédentaires seront à l'origine du repeuplement de la région.

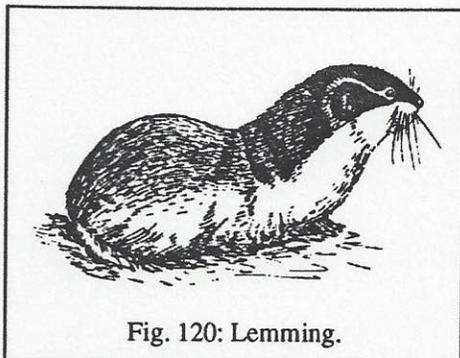


Fig. 120: Lemming.

millions de Lemmings émigrent en même temps. Des quantités énormes se tuent lors de la traversée des rivières et des lacs à la nage. Ils deviennent la proie de prédateurs ou la victime d'épidémies. Beaucoup meurent d'épuisement. Comme ils suivent les vallées, ils finissent souvent par arriver au bord de la mer; ne faisant pas de différence entre celle-ci et un lac, ils essaient de la traverser et se noient. Aucun animal émigré ne revient à son habitat de départ qu'un petit nombre n'a heureusement pas quitté. Ces sédentaires seront à l'origine du repeuplement de la région.

Un autre exemple frappant est fourni par les différentes espèces de Criquets migrants aux migrations dévastatrices connues depuis les temps bibliques (voir: encart p. 79).

### 5. Le stress.

Le stress constitue un mécanisme de régulation fondamental. Il provoque le déclenchement de mécanismes de défense de la part de l'organisme qui est mis en état d'alarme. Le stress peut être provoqué par des causes physiques ou psychiques, ou les deux. L'organisme résiste au stress grâce à l'ACTH (hormone adrénocorticotrope) sécrétée par l'hypophyse. L'ACTH stimule la production d'hormones corticoïdes par les glandes surrénales.

Cependant, si les corticoïdes sont produits en excès, leur action devient négative, ils diminuent le potentiel de défense de l'organisme et mènent à l'épuisement. L'organisme peut mourir d'épuisement ou de maladies infectieuses contre lesquelles il n'arrive plus à se défendre.

De plus, l'excès d'ACTH freine la reproduction.

Le stress en tant que phénomène de la régulation de la densité de population a été mis en évidence notamment chez les Rongeurs et les Insectes.

Il permet de donner, dans ces cas, une base d'interprétation commune des mécanismes négatifs qui se manifestent lors de l'accroissement excessif d'une population et qui constituent l'*effet de masse* (Masseneffekt, Gedrängewirkung, Kollisionseffekt, crowding-factor).

### Effet de masse chez le Campagnol des champs

Chez le *Campagnol des champs*, l'augmentation de la densité est normalement freinée par l'émigration des jeunes. Si celle-ci n'est pas possible, il y a réduction de l'étendue des territoires, ce qui diminue la fréquence des luttes entre congénères, donc le stress. Si la densité continue à s'accroître, les femelles mettent en commun leurs territoires et nichent en communauté. Si, malgré tout cela, la croissance de la population n'est pas freinée, le stress s'accroît encore davantage. Il en résulte une baisse de la fécondité des femelles et l'apparition du cannibalisme. Finalement, la tension psychique excessive mène à la boulimie (*Freßsucht*), la nervosité et l'insomnie. L'équilibre hormonal est complètement perturbé. A son paroxysme, le stress provoque un effet de choc qui fait mourir une grande partie de la population qui finit par s'effondrer.

### Coup d'oeil luxembourgeois sur les Criquets migrants

Les Criquets migrants ont toujours impressionné l'imagination des gens, ce qui fait que même au Luxembourg, pourtant à l'abri de ce genre de fléau, les textes qui s'en occupent ne font pas défaut.

En 1898, le Bulletin de la Société des Naturalistes luxembourgeois résume une lettre que son membre Edouard Luja (1875-1953) lui a fait parvenir du Congo belge: «*Herr Luja war in der Lage, einen Schwarm von Wanderheuschrecken (Oedipoda migratorius\*) zu beobachten, welcher sich über eine Strecke Landes von über zwei Kilometer Länge hinstreckte. Die Eingeborenen zogen gegen dieselben, mit Stöcken bewaffnet, zu Felde, nachdem die Armee der Geradflügler sich im Grase niedergelassen hatte. Die Wanderheuschrecken sind für den Eingeborenen ein Leckerbissen (...). Die Wanderheuschrecken werden, nachdem Flügel und Beine entfernt sind, in lange, dünne Holzstangen eingereiht und über dem Feuer geröstet.*» [Bull. Soc. Nat. luxemb., 8 (1898): 239].

Dans le «Luxemburger Wort» du 13 mai 1866 on peut lire la notice suivante: «*Die Stadt Aix im südlichen Frankreich ist vor Kurzem in Schrecken gejagt worden durch einen Schwarm von Heuschrecken, die während der Nacht da durchzogen, ohne daß man weiß, wohin sie ihre Richtung genommen. Diese Schwärme Heuschrecken richten häufig großen Schaden an in jenen Gegenden. So wurde die Stadt Arles 1613 von einem solchen Schwarm heimgesucht, der binnen einigen Stunden 6000 Hectare vollständig zerstörte.*» (Luxemb. Wort, 1866, n° 111, p. 3).

Dans un ouvrage sur le choléra et d'autres fléaux de l'humanité que Nicolas Nilles (1828-1907), curé à Tuntange, a publié en 1856, nous trouvons la notice suivante: «*Von der jüngsten orientalischen Landplage der Heuschrecken berichtet die Allgemeine Zeitung vom 6. August 1855 aus Turin:*

*Eine das Tageslicht verfinsternde Schwarmwolke dieser Wüstenkinder zog über die Insel Sardinien her, und ließ sich in der Gegend von Torralba nieder. Garten, Feld und Flur glichen in wenigen Stunden einem vegetabilischen Gerippe. Die Halme, der Saft der Blätter, das zarte Grün der Knospen war wie durch ein Zauberwort verschwunden, und nur die Stiele, Stengel, Strüncke ragten über den Boden und die denselben endlos bedeckende gefräßige Thiermasse heraus. Milliarden aber dieser nomadischen Flurschänder waren in Bäche und Quellen gefallen, hatten das Wasser untrinkbar gemacht» (...).*

Un article publié en 1901 par le Dr Ernest Feltgen (1867-1950) donne une vue d'ensemble sur l'apparition de Criquets migrants en Europe: «*Im Mittelalter scheinen die Heuschreckenschwärme weit häufiger gewesen zu sein, als gegenwärtig. Der letzte sehr grosse Einbruch fand 1747 in Ungarn statt, und von hier aus zogen sie im folgenden Jahre in dichten Wolken bis nach Frankreich und selbst nach England hinüber. Im südlichen Russland und in der Türkei hat indess diese Plage sich seitdem öfters wiederholt. Die Beschreibungen der Dichtigkeit und Länge solcher wandernden Miriaden von Heuschrecken und die Berichte über die in unglaublich kurzer Zeit vollendete Zerstörung aller grünenden Pflanzen klingen wie Fabeln, sind aber in Wirklichkeit begründet. Andere Species derselben (andere als Oedipoda seu Pachytylus migratorius\*, welche im Vorhergehenden gemeint sind) und einer verwandten Gattung verwüsten periodisch das mittlere und südliche Asien, wieder andere das Kapland, (...) Westafrika und Algerien sowie die grünenden Oasen der Sahara. Im Jahre 1799 wurde ganz Marokko innerhalb 3 Tagen durch Heuschreckenschwärme aller grünenden Pflanzen beraubt; ein gleiches Schicksal traf 1800 Kleinasien.*» [Bull. Soc. Nat. luxemb., 11 (1901): 48].

(\* nom actuel: *Locusta migratoria*)

### Effet régulateur de la relation prédateur-proie (Räuber-Beute-Beziehung)

En Europe moyenne, la densité de population du *Campagnol des champs* montre des fluctuations cycliques dont la période est de 3 à 4 ans. La densité de population de l'*Effraie* dont ces rongeurs constituent une partie importante de la nourriture, suit ces fluctuations avec un certain décalage.

Analysons de plus près cette relation entre un prédateur et sa proie. Admettons qu'au départ la population des Campagnols des champs (proie) soit nombreuse par rapport à celle des Effraies (prédateur). Ces dernières trouvent alors une nourriture abondante. Leur population augmente, sa croissance dépassant les pertes dues à la mortalité naturelle de l'espèce.

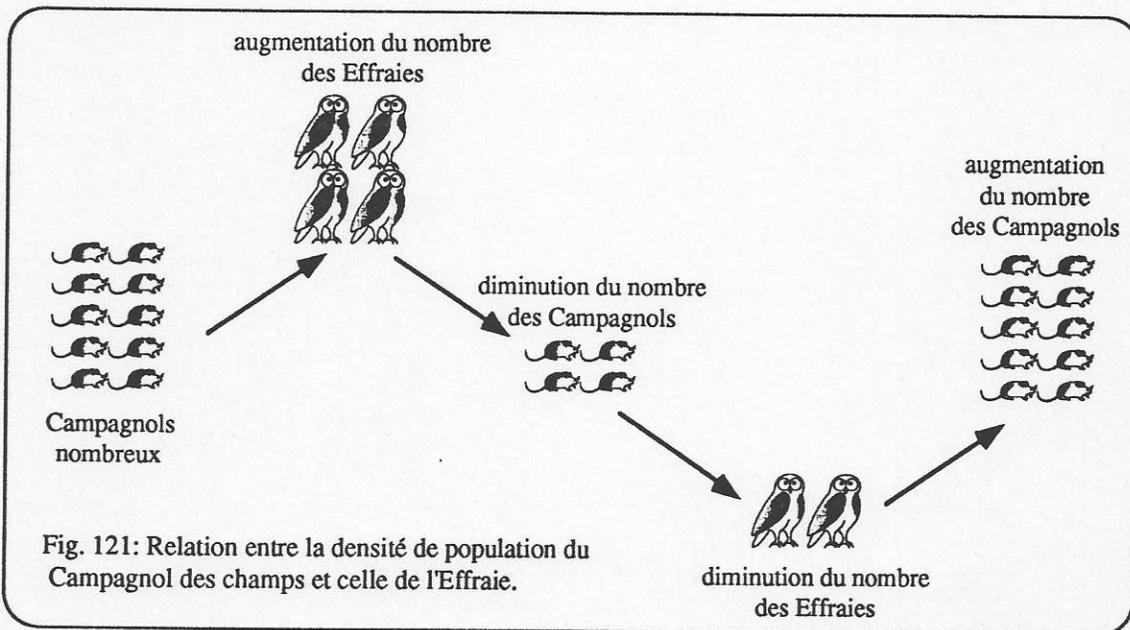


Fig. 121: Relation entre la densité de population du Campagnol des champs et celle de l'Effraie.

L'augmentation du nombre des prédateurs fait bien entendu croître la mortalité des Campagnols des champs. A partir d'un certain moment, le taux de multiplication des Campagnols n'arrive plus à compenser les pertes: leur population diminue. Désormais, les Effraies ont plus de difficultés à se procurer de la nourriture; leur population baisse. Cette diminution du nombre des prédateurs a un effet favorable sur l'effectif des Campagnols des champs: diminution de la mortalité et reprise de la croissance de la population. Les Campagnols redeviennent plus nombreux, et le cycle recommence.

Les variations des deux populations se déroulent selon les courbes théoriques suivantes (fig. 122):

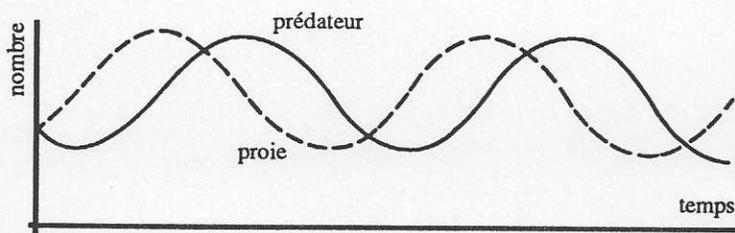
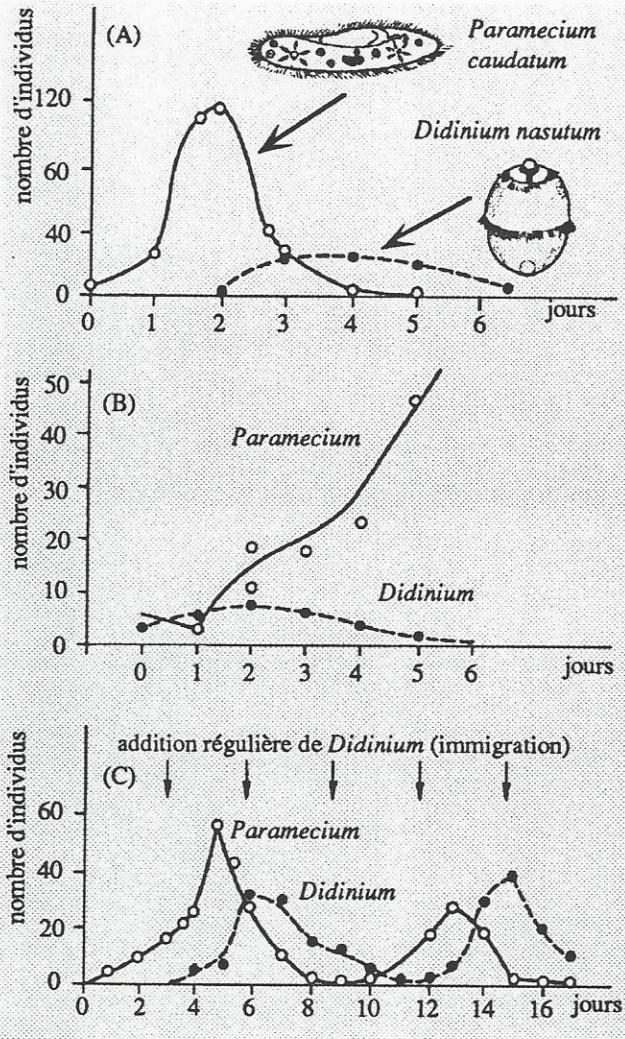


Fig. 122: Relation entre la densité de population d'un prédateur et celle de sa proie.

Il y a une véritable régulation entre la proie et le prédateur qui se trouvent en équilibre dynamique (= *équilibre biologique*).

Fig. 123: Equilibre entre une *Paramecie* et son prédateur (d'après Gause in Kalusche, 1989).



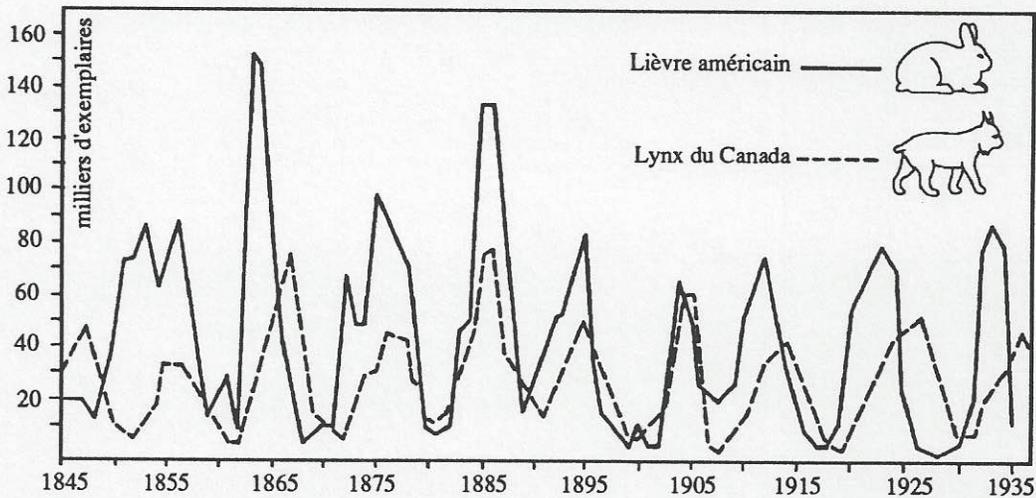
Dans une série d'expériences, la *Paramecie* *Paramecium caudatum* sert de proie, et un autre Cilié, *Didinium nasutum* (Nasentierchen), est utilisé comme prédateur. Trois types d'expériences ont été réalisés.

(A) Dans un premier cas le tube de culture renferme seulement le prédateur et sa proie. Dans ce milieu très simple et limité dans l'espace les *Didinium* détruisent très vite la totalité des *Paramecies* et finissent par mourir de faim.

(B) Dans un deuxième cas le tube de culture renferme en plus un sédiment à base d'avoine. Les *Didinium* se multiplient tout d'abord légèrement et la population de *Paramecies* est réduite. Puis ces dernières se réfugient dans le sédiment d'avoine où elles se multiplient à l'abri de leur prédateur qui finit par disparaître.

(C) La troisième expérience est plus complexe et plus conforme aux conditions naturelles. On réalise des immigrations de *Didinium* à intervalles réguliers dans un milieu contenant les *Paramecies* et le sédiment d'avoine. On observe alors des fluctuations régulières, des deux espèces. Ces fluctuations n'ont lieu que lorsque le pouvoir de destruction du prédateur est limité ou que lorsque l'immigration régulière des espèces peut se produire (texte d'après Dajoz, 1982).

Fig. 124: La relation prédateur-proie entre le Lynx du Canada (*Lynx canadensis*, Kanadaluchs, Canadian lynx) et le Lièvre américain (*Lepus americanus*, Schneeschuhhase, snowshoe rabbit). (d'après MacLulich, 1937 in Odum, 1980)



Le Lynx du Canada se nourrit presque exclusivement de lièvres. Le diagramme a été établi par rapport au nombre de peaux de lynx et de lièvres vendues chaque année par les trappeurs canadiens. On peut admettre que ce nombre est fonction de l'effectif des animaux pour les différentes années. Les fluctuations de la population des lièvres correspondent à un cycle de  $\pm 10$  ans; la population des lynx suit ces fluctuations avec un certain décalage.

Fig. 125: Menu gibier et animaux carnassiers (sans les chats) abattus au Grand-Duché de Luxembourg entre 1946 et 1980. La densité des carnassiers (prédateurs) suit approximativement les fluctuations du petit gibier (proies) (d'après Weiss, 1982).

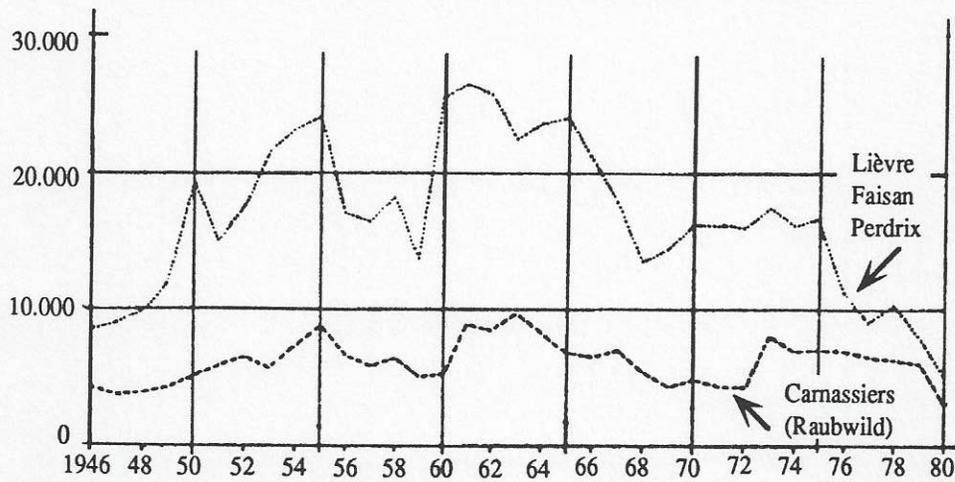
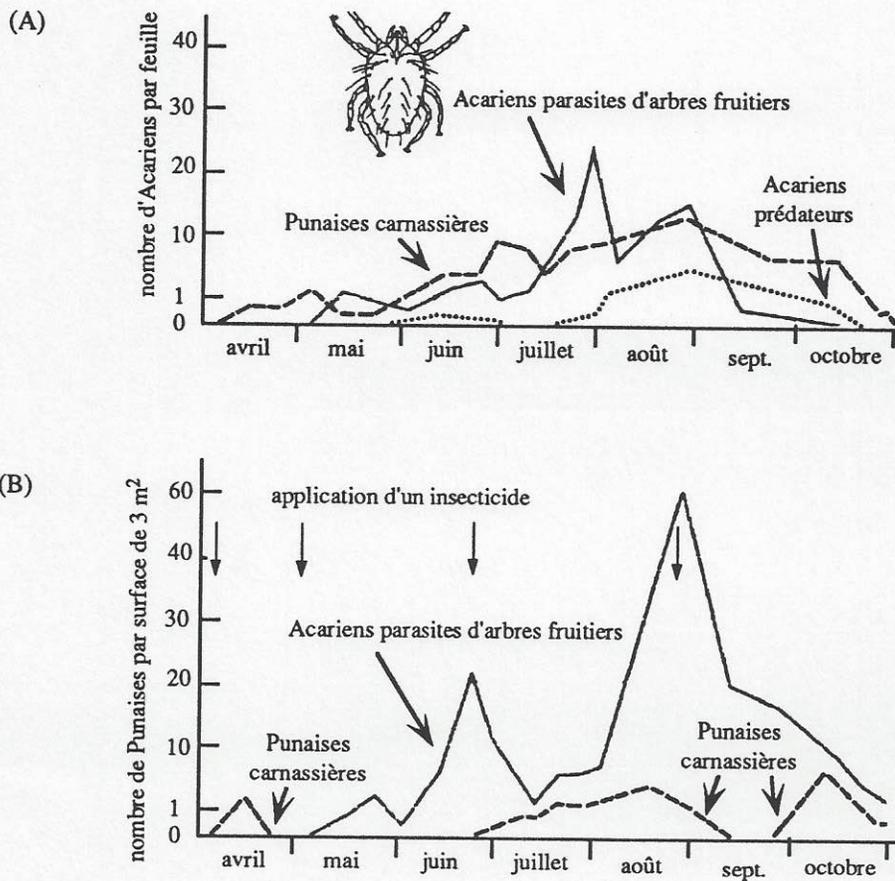


Fig. 126: (A) Variations normales, au cours du printemps et de l'été, de la population d'Acariens parasites d'arbres fruitiers et de celle de leurs principaux ennemis: Punaises et Acariens prédateurs.

(B) L'application répétée d'insecticides (flèches) décime ou détruit la population des Punaises prédatrices qui sont plus sensibles à ces substances toxiques que le parasite. La conséquence en est que la population des Acariens parasites n'est plus freinée dans la même mesure qu'auparavant par son prédateur. La densité de population des parasites augmente et dépasse même le niveau normal (d'après Redenz-Rusch, 1959 in Chauvin, 1967).



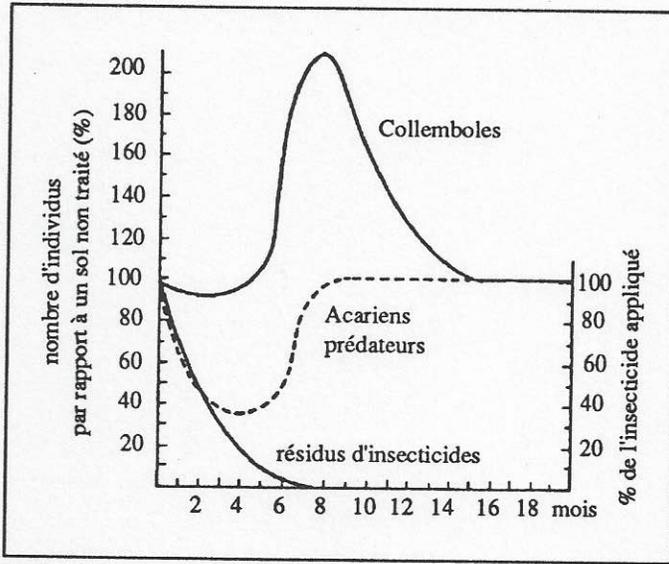


Fig. 127: Relation entre la teneur en résidus d'insecticides dans un sol et l'abondance relative des Collemboles et de leurs Acariens prédateurs (d'après Pimentel & Edwards, 1982 in Ramade, 1992).

On constate que la diminution relative de la pression de prédation due à la plus grande sensibilité des prédateurs se traduit par une augmentation passagère de la densité de population des Collemboles.

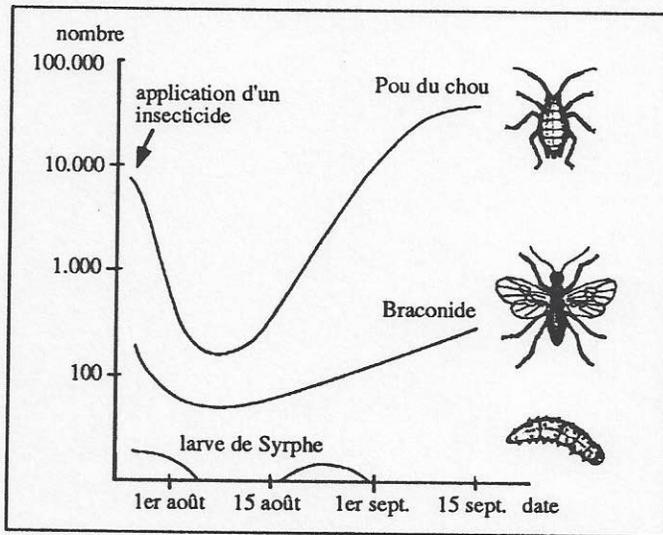
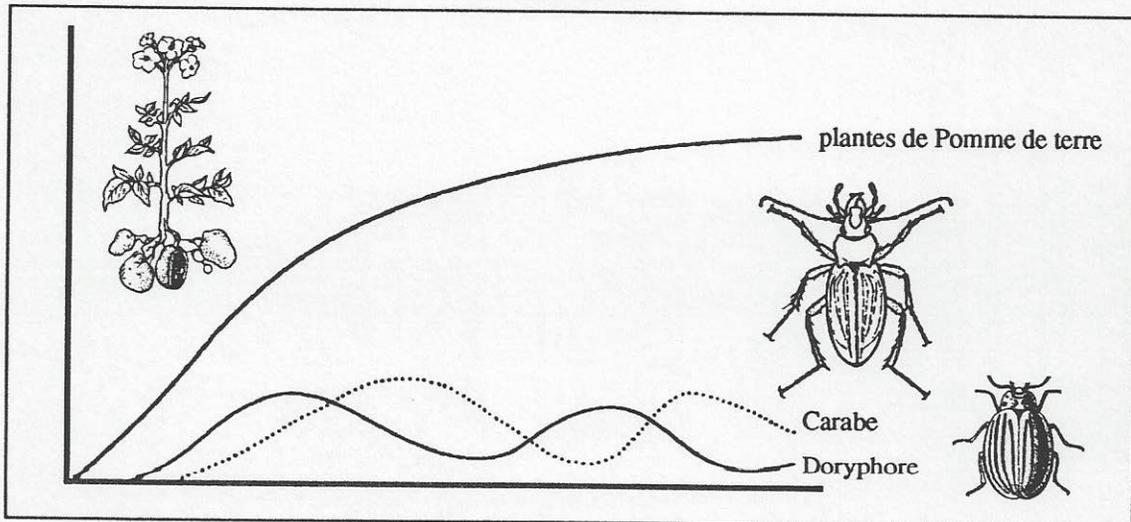


Fig. 128: Evolution de l'effectif de la population du Pou du chou (*Brevicoryne brassicae*, Kohlblattlaus) après traitement à l'insecticide (d'après C. Wagner, 1991).

Les ennemis naturels de l'animal nuisible sont également tués par l'insecticide. Il s'agit de Braconides (*Blattlauswespen*) et de larves de Syrphes (*Schwebfliegen*). Comme leurs populations se reconstituent beaucoup plus lentement que celle des Poux du chou, le parasite se multiplie de manière explosive.

Les exemples précédents montrent les risques liés à un usage irréfléchi des insecticides, qui peut paradoxalement aboutir à une véritable explosion démographique de l'animal que l'on veut détruire. La *lutte biologique* contre les animaux nuisibles est donc plus recommandable.

Fig. 129: En présence d'un équilibre entre le prédateur et sa proie (dans ce cas: un animal nuisible), la plante cultivée (= proie de l'animal nuisible) peut se développer sans trop de perturbation (inspiré de Kalusche, 1989).

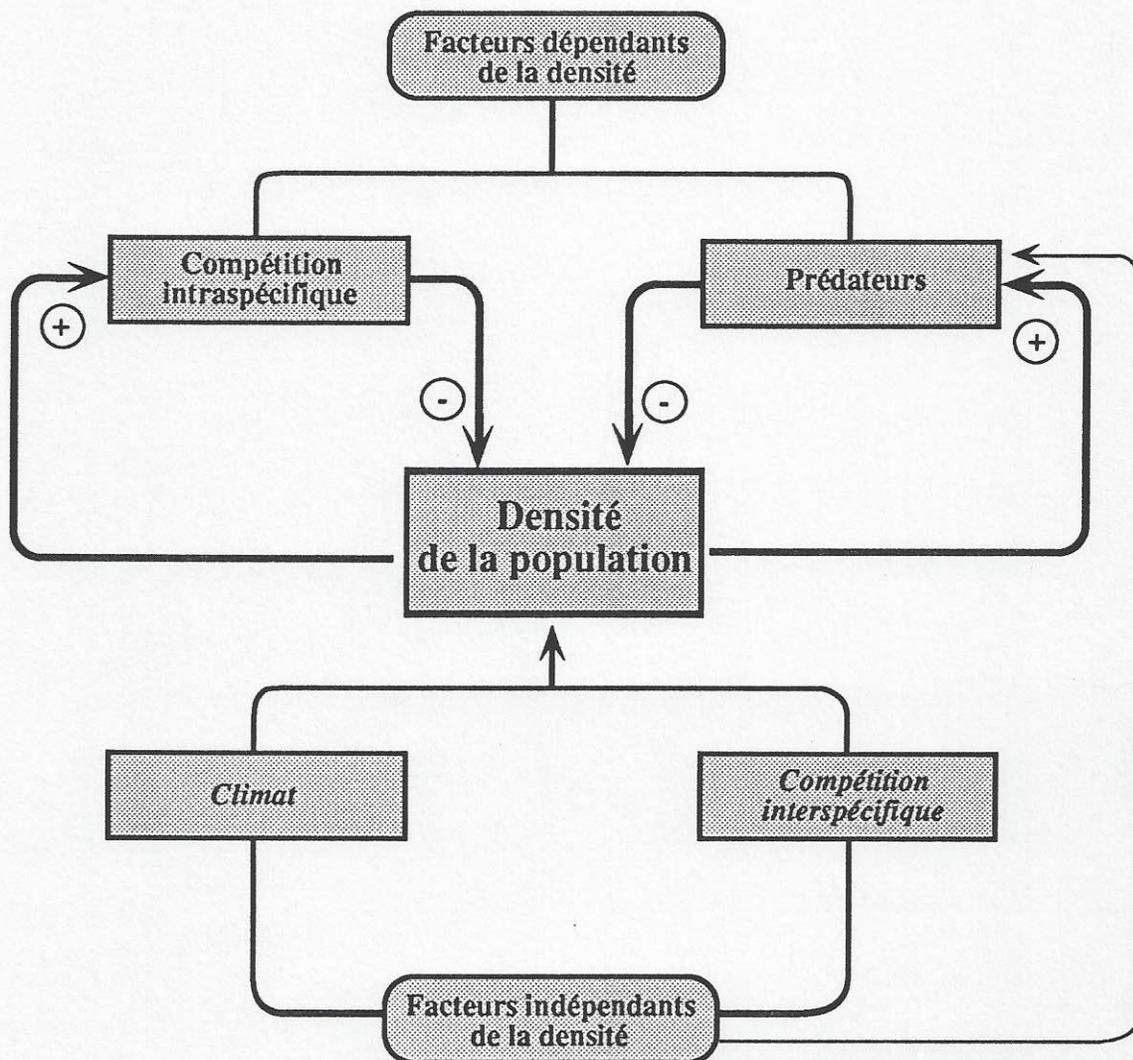


## Schéma de la régulation de la densité de population

La régulation de la densité de population d'une espèce donnée est due à :

- des *facteurs indépendants de la densité*, essentiellement le climat et la compétition interspécifique due à des ennemis non spécifiques, puis les maladies non contagieuses, le sol, la qualité de la nourriture;
- des *facteurs dépendants de la densité*, essentiellement la compétition intraspécifique, les prédateurs et parasites spécifiques, puis les maladies contagieuses.

Fig. 130: Schéma général simplifié de la régulation de la densité de population.



Les facteurs dépendants de la densité agissent sur la densité de population par une *rétroaction négative* ou *feed-back négatif* (negative Rückkopplung):

- Une *augmentation de la densité* entraîne une augmentation corrélative de la compétition intraspécifique et du nombre des prédateurs. Il en résulte une *diminution de la population*.
- Une *diminution de la densité* entraîne une baisse de la compétition intraspécifique et du nombre des prédateurs, d'où une *augmentation de la population*.

### 3.3. Croissance de la population humaine

Le chiffre de la population mondiale est connu de façon approximative à partir de 1650. Pour les valeurs antérieures, il faut extrapoler.

On admet qu'au début du Néolithique, il y avait plus ou moins 5 millions d'habitants sur Terre et que la population a doublé tous les 1500 ans. Au début de l'ère chrétienne, nous devions être 250 millions, et en 1650 environ 500 millions.

Vers 1850, la population atteint le milliard; le temps de doublement n'est plus que de 2 siècles. Elle continue à s'accroître de plus en plus rapidement:

1930: 2 milliards
1960: 3 milliards
1975: 4 milliards
1987: 5 milliards
1991: 5,4 milliards (au milieu de l'année)

Le temps de doublement a été de 80 ans entre 1850 et 1930, de 45 années seulement entre 1930 et 1975, et il continue à diminuer! Selon les estimations de l'ONU, la population mondiale atteindra le chiffre de 6 milliards vers 1997; elle comptera 6,2 milliards en l'an 2000 et 8,5 milliards en 2025 (d'après: Encyclopaedia Britannica, Book of the Year 1992).

Fig. 131: Accroissement de la population mondiale à partir de l'âge de la pierre.  
(d'après Lemaire, 1975)

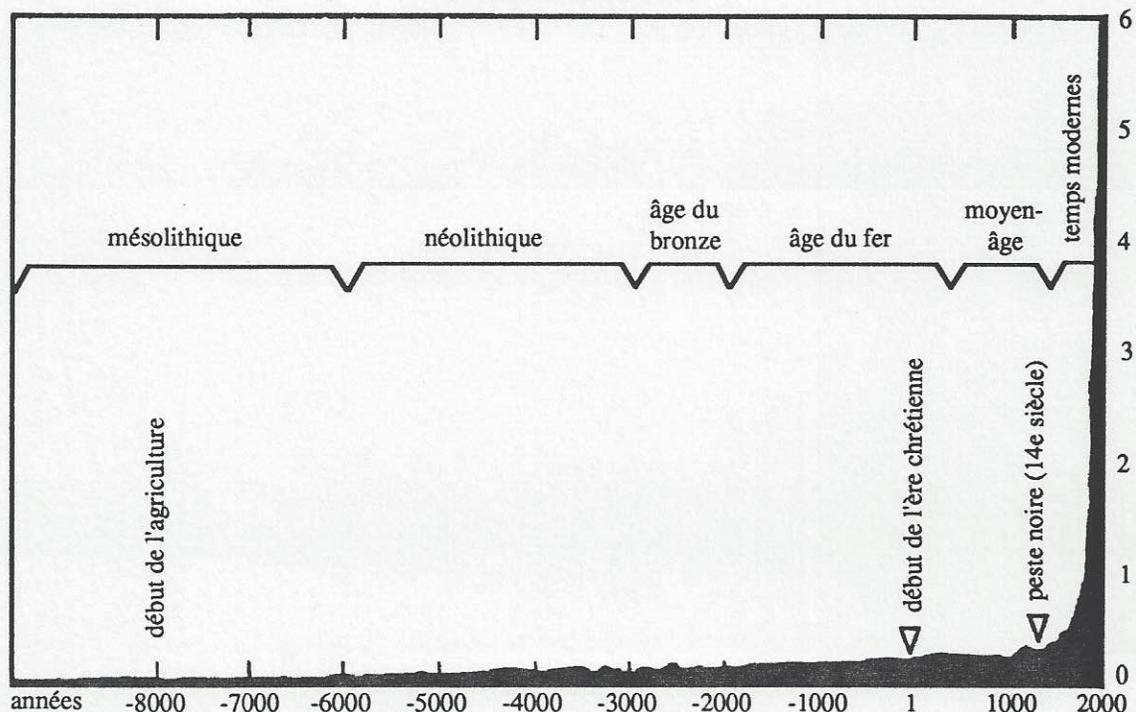
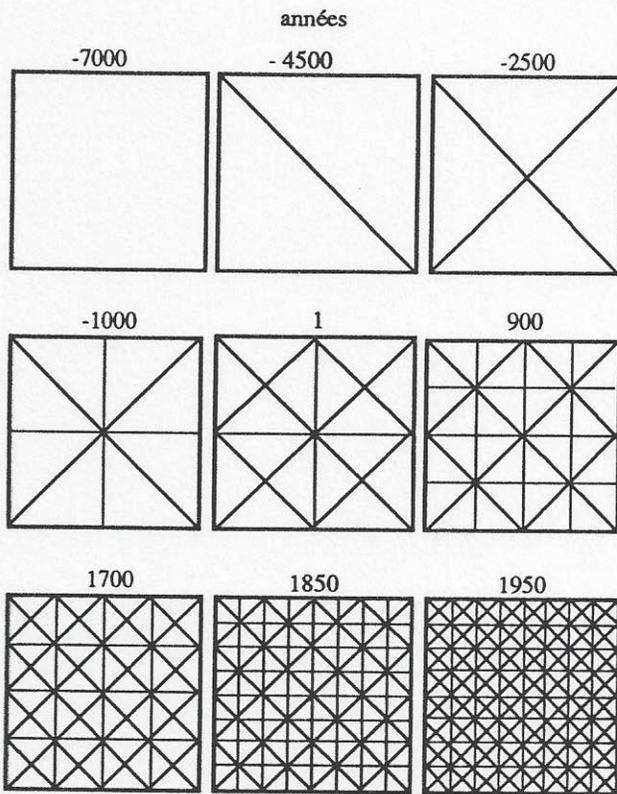


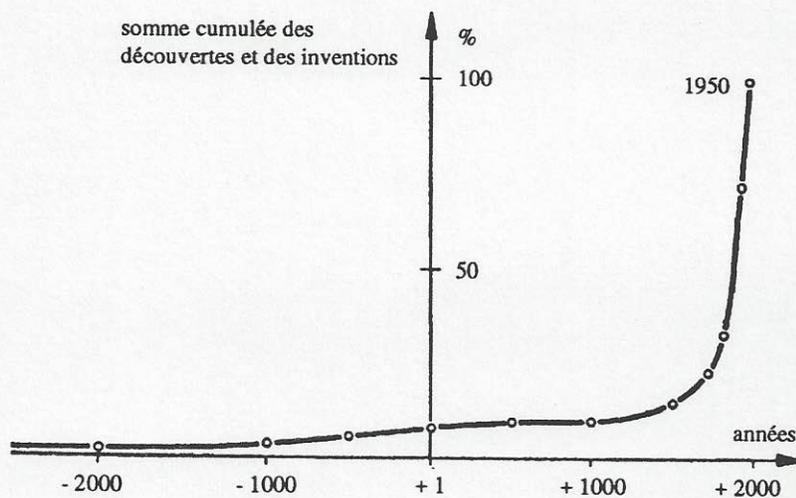
Fig. 132: Représentation graphique de la réduction de notre espace vital au cours des millénaires.  
(d'après Basler in Leibundgut, 1971)



Alors qu'en l'an 7000 av. J.-C. tout individu disposait de 15 km<sup>2</sup> de terre ferme, il en reste actuellement à peine 0,026 km<sup>2</sup> par individu.

Le formidable accroissement de la population humaine est allé de pair avec le développement du pouvoir que l'Homme a acquis sur la Nature. Cette domination de l'Homme résulte de l'augmentation de ses connaissances par suite de découvertes et d'inventions de plus en plus nombreuses.

Fig. 133: Somme cumulée des découvertes et des inventions depuis l'antiquité jusqu'à l'époque moderne.  
(d'après Basler in Leibundgut, 1971)

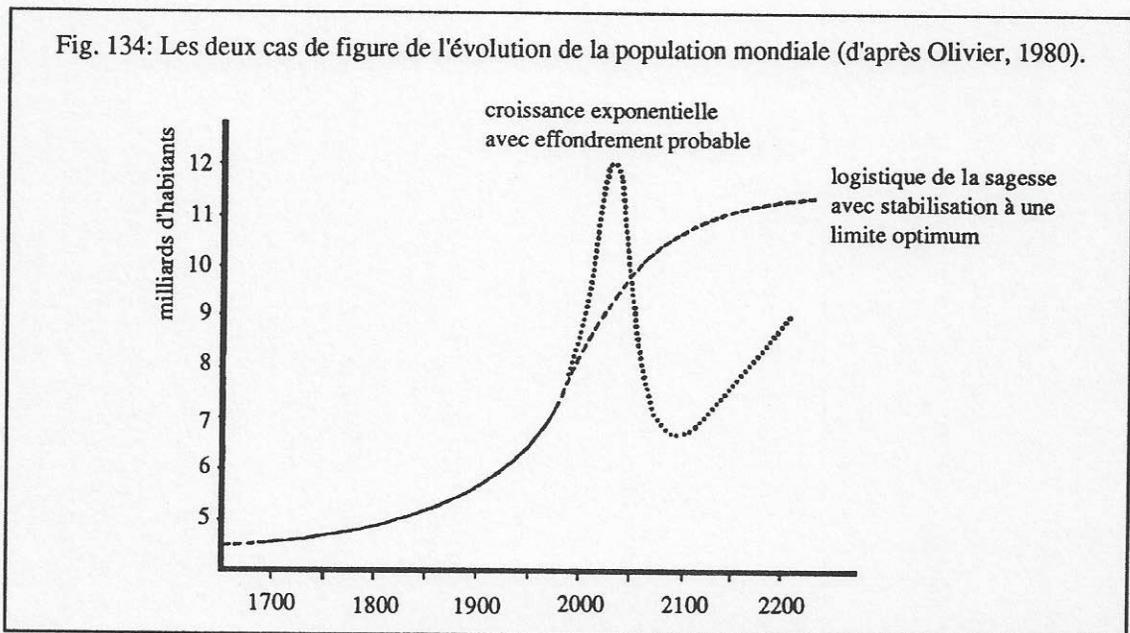


Notons l'accélération foudroyante du rythme des découvertes et inventions à partir de la «révolution industrielle» (fin 18<sup>e</sup> siècle - début 19<sup>e</sup> siècle).

C'est l'application des connaissances scientifiques (médecine, agronomie, technologie, etc.) qui, en diminuant la mortalité, a créé la base de l'expansion démographique. Malheureusement, l'application de ces mêmes connaissances est aussi à l'origine de l'épuisement des ressources naturelles et de la pollution croissante de notre planète. Il faut espérer qu'une application plus judicieuse de nos connaissances permettra de trouver la solution aux problèmes que l'humanité doit affronter actuellement, à cause, justement, de l'explosion démographique et de la destruction de notre environnement.

En effet, si la population humaine continue de s'accroître au même rythme, il y aura, selon une extrapolation absurde, mais mathématiquement correcte, un être humain par mètre carré de terre ferme vers l'an 2500 !

Ce calcul montre bien le problème vital qui se posera à l'humanité dans les prochaines décennies.



L'évolution de la population humaine, tout comme celle des populations animales, ne pouvant être illimitée, sa croissance sera freinée par l'une ou l'autre des possibilités suivantes :

- une *limitation imposée par le milieu*: épuisement des ressources naturelles, pollution, faim, guerre. Ce sera l'effondrement tel qu'il est provoqué par l'effet de masse dans les populations animales.
- une *limitation volontaire et planifiée* (contrôle des naissances, arrêt de l'expansion industrielle, réduction de la consommation des ressources naturelles, lutte contre la pollution); ce sera l'inflexion de la croissance et le passage à la stabilisation; la solution de la sagesse, donc !

A ce propos, il faut noter que le taux d'accroissement annuel qui a été de 2,1% pour la période 1965 - 1970, montre actuellement une tendance à la baisse. Il n'a plus été que de 1,72% en 1991. Certaines spéculations admettent que la croissance atteindra son point d'inflexion vers 2080. A ce moment-là, la population mondiale serait de quelque onze milliards d'habitants.

**Document:****Populations and Population Movements in 1991**

(from: Britannica Book of the Year 1992)

At mid-1991 world population stood at 5,384,000,000, according to estimates prepared by the Population Reference Bureau. This represented an increase in excess of 93 million over the previous year, meaning that world population growth continued to set records. In 1991 the rate of population growth declined slightly, from about 1.76% in 1990 to about 1.72%. This conclusion, however, was heavily dependent on the reliability of data from less developed countries (LDCs). In particular, the large populations of China and India, which comprise almost half the LDC total, exerted heavy statistical weight on world rates. In 1991 China's population totaled 1,151,300,000, and India, which added more people to its population than China, reached 859 million. Although the world birthrate had been declining gradually, increases in life expectancy tended to compensate with a decrease in the world death rate. This meant that the growth rate changed little, but overall world population rose by a larger amount because the base population also increased. The UN projected that annual additions to the population would peak sometime around the turn of the century at nearly 100 million.

The latest series of UN projections put world population at 6,260,800,000 in 2000 and 8,504,223,000 by 2025. These were higher than the previous UN projections, largely because of a slower-than-expected fertility decline in India and a birthrate rise in China. It took only 12 years for world population to climb from four billion to five billion (in 1987), and the «sixth billion» should arrive in only 10 years, by 1997. New long-range World Bank projections showed a «stationary» world population of 12.5 billion, one billion higher than the previous series.

There were vast differences between the population situations of the more and less developed nations. The industrialized countries, particularly Japan and those of Europe, faced many challenges associated with relatively long periods of very low birthrates. These societies needed to plan for an aging population and, in many cases, sharply decreasing numbers of young persons entering the labour force. In 1991, however, the birthrate continued to rise in some European countries. Sweden's increase was especially notable. In that country the total fertility rate (TFR), or the average number of children a woman would bear given that year's rate, rose to 2.1, just above «replacement level», or the level at which each couple will replace themselves.

For less developed countries, where virtually all of world population growth occurs, the issues were more related to just when population growth could be slowed and, ultimately, stabilized. Excepting China, where an effective population control program had lowered the growth rate significantly, less developed country populations were growing at 2.3% per year, a rate that would double their populations every 30 years. In some less developed countries, significant progress had been made in lowering high birthrates. South Korea attracted attention with an extremely low TFR of 1.6, credited to the country's emergence as a newly industrialized country as well as to an organized national family-planning program. Concern was even being expressed that European-style problems associated with low birthrates might soon surface. Asia's TFR was 3.3 (including China, where it was 2.3; 3.9 excluding China). In Africa the TFR continued at a level of 6.1 children per woman. In Latin America fertility was a more modest 3.5.

In 1991 life expectancy at birth averaged 65 years (74 in more developed countries; 62 in the less developed countries, where 77% of the world's population lived). The highest expectancy was reported by Japan, where a newborn infant could be expected to live 78.6 years. Worldwide, 43% of the population lived in places defined as «urban», generally towns of 2,000 or more. The infant mortality rate was 68 infant deaths per 1,000 live births, a rate that varied from 4.5 in Japan to over 100 in many countries of Africa and some in Asia.

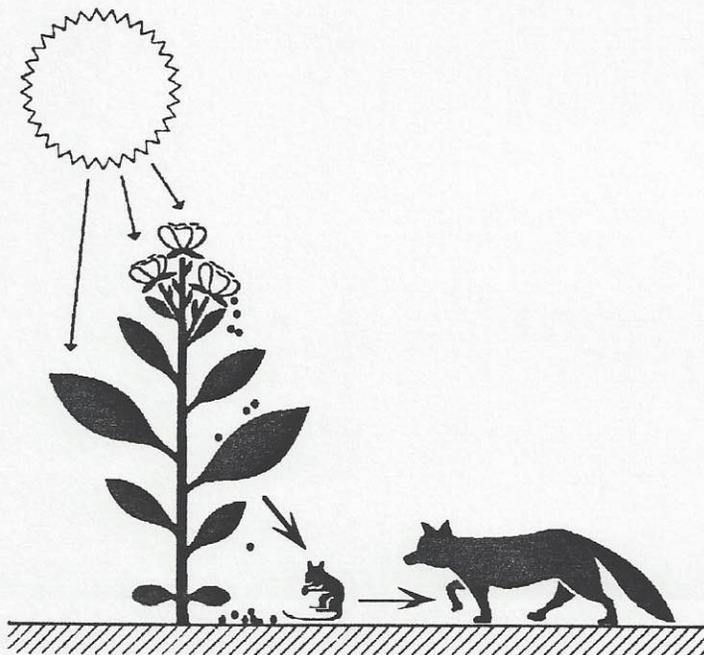
One third of the world's population were under 15 years of age, and 6% were 65 or older. In the less developed countries, 36% were under 15 and 4% over 65, and in the more developed countries, 21% were under 15 and 12% over 65. In many less developed countries, half or nearly half of the population were under 15, affording significant potential for future population expansion.

In 1991 Estonia, Latvia, and Lithuania gained independence, reducing the size of the Soviet Union to 284 million from 292 million.

Based on the results of the 1990 census, the U.S. Census Bureau estimates put the U.S. population at 252,377,000 (including armed forces overseas) on June 1, 1991, an increase of 2,663,000, or 1.1%, over one year earlier. Natural increase — births minus deaths — accounted for 2,017,000 of the growth, with the remaining 646,000 resulting from immigration.

# 4. SYNÉCOLOGIE

## 4.1. Cycles de la matière et flux d'énergie



### 4.1.1. Les niveaux trophiques

La façon dont les organismes de l'écosystème se procurent les substances et l'énergie nécessaires pour leur vie permet de définir leur régime alimentaire et le niveau trophique (gr.: *trophê* = nourriture) qu'ils occupent dans l'écosystème.

On distingue trois niveaux trophiques fondamentaux:

- les producteurs,
- les consommateurs,
- les décomposeurs.

#### □ Les producteurs (Erzeuger, Primärproduzenten).

Ils utilisent l'énergie lumineuse du soleil pour synthétiser de la matière organique à partir de la matière minérale (photosynthèse). Ils sont *autotrophes*. Ce sont les végétaux chlorophylliens.

#### □ Les consommateurs (Verzehrter, Konsumenten).

Ils se nourrissent de la matière organique d'autres êtres vivants. Ce sont des *hétérotrophes*, essentiellement des animaux. Ils comprennent:

- *les phytophages ou herbivores (Pflanzenfresser):*

Ils se nourrissent directement des producteurs. Ce sont des *consommateurs primaires* ou *de premier ordre* (exemples: Vache, Chenille).

- *les zoophages ou carnivores (Fleischfresser):*

On distingue:

- ceux qui mangent des herbivores; ce sont des *consommateurs secondaires* ou *consommateurs de 2<sup>e</sup> ordre*;
- ceux qui mangent d'autres carnivores; ce sont des *consommateurs tertiaires* ou *consommateurs de 3<sup>e</sup> ordre*.

- *les omnivores (Allesfresser):*

Ils se nourrissent de plantes et d'animaux. Selon le cas, on doit les considérer comme des *consommateurs primaires*, *secondaires* ou *tertiaires*, etc.

- *les parasites (Schmarotzer):*

Le parasite végétal est un *consommateur primaire*. Le parasite animal est un *consommateur secondaire* ou *tertiaire*, etc.

□ **Les décomposeurs ou réducteurs (Zersetzer, Destruenten).**

Ils se nourrissent de matière organique morte (excréments et cadavres des animaux, plantes mortes et débris végétaux). Ils sont *hétérotrophes*.

On distingue:

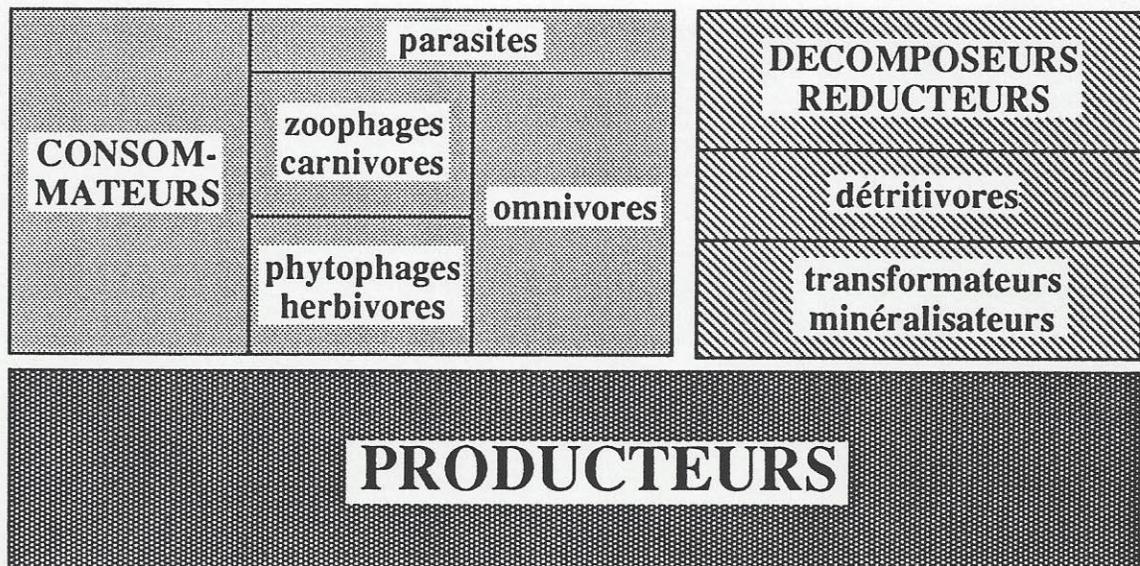
- *les détritivores:*

Ce sont des animaux; ils assurent la fragmentation de la matière organique.

- *les transformateurs ou minéralisateurs:*

Ce sont des végétaux saprophytes (Bactéries, Champignons). Ils transforment la matière organique en substances minérales réutilisables par les producteurs.

Fig. 135 : Les niveaux trophiques.



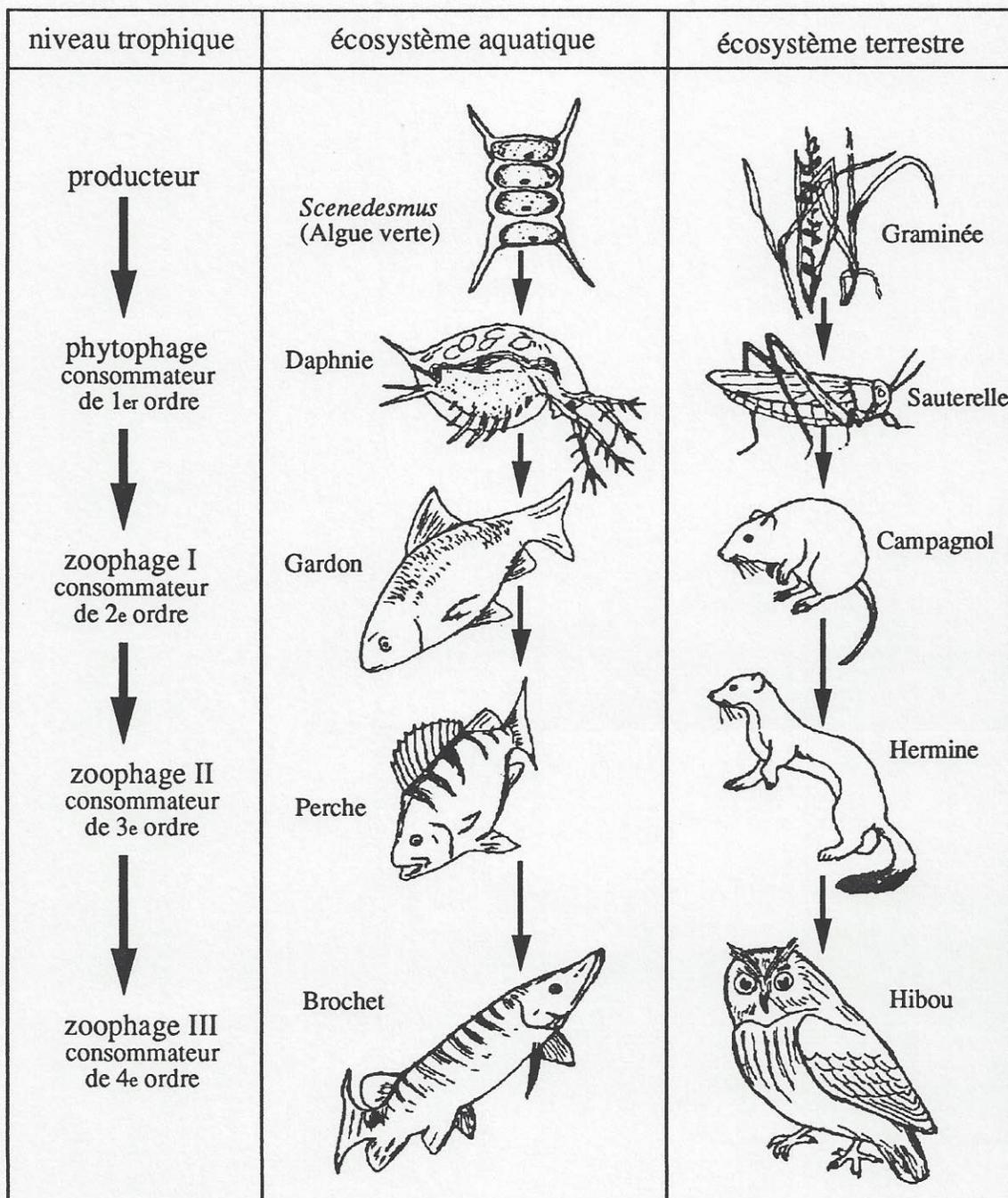
### 4.1.2. Les chaînes alimentaires

Dans un écosystème équilibré, tous les niveaux trophiques sont présents. Entre les éléments des différents niveaux s'établit une relation linéaire qui permet de définir une chaîne alimentaire à l'intérieur de laquelle un élément d'un niveau trophique donné sert de nourriture à un organisme d'un des niveaux suivants.

Un écosystème comporte de nombreuses chaînes alimentaires.

Chaque maillon de la chaîne alimentaire correspond à un niveau trophique déterminé qui dépend du niveau précédent. La taille des animaux s'accroît d'un niveau à l'autre.

Fig. 136: Chaînes alimentaires de type herbivore-carnivore.



Le nombre des maillons est limité. En effet, le passage d'un niveau à l'autre s'accompagne chaque fois d'une importante perte d'énergie.

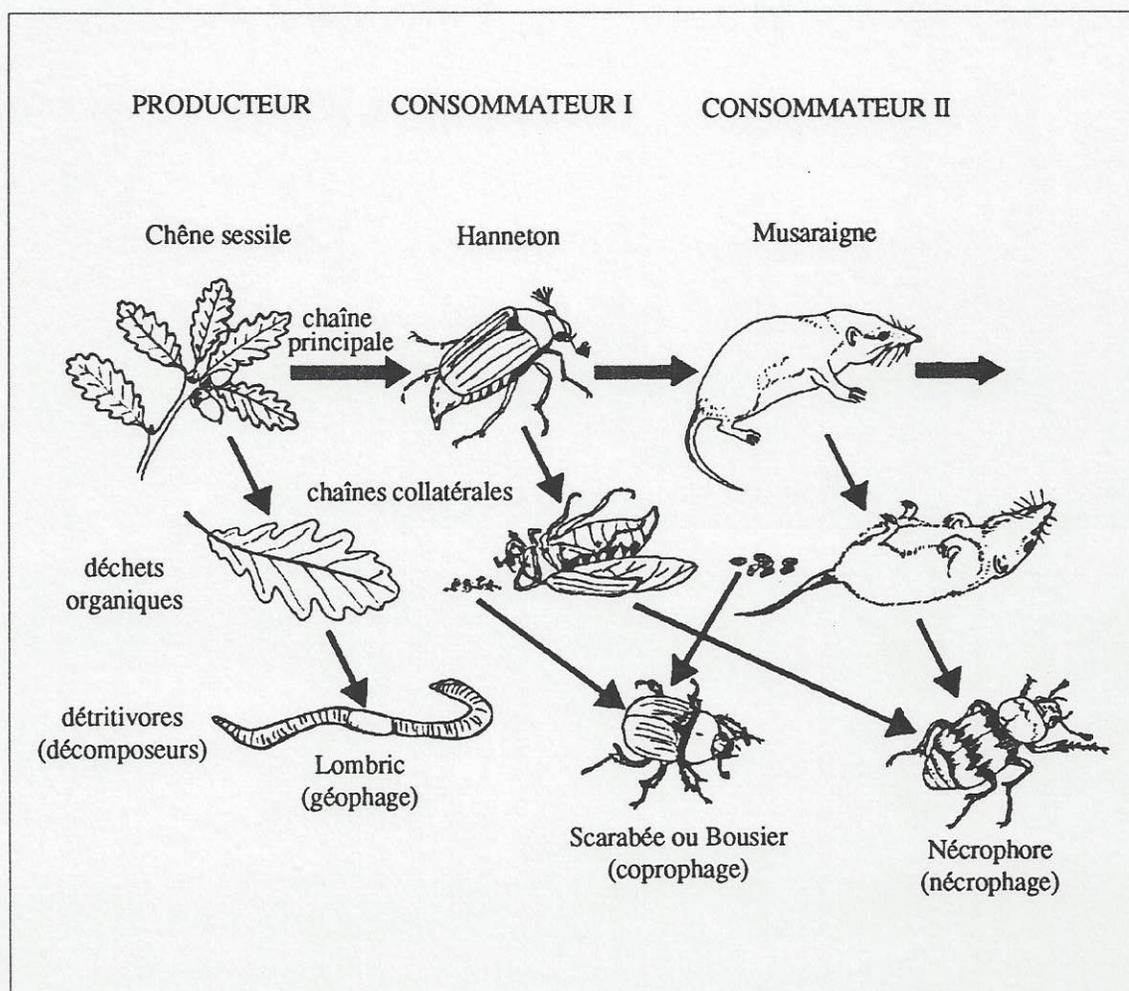
### Les chaînes alimentaires collatérales

Deux sortes de chaînes collatérales peuvent partir de chaque niveau de la chaîne principale de type herbivore-carnivore:

- facultativement, une *chaîne collatérale de type parasitique* comprenant un parasite primaire qui peut être parasité à son tour par un parasite secondaire, etc.
- obligatoirement, une *chaîne collatérale de type détritique* comprenant les décomposeurs.

A l'intérieur des chaînes collatérales, la taille des organismes diminue d'un niveau à l'autre.

Fig. 137: Exemples de chaînes alimentaires détritiques.



### 4.1.3. Les réseaux alimentaires

Dans un écosystème, il s'établit de nombreuses relations entre les organismes qui ne peuvent plus être représentées linéairement:

- Un omnivore peut intervenir à plusieurs niveaux différents de la même chaîne.
- Les décomposeurs peuvent servir de proie aux prédateurs de la chaîne principale.
- Un même organisme peut faire partie de plusieurs chaînes différentes. Ainsi, la Hulotte (all.: *Waldkauz*, lux.: *Bëschail*) est au carrefour de quelque 30 chaînes alimentaires différentes.

De cette façon, les chaînes alimentaires s'anastomosent pour former des réseaux alimentaires.

Fig. 138: Quelques exemples de chaînes alimentaires contrôlées par la Hulotte.

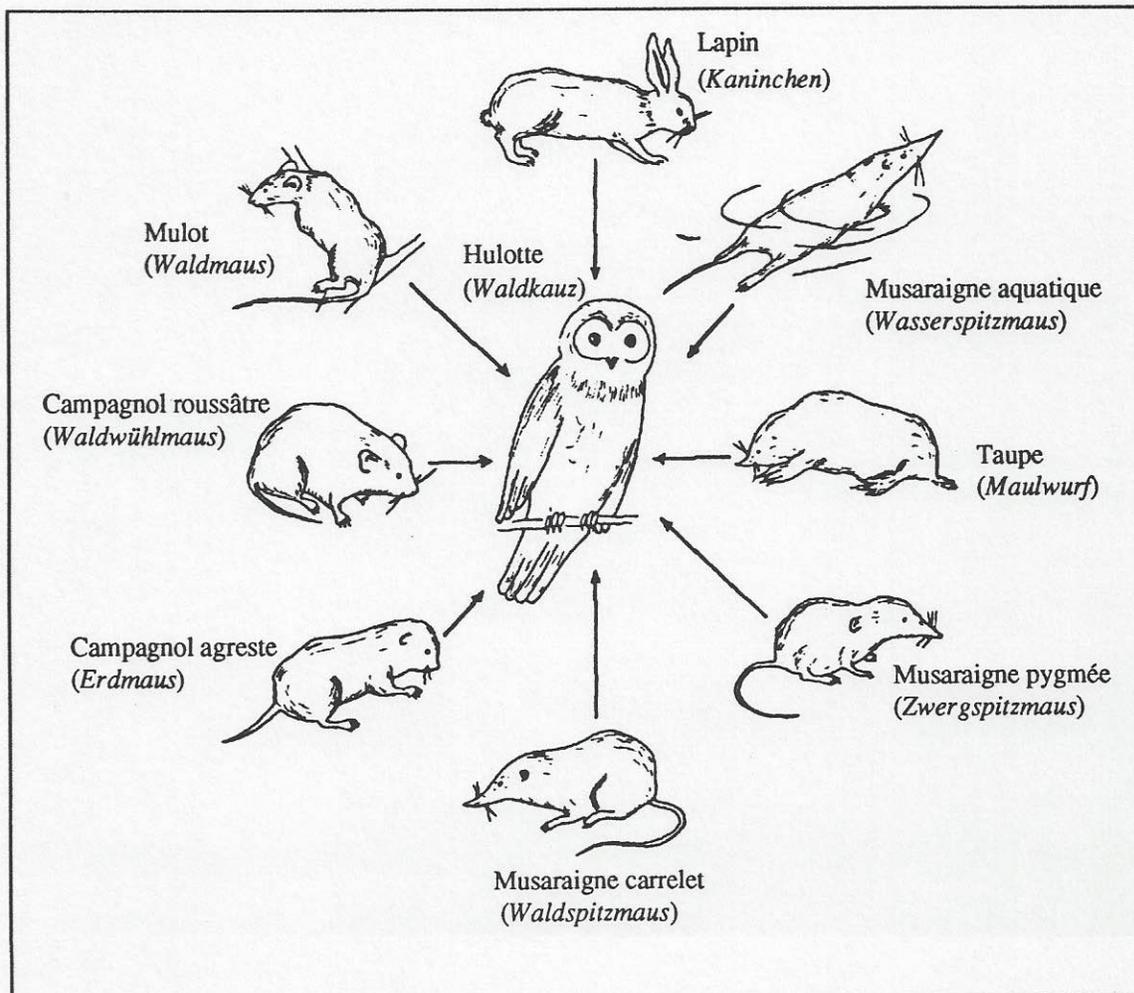
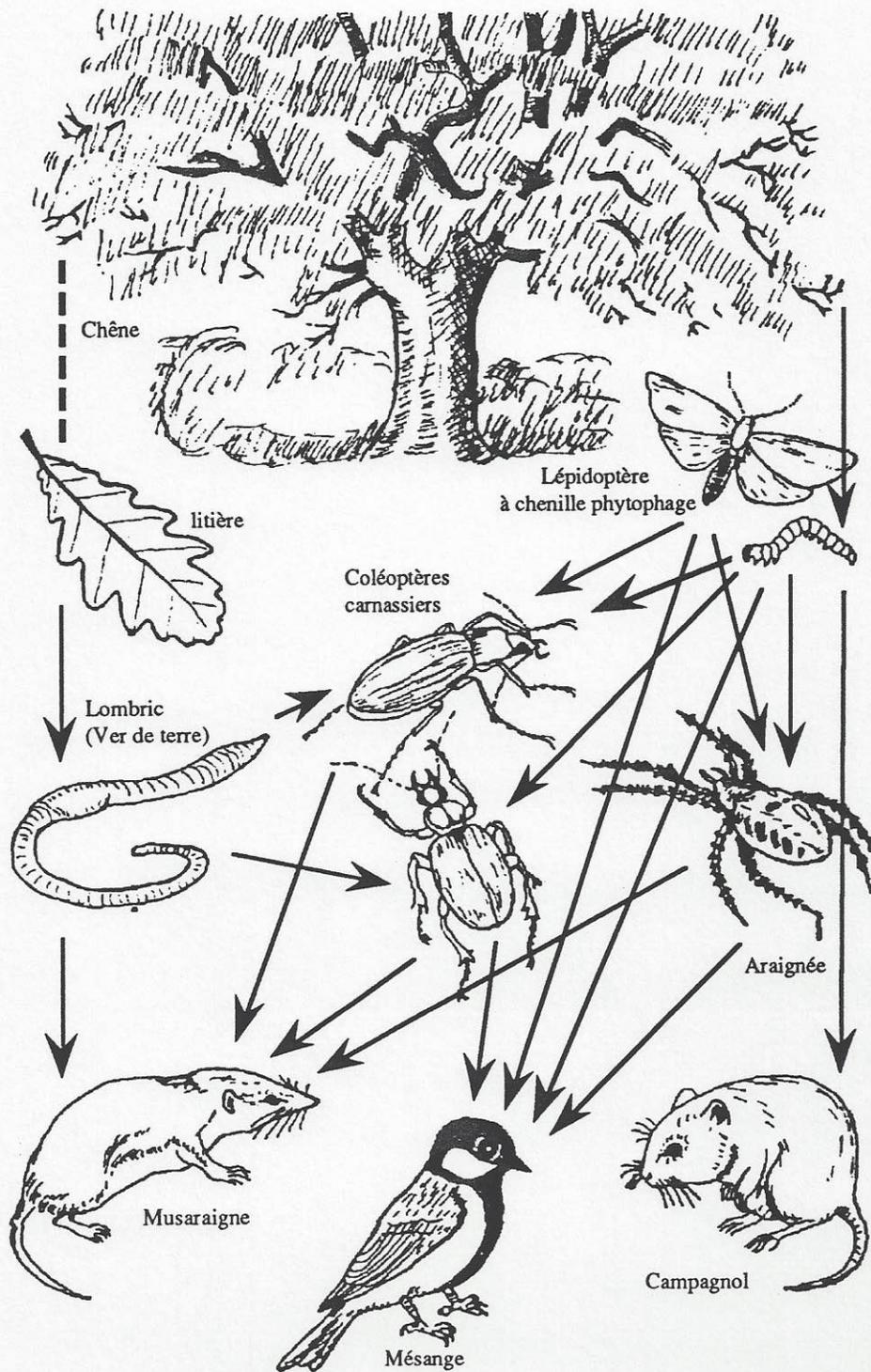


Fig. 139: Réseau alimentaire dans une Chênaie (simplifié).



#### 4.1.4. Le cycle de la matière

##### Le cycle alimentaire

Dans un écosystème équilibré, les réseaux alimentaires s'intègrent dans un cycle alimentaire (*Nahrungskreislauf*). A l'intérieur de ce cycle, la matière nutritive reste constante. Perpétuellement transformée, elle est continuellement réutilisée. L'écosystème est autonome en ce qui concerne les substances nutritives.

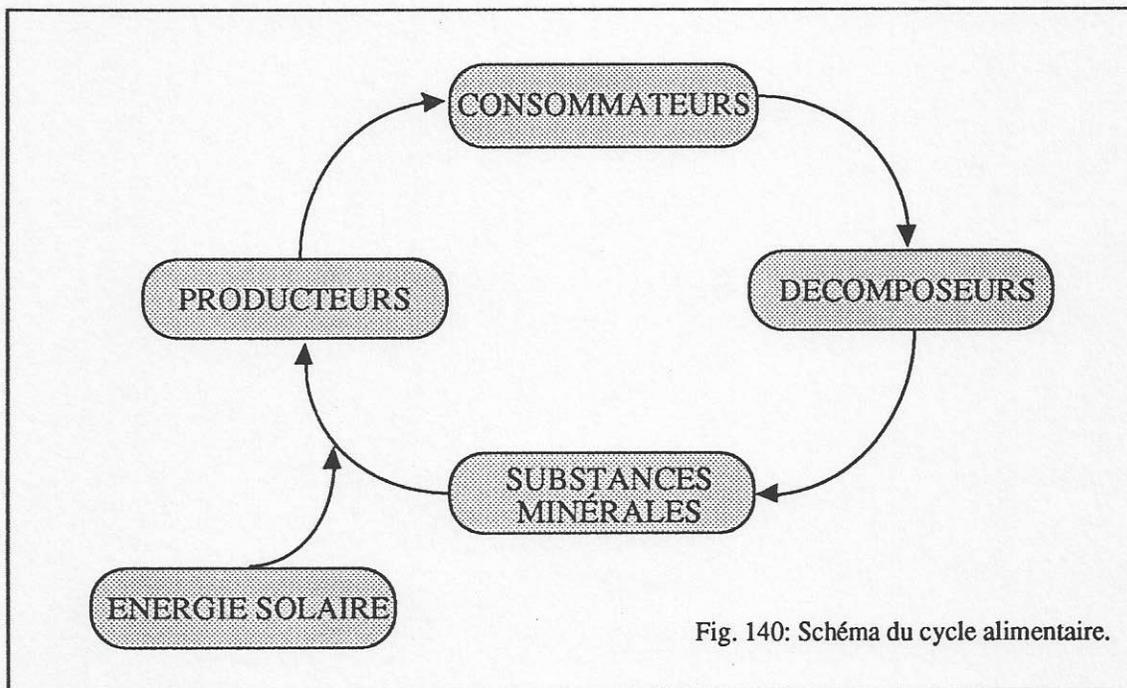


Fig. 140: Schéma du cycle alimentaire.

Les écosystèmes équilibrés, bien qu'autonomes, peuvent entretenir des relations d'échanges avec les écosystèmes voisins (recoupement de chaînes alimentaires). Il existe donc finalement une interdépendance entre tous les écosystèmes de la biosphère.

Si l'on néglige certains microorganismes capables de chimiosynthèse, l'énergie nécessaire pour le maintien du cycle alimentaire de la biosphère est fournie par le soleil et captée par la chlorophylle des végétaux phototrophes. Ainsi, le cadre de la planète Terre est dépassé, la source d'énergie nécessaire au maintien de la vie étant «extra-terrestre».

##### Les cycles biogéochimiques

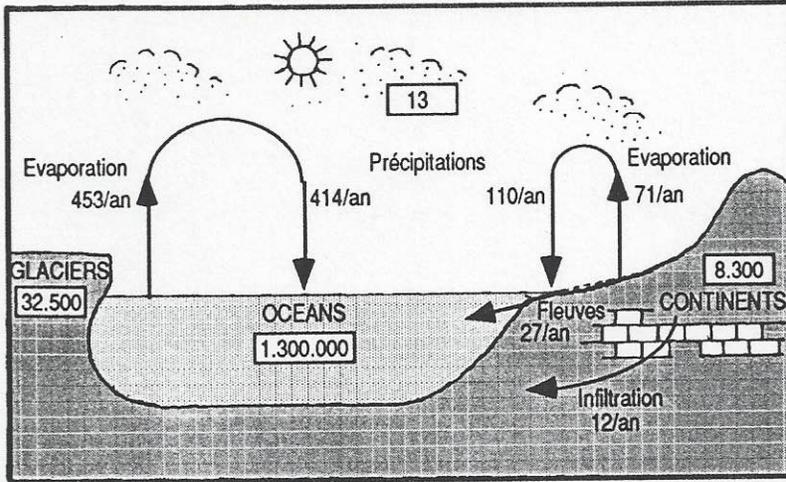
Du point de vue de la matière, le maintien du cycle alimentaire est basé sur l'existence de cycles biogéochimiques à l'intérieur desquels circulent les éléments chimiques présents dans la biosphère. Citons, à titre d'exemples, les cycles du carbone, de l'azote et de l'eau.

Il existe des interactions complexes entre les cycles biogéochimiques.



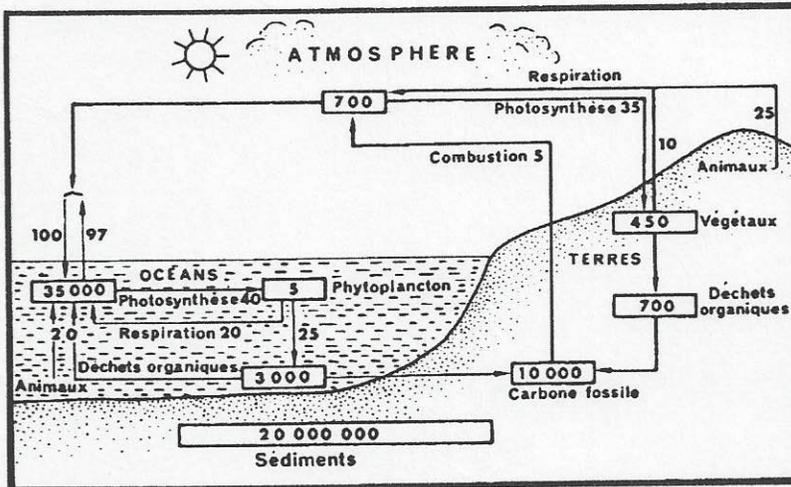
Aspects quantitatifs des cycles biogéochimiques

Fig. 143: Cycle de l'eau dans la biosphère.



Les chiffres encadrés correspondent aux masses d'eau (en milliers de km<sup>3</sup>); les flux d'eau sont représentés par des flèches et exprimés en milliers de km<sup>3</sup> par an (d'après Barbault, 1983, modifié).

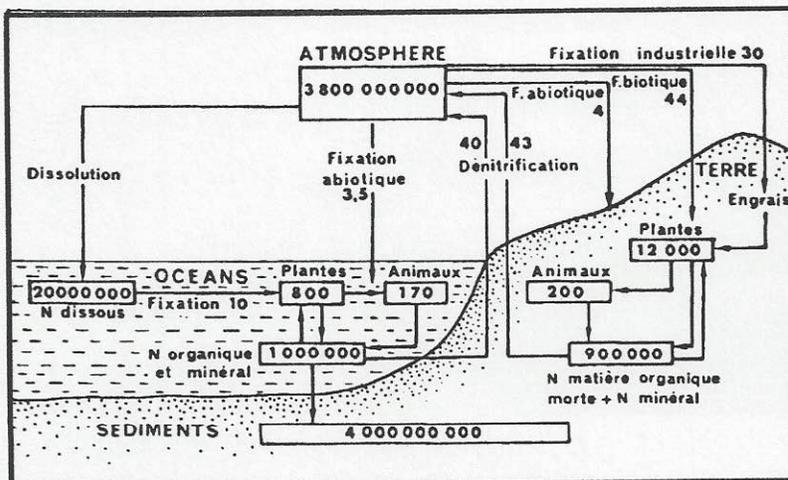
Fig. 144: Cycle du carbone dans la biosphère



Les chiffres sont exprimés en milliards de tonnes de carbone.

Les chiffres encadrés correspondent aux différents réservoirs; ceux qui accompagnent les flèches concernent les échanges annuels de carbone. (d'après Barbault, 1983).

Fig. 145: Cycle de l'azote dans la biosphère



Les chiffres sont exprimés en millions de tonnes d'azote.

Les chiffres encadrés correspondent aux différents réservoirs; ceux des flèches concernent les échanges annuels en azote (d'après Barbault, 1983).

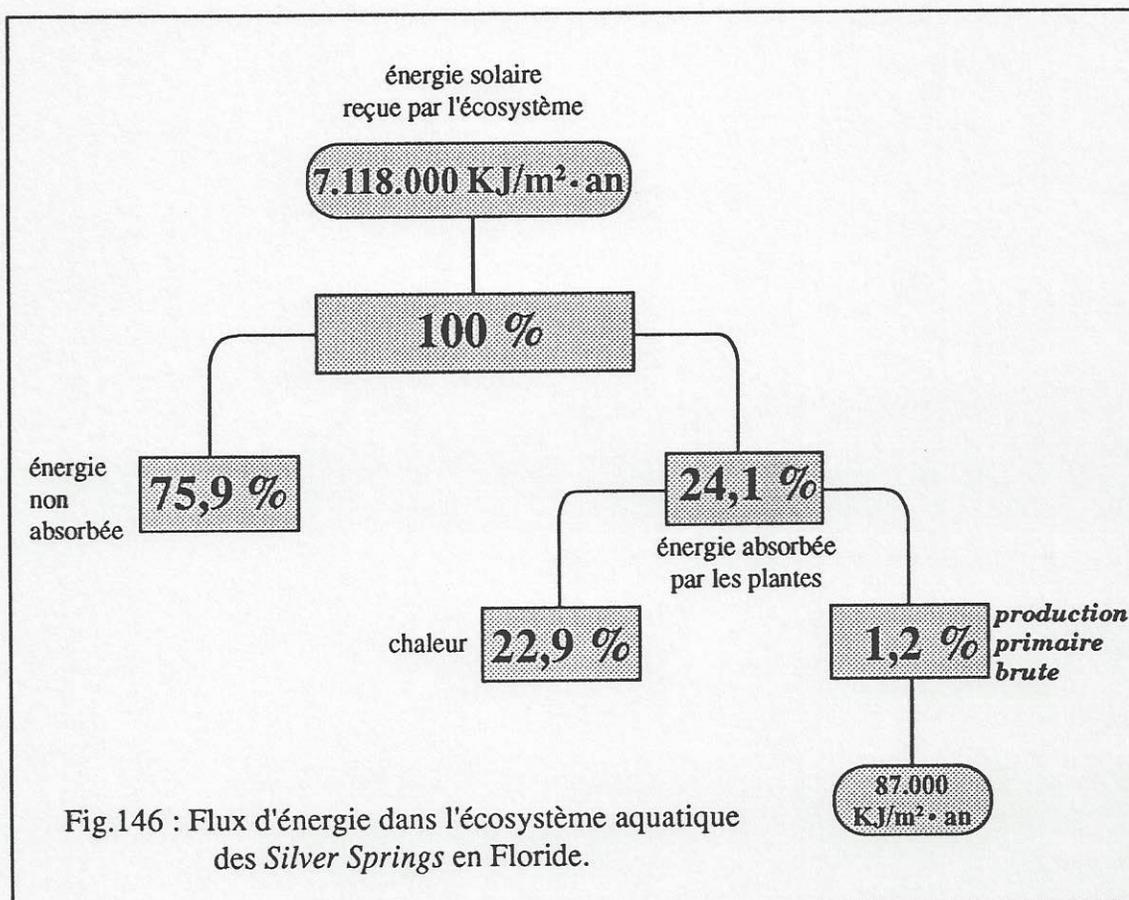
### 4.1.5. Flux d'énergie

L'étude du cycle de la matière montre que l'écosystème reçoit de l'énergie externe qui sert à l'élaboration de la matière organique qui forme la *biomasse*. L'énergie potentielle représentée par cette biomasse sera transmise d'un niveau trophique des chaînes alimentaires à l'autre. Il y a un *flux d'énergie* qui parcourt l'écosystème.

#### Utilisation de l'énergie au niveau des producteurs: productivité (production) primaire

L'énergie solaire reçue par l'écosystème n'est que très partiellement utilisée par les végétaux.

Prenons à titre d'exemple l'analyse classique de l'écosystème aquatique des *Silver Springs* en Floride telle qu'elle a été présentée par H.T. Odum en 1957.

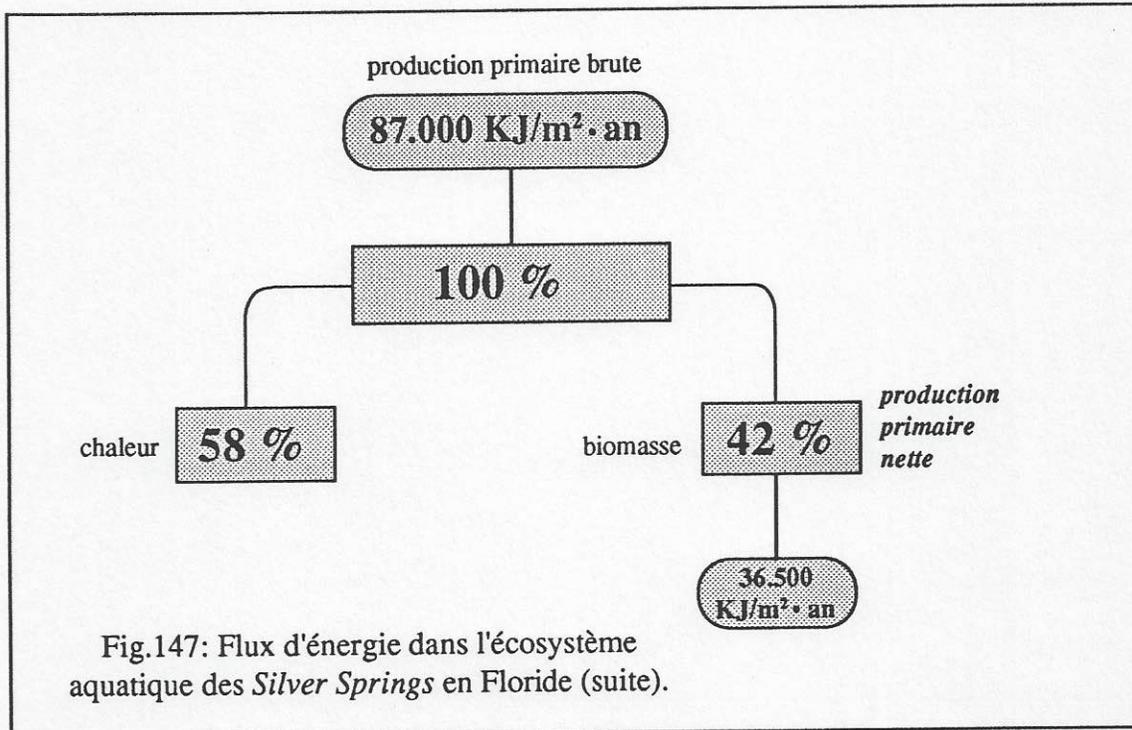


Dans ce cas,  $1,2 \%$  de l'énergie solaire reçue est transformée en énergie chimique, donc en matière vivante, au cours de la photosynthèse. Cette énergie correspond à la *production primaire brute*.

La production primaire brute sert:

- à raison de 58 %, à assurer les *dépenses énergétiques* de la plante et se perdra sous forme de chaleur lors des oxydations respiratoires;
- à raison de 42 %, à augmenter la masse de *matière vivante (biomasse)* de la plante.

Cette augmentation de biomasse représente la *production primaire nette* de la plante, seule visible et mesurable.



Dans le cas général, la production primaire nette se situe entre 0,5 et 1 % de l'énergie solaire de départ.

### Utilisation au niveau des consommateurs de l'énergie stockée par les producteurs: production secondaire

L'énergie de la biomasse résultant de la production primaire nette est utilisée par les consommateurs primaires qui se nourrissent des plantes. A ce moment s'opèrent encore une fois de fortes pertes:

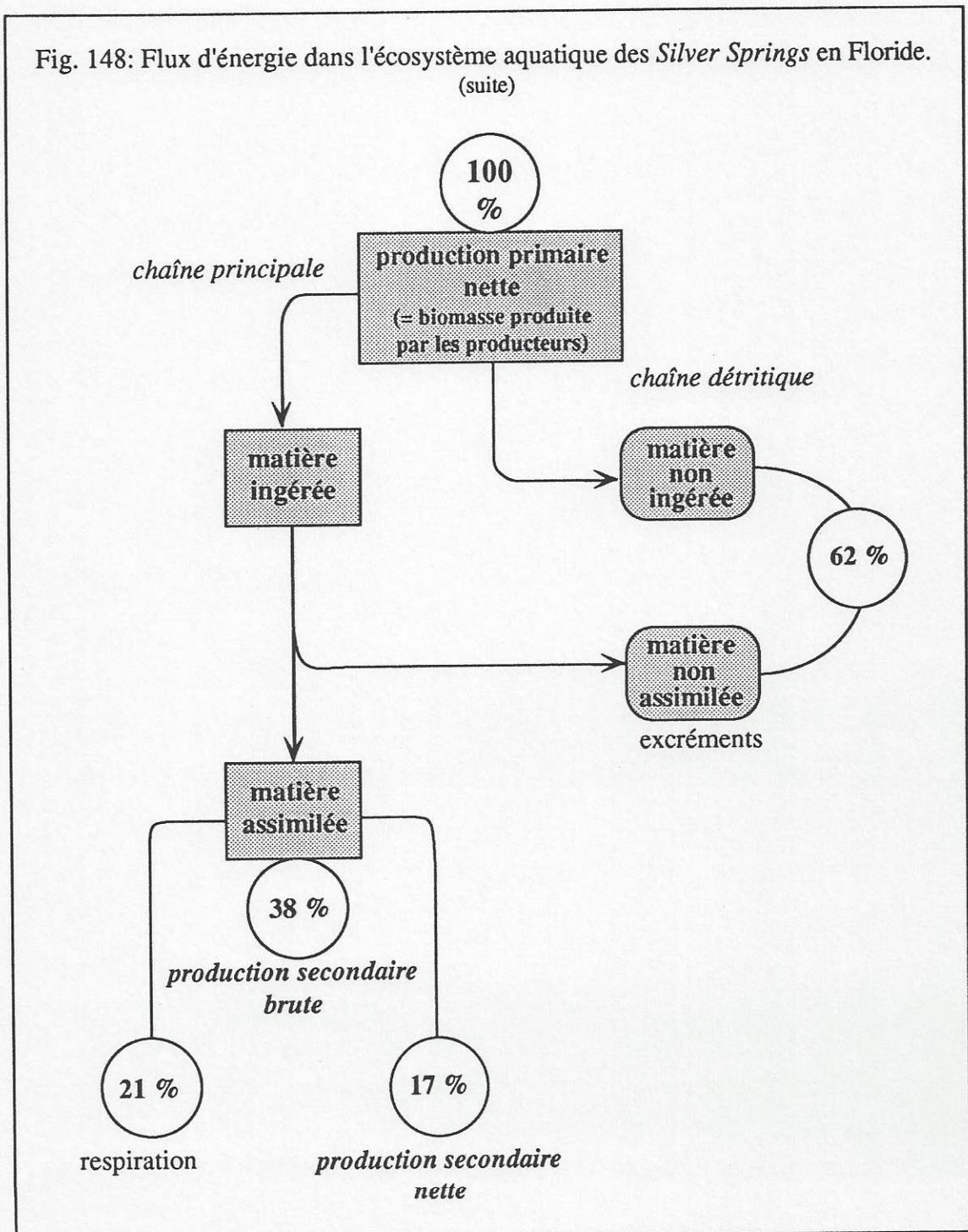
- une importante partie de la biomasse végétale ne sera pas ingérée;
- une autre partie de la biomasse, bien que mangée, est inutilisable par l'animal et sera rejetée sous forme d'excréments.

Ces pertes peuvent atteindre jusqu'à 60 %. La biomasse correspondante passera dans des *chaînes détritiques*.

La biomasse assimilée par les consommateurs I ne représente donc que de l'ordre de 40 % de l'énergie disponible au départ.

Le gain d'énergie résultant de l'assimilation par le consommateur I constitue la *production secondaire brute*. Plus de la moitié de la production secondaire brute sera utilisée pour assurer les dépenses de fonctionnement (maintenance) de l'animal. Elle sera dissipée sous forme de chaleur au cours de la respiration. Ce qui reste, correspond à la *production secondaire nette*.

Le diagramme ci-dessous (fig. 148) illustre de manière schématique cette partie du flux d'énergie dans le cas des Silver Springs.



## Utilisation de la biomasse aux autres niveaux de la chaîne principale

Des pertes analogues à celles que nous venons de voir s'opèrent lors du transfert de la biomasse aux niveaux trophiques suivants de l'écosystème des Silver Springs:

- la production secondaire nette des carnivores I (consommateurs II) ne représente que 5 % de la biomasse des herbivores;
- la production secondaire nette des carnivores II (consommateurs III) équivaut à 13 % de la biomasse des carnivores I.

### Conclusion générale

A l'intérieur de la chaîne alimentaire, 80 % - 95 % de l'énergie se perd lors du passage d'un niveau trophique à l'autre. La production nette (le rendement) des différents niveaux n'est en moyenne que de 10 %.

L'énergie perdue dans la chaîne principale est partiellement récupérée par les décomposeurs, la majeure partie se perd, cependant, sous forme de chaleur lors de la respiration.

Contrairement à la matière, qui est continuellement recyclée à l'intérieur du cycle de la matière, le *flux d'énergie* de l'écosystème, c.-à-d. le transfert de l'énergie d'un niveau trophique à l'autre, se fait en *sens unique*.

#### DOCUMENTATION

Silver Springs, one of the largest limestone springs in the world, is in Marion County, Fla., U.S., 6 mi. E of Ocala. The average flow of the springs is about 530,000,000 gal. per day and more than 480 tons of minerals are carried off in solution each 24 hours. The water maintains a constant temperature of 72° F (22° C). The source of the main spring is a cavern 65 ft. long and 12 ft. high. Most of the water discharged from the more than 100 springs in the group is from the abundant rainfall of north-central Florida, which passes through the porous surface soil and sand of the region and enters the limestone lying immediately beneath. This filtration causes the extreme clearness of the spring water.

Silver Springs is the source of Silver River, a 7-mi.-long navigable stream which eventually reaches the Atlantic Ocean via the Oklawaha and St. Johns rivers. There are more than 30 varieties of fish, as well as turtles and shellfish in Silver

Springs. Remains of mastodons, manatees\* and extinct elephants have also been found in the springs or in the Silver River.

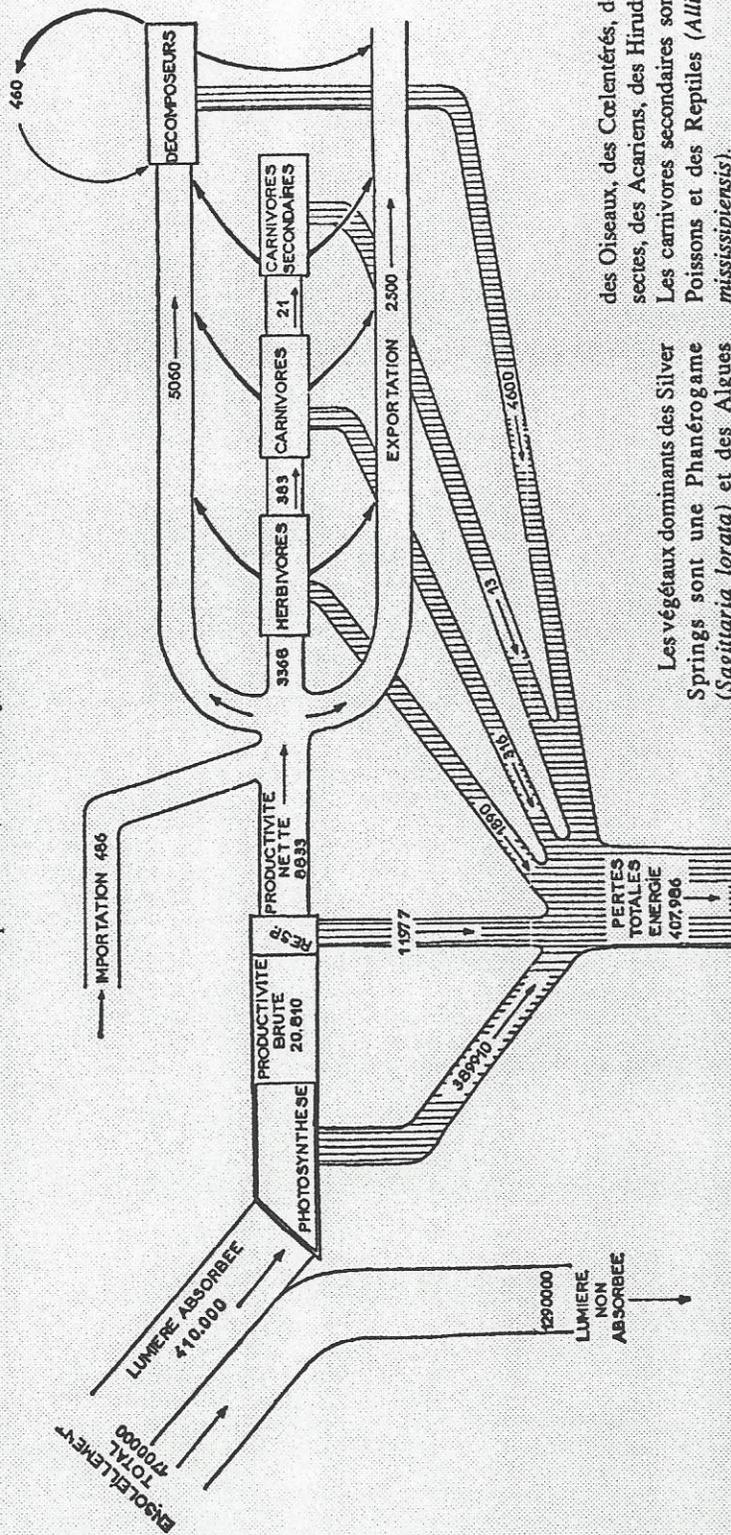
Swimming facilities, glass-bottomed boat rides, cruises on the Silver River, a zoo, and a snake farm are provided for visitors. Thousands of tourists visit the springs each year. Because of the clarity of the water, Silver Springs is a favourite location for motion-picture companies that wish to film underwater scenes.

The explorer Hernando de Soto was probably the first European to see Silver Springs when he camped at Ocali, an Indian village near the springs, in 1539. The Indian name for Silver Springs is Sua-ille-oka, which means «sun-glinting water».

Encyclopaedia Britannica, vol. 20: 547 (1969).

\* *manatee* = fr.: *Lamantin*, all.: *Manati* (*Siréniens*, *Seekühe*)

Fig. 149: Transferts d'énergie dans les Silver Springs, en kcal/m<sup>2</sup>/an.  
(en hachures: pertes dues à la respiration et aux pertes calorifiques des végétaux;  
d'après Odum, 1957 in Dajoz, 1982)



Il s'agit de sources dont l'eau est à température pratiquement constante, variant seulement entre 22,2 et 23,3 °C au cours de l'année. Ces sources se trouvent dans la Floride centrale par 29° N. L'eau des sources étudiées rejoint la rivière Oklawaha après un parcours de 8 km par un affluent. Le débit moyen est de l'ordre de 0,21 m<sup>3</sup>/s.

L'eau est pratiquement douce avec de faibles traces de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium, de sulfates et de chlorures. Elle est très claire et transparente ce qui permet un éclaircissement intense des végétaux qui s'y trouvent, sous un climat subtropical.

Les végétaux dominants des Silver Springs sont une Phanérogame (*Sagittaria lorata*) et des Algues (Diatomées et Algues filamenteuses).

Les herbivores sont des Tortues, des Poissons, des Crustacés, des Gastéropodes, des larves d'Insectes.

Les carnivores primaires sont des Poissons (ceux du genre *Lepomis* ont un régime omnivore et l'on doit donc les placer à la fois parmi les herbivores et parmi les carnivores), des Batraciens,

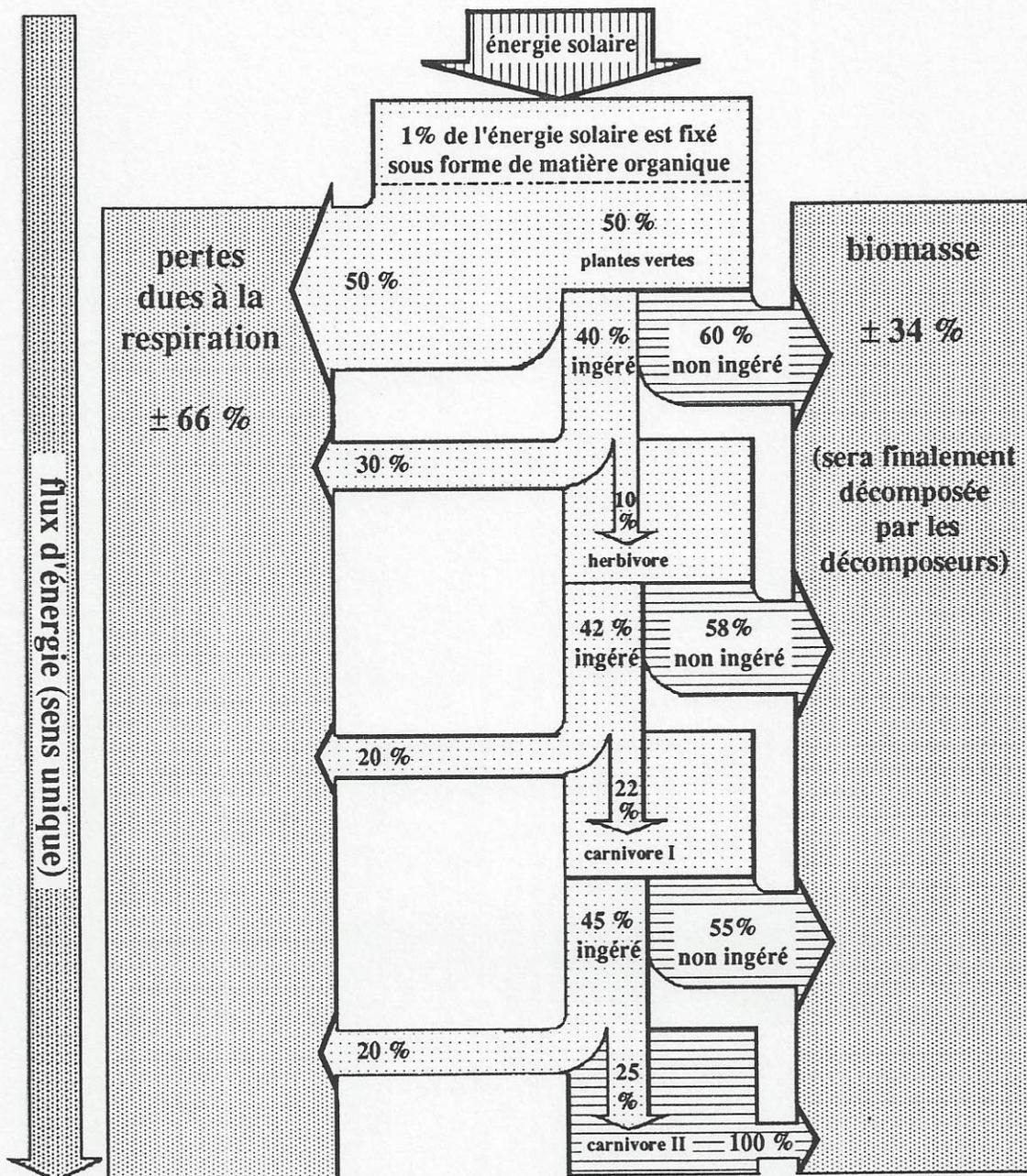
des Oiseaux, des Cœlentérés, des Insectes, des Acariens, des Hirudinées. Les carnivores secondaires sont des Poissons et des Reptiles (*Alligator mississippiensis*).

Les organismes décomposeurs sont les Bactéries et une écrevisse qui mange des débris animaux et végétaux.

La biomasse est de 863 g/m<sup>2</sup> dont 809 g de producteurs, 37 g d'herbivores, 11 g de carnivores primaires, 1,5 g de carnivores secondaires et 4,6 g de décomposeurs.

(d'après Dajoz, 1982, p. 402)

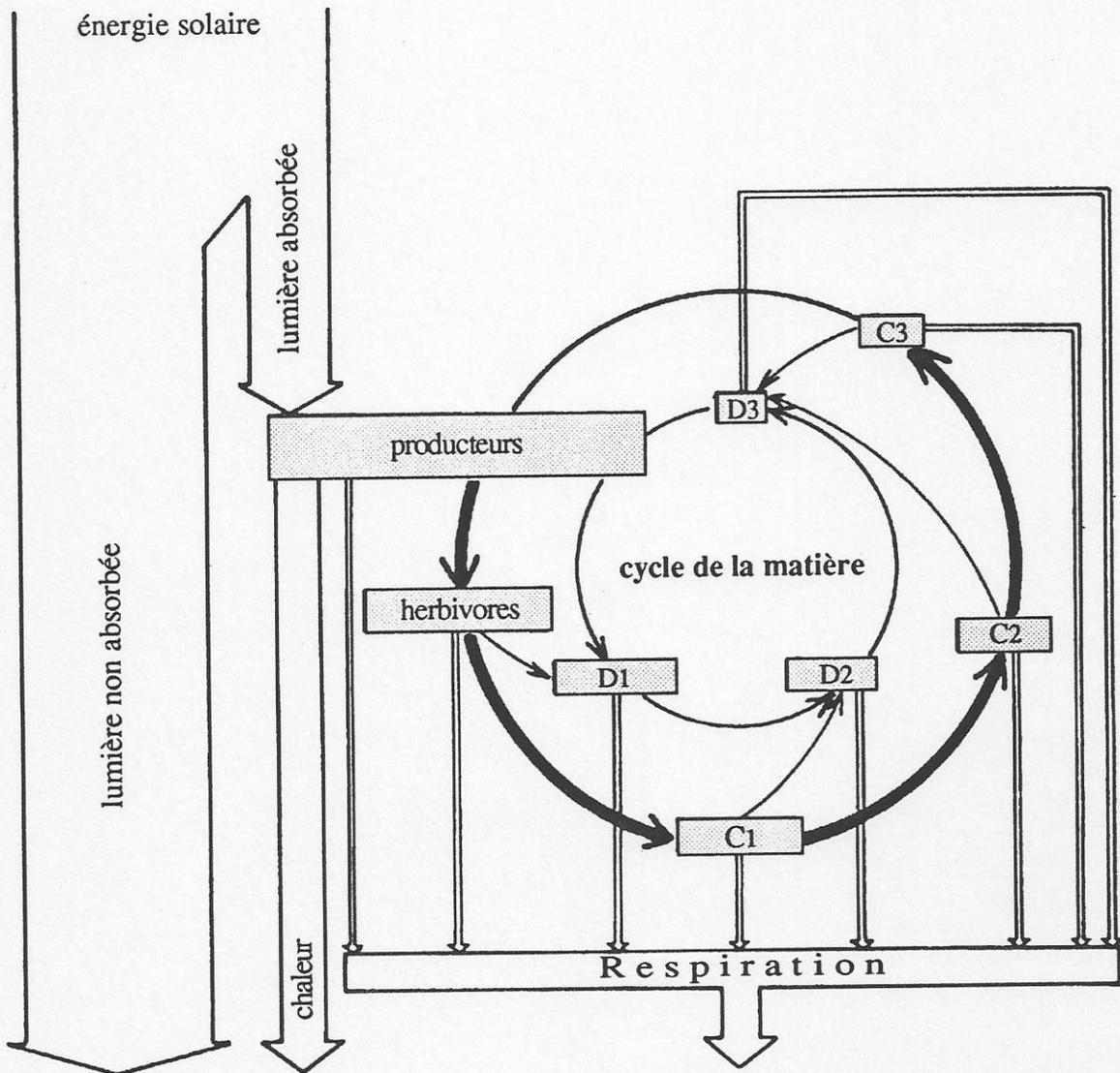
**Fig. 150: Schéma du flux d'énergie dans l'écosystème hêtraie.**  
 (Bilan établi dans l'hypothèse d'une chaîne alimentaire se terminant par les carnivores de 2<sup>e</sup> ordre)



(d'après Knodel & Kull, 1981).

La production primaire nette au niveau des carnivores de 2<sup>e</sup> ordre représente seulement 0,3 % de la production primaire brute des producteurs.

Fig. 151: Schéma général du flux d'énergie et du cycle de la matière dans un écosystème.



C = carnivores  
D = décomposeurs

### 4.1.6. Aperçu sur la productivité primaire nette

Ecosystème	Production moyenne en t / ha·an	Production mondiale en milliards t /an
Forêts tropicales	20,0	40,0
Forêts tempérées	13,0	23,4
Forêts boréales	8,0	1,6
Forêts claires et brousses	6,0	4,2
Savanes tropicales	7,0	10,5
Prairies tempérées	5,0	4,5
Toundras et alpages	1,4	1,1
Semi-déserts	0,7	1,3
Désert de rochers et glace	0,03	0,07
Terres cultivées	6,5	9,1
Lacs et cours d'eau	5,0	1,0
Marais	20,0	4,0



Ecosystème	t /ha·an
Océan Atlantique	0,5
Mer du Nord	0,8
Hêtraie	12,0
Chênaie-charmaie	15,0
Pessière	17,0
Champ de Maïs (Canada)	8,0
Champ de Pommes de terre (NL)	9,0
Prairie (climat tempéré)	10,0
Champ de Blé (NL)	12,0
Rizière (Japon)	14,0
Culture d'Algues (Japon)	67,0

Tab. 2: Production primaire nette des grands types d'écosystèmes terrestres (poids sec).



Tab. 3: Production primaire nette de quelques écosystèmes particuliers (poids sec).

Energie solaire reçue par la Terre	Productivité primaire nette en milliards t /an (poids sec)	
$5,65 \cdot 10^{21}$ KJ	Continents	109
	Océans	55
	Total	164



Tab. 4: Bilan de la production primaire nette de la Terre.

Production mondiale d'aliments végétaux:  $1,4 \cdot 10^9$  t / an (poids sec).

### 4.1.7. Les pyramides écologiques

Les écologistes représentent souvent les résultats quantitatifs obtenus lors de l'étude des différents niveaux trophiques de l'écosystème sous forme de pyramides à étages dont la largeur ou la surface est proportionnelle au nombre des individus, à la quantité de biomasse ou d'énergie des niveaux trophiques. Ce sont les *pyramides écologiques*. Les différents étages de la pyramide correspondent aux producteurs (P), aux consommateurs de 1<sup>er</sup> ordre ( $C_1$ ), de deuxième ordre ( $C_2$ ), de troisième ordre ( $C_3$ ), etc.

#### Pyramide des nombres ou pyramide des effectifs (Zahlenpyramide)

Fig. 152: Pyramide des nombres dans le cas d'une chaîne trophique très simple.  
(d'après Bates in Duvigneaud, 1980)

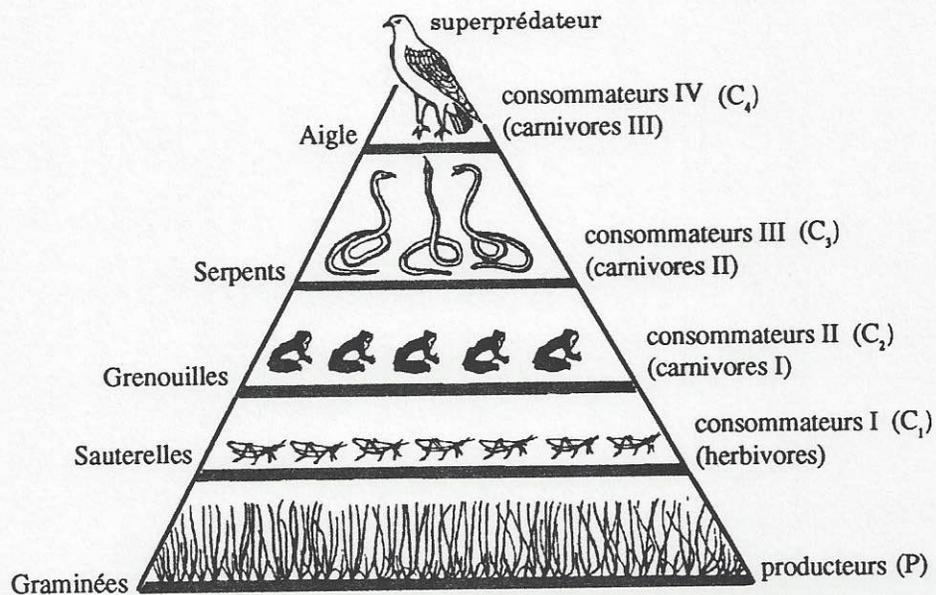
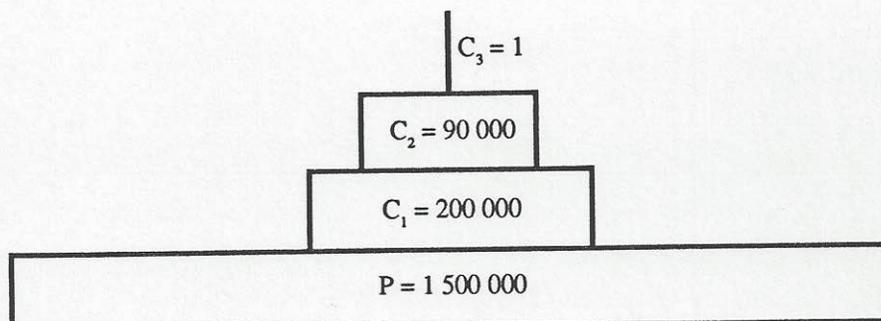
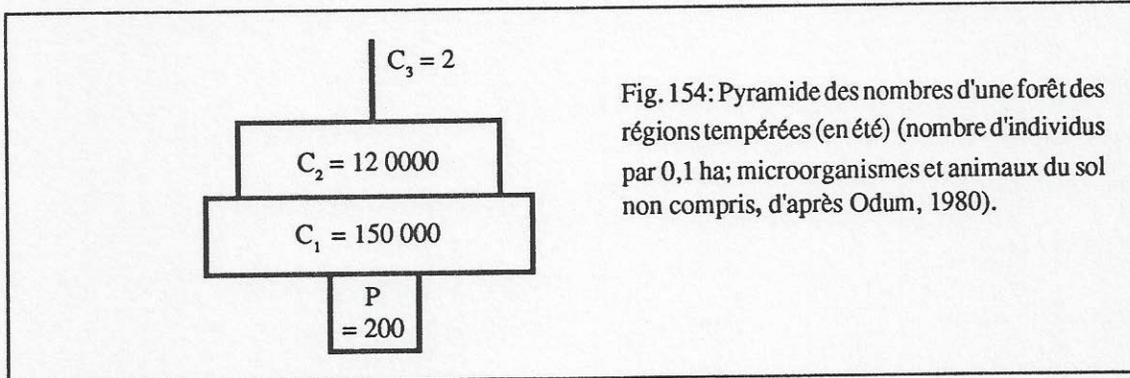


Fig. 153: Pyramide des nombres d'une prairie (en été) (nombre d'individus par 0,1 ha; microorganismes et animaux du sol non compris)(d'après Odum, 1980).

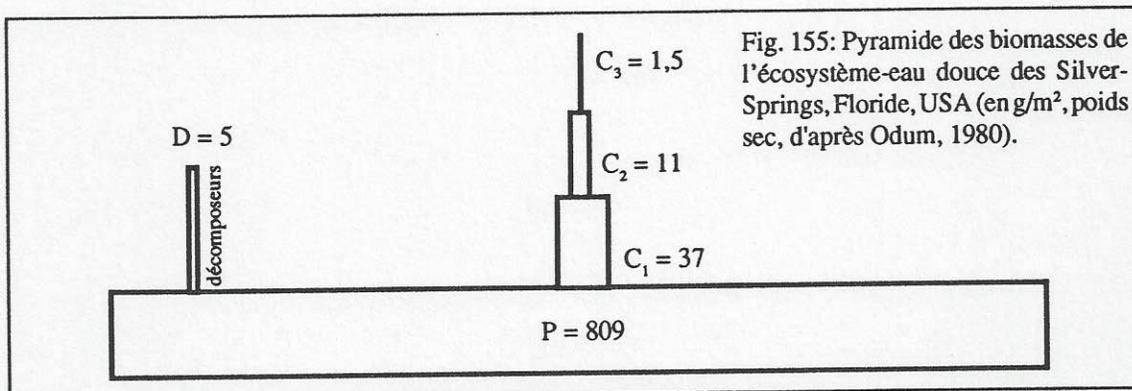


La forme de la pyramide des nombres varie fortement d'un écosystème à l'autre. Si les organismes producteurs sont de petite taille (phytoplancton, Graminées), l'étage basal de la pyramide est plus large que l'étage suivant ; si les producteurs sont de grande taille (arbres), l'étage basal de la pyramide est plus étroit que l'étage suivant.



### Pyramide des biomasses (*Biomassenpyramide*)

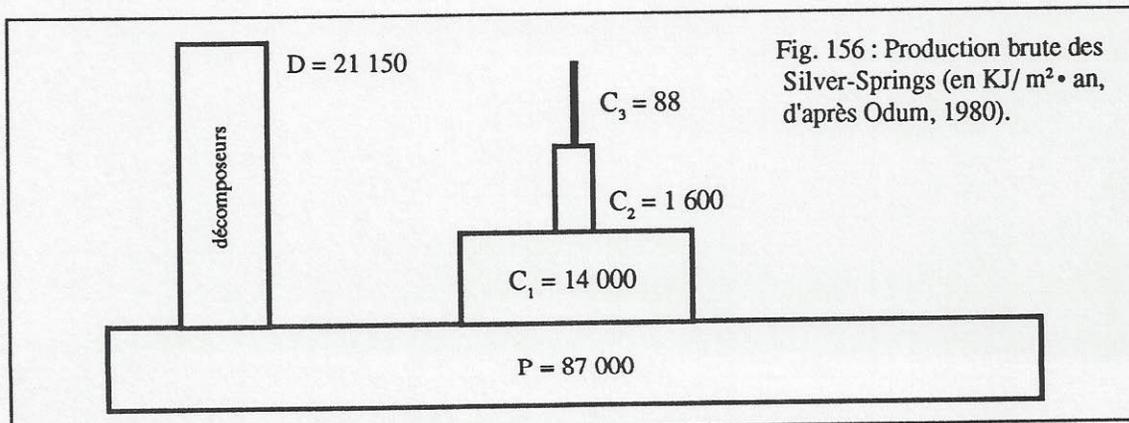
Les pyramides des biomasses se rapprochent davantage de la réalité biologique; en effet, elles montrent mieux l'importance quantitative réelle de chaque niveau trophique. Les valeurs de la biomasse se rapportent au poids sec.



### Pyramide des énergies (*Energiepyramide*)

Ce genre de pyramide reflète le mieux l'importance relative des différents niveaux trophiques. Les calculs se basent sur l'équivalence suivante:

- 1 g de biomasse végétale sèche correspond à 17 KJ (4 Kcal);
- 1 g de biomasse animale sèche correspond à 21 KJ (5 Kcal).



Les 3 types de pyramides que nous venons de voir, illustrent bien le faible rendement des chaînes alimentaires.

Lors du passage d'un niveau trophique de la chaîne à l'autre, il y a :

- diminution du nombre des individus;
- diminution des biomasses;
- diminution des énergies.

La pyramide des énergies montre bien qu'une grande quantité d'énergie passe par les décomposeurs. La majeure partie de cette énergie se perdant lors de la respiration, la biomasse des décomposeurs reste faible (cf. pyramide des biomasses).

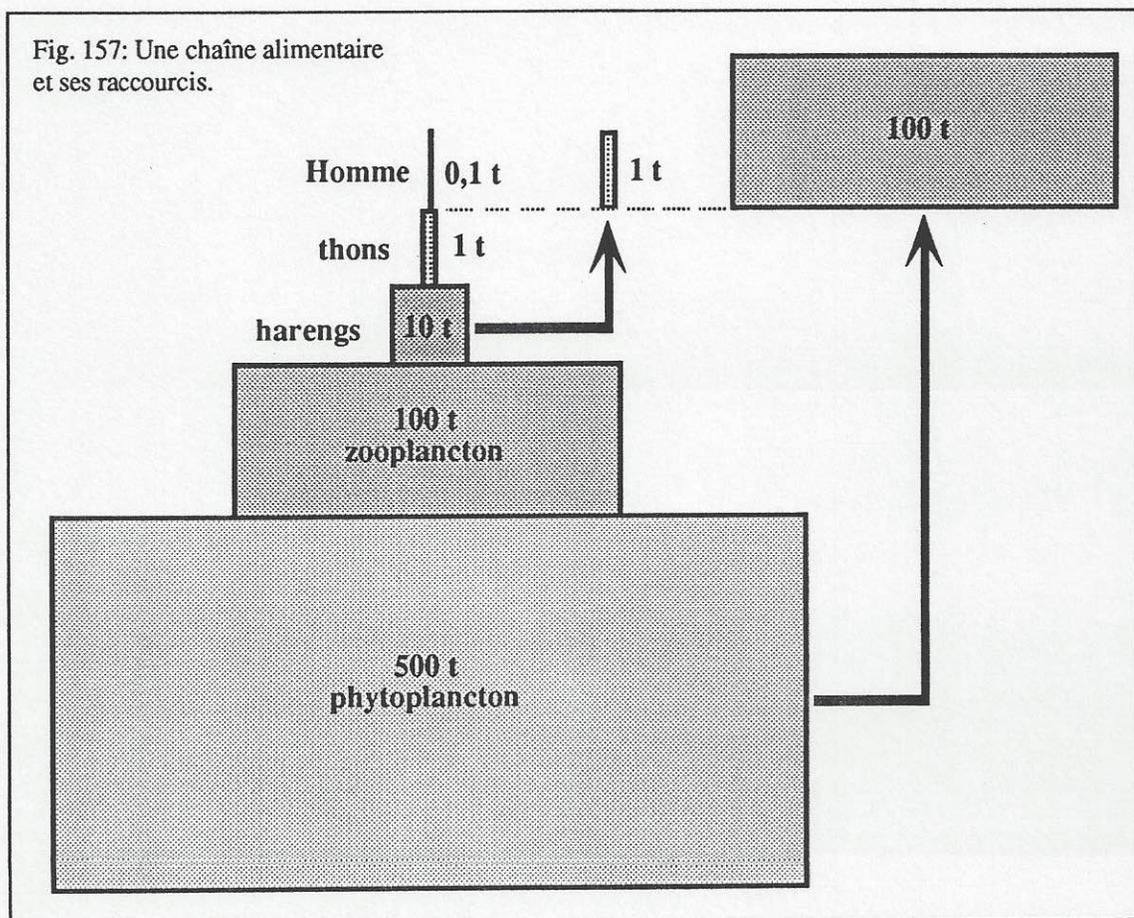
#### 4.1.8. Le flux de l'énergie et l'alimentation de l'Homme

##### Considération préliminaire: le raccourcissement de la chaîne alimentaire

On a vu que le passage d'un niveau trophique au niveau suivant se solde par la perte de 80 % - 95 % de l'énergie accumulée auparavant.

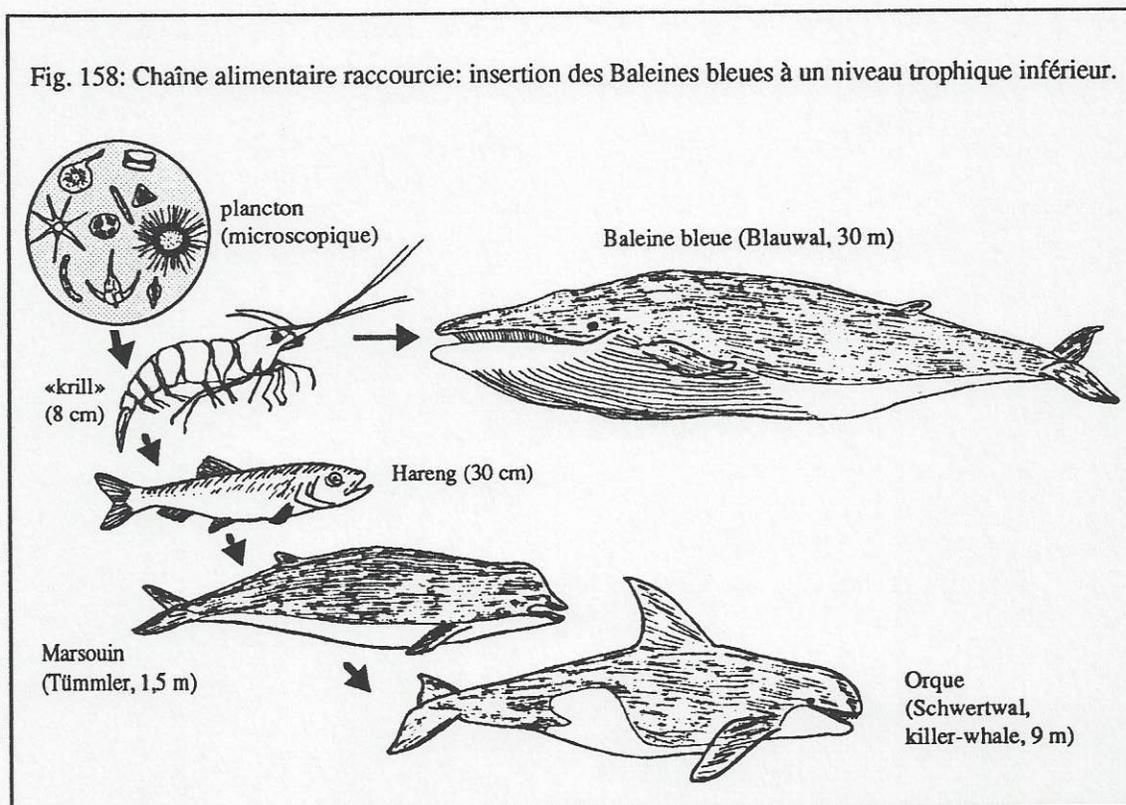
Considérons dans ce contexte la chaîne alimentaire suivante :

Phytoplancton → zooplancton → harengs → thons → Homme



La pyramide des biomasses montre que le rendement en biomasse humaine devient d'autant plus grand que la chaîne alimentaire devient plus courte. En d'autres termes, la surface nécessaire pour la production de 500 t de phytoplancton peut alimenter 10 fois plus d'individus humains, s'ils mangent du hareng au lieu de thon, et même 1000 fois plus d'individus, s'ils se nourrissent directement à partir du phytoplancton.

Dans la nature, un bel exemple de raccourcissement de la chaîne alimentaire est fourni par les Baleines à fanons (*Bartenwale*). Ainsi, l'énorme Baleine bleue pesant plus de 100 tonnes mange surtout des petits Crustacés planctoniques («krill»), disponibles en grandes quantités dans les couches supérieures des océans froids.



### La faim dans le monde

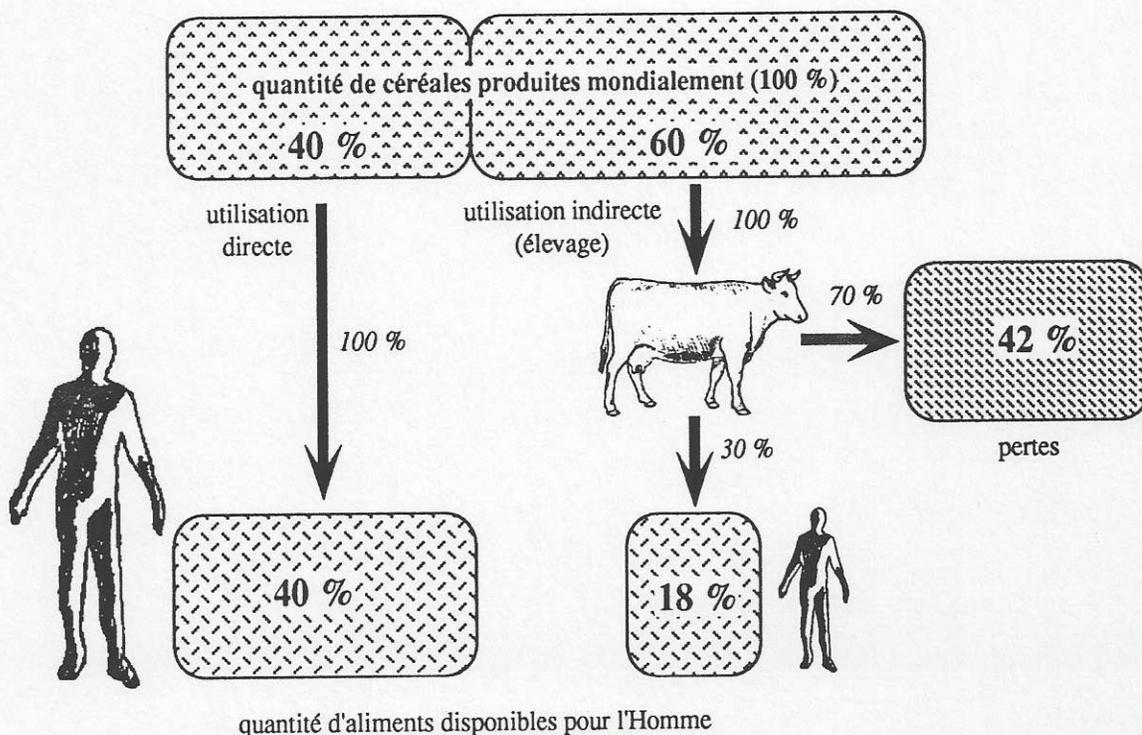
Aux Etats-Unis, en Europe et au Japon, la quantité de nourriture disponible par personne dépasse de 25-30% la ration que la FAO (*Food and Agriculture Organization*, organisme des Nations-Unies) considère comme suffisante pour assurer une activité physique normale. Par contre, la ration disponible dans des pays tels le Bangladesh, l'Ecuador, le Kenya, la Somalie, etc. est de 10-15% inférieure à cette valeur minimum. Mondialement, 300 à 400 millions de personnes doivent vivre avec des rations alimentaires qui ne représentent que 80% de la ration minimale définie par les Nations-Unies. Un quart de la population mondiale souffre d'une extrême pauvreté. D'après les estimations de l'UNICEF, 13 millions d'enfants de moins de 5 ans meurent chaque année de faim ou de maladies provoquées par la malnutrition. Cela fait plus de 35.000 morts par jour!

L'actuelle production mondiale d'aliments suffit pour fournir assez d'énergie pour nourrir théoriquement quelque 6 milliards d'individus humains dont chacun aurait alors à sa disposition une ration quotidienne de 10.500 KJ ( $\pm$  2.500 Kcal).

Néanmoins, il y a sous-alimentation! Elle est due à:

- la distribution géographique très inégale des ressources alimentaires;
- notre régime alimentaire qui accorde une préférence croissante à la viande et nous amène à utiliser une bonne partie des récoltes comme aliments de bétail. De cette façon, la chaîne alimentaire est rallongée, ce qui entraîne des pertes considérables.

Fig. 159: Utilisation des céréales par l'Homme.



La fig. 159 montre qu'à l'heure actuelle, 60 % de la production mondiale de céréales est utilisée pour l'alimentation du bétail.

Etant donné qu'il y a moins de déchets que dans une chaîne naturelle, on peut admettre un rendement assez élevé (30 %) lors de l'utilisation des céréales par le bétail. Néanmoins, 42 % de la biomasse céréalière produite annuellement sont définitivement perdus pour l'alimentation humaine.

## Discussion des remèdes à la sous-alimentation

On peut envisager plusieurs remèdes à la sous-alimentation:

### □ *Augmentation des surfaces agricoles*

On estime qu'en Asie du Sud-Est, il reste 25 % de terres cultivables à mettre en culture, et environ 600 millions d'hectares en Amérique du Sud et en Afrique.

### □ *Augmentation de la production agricole*

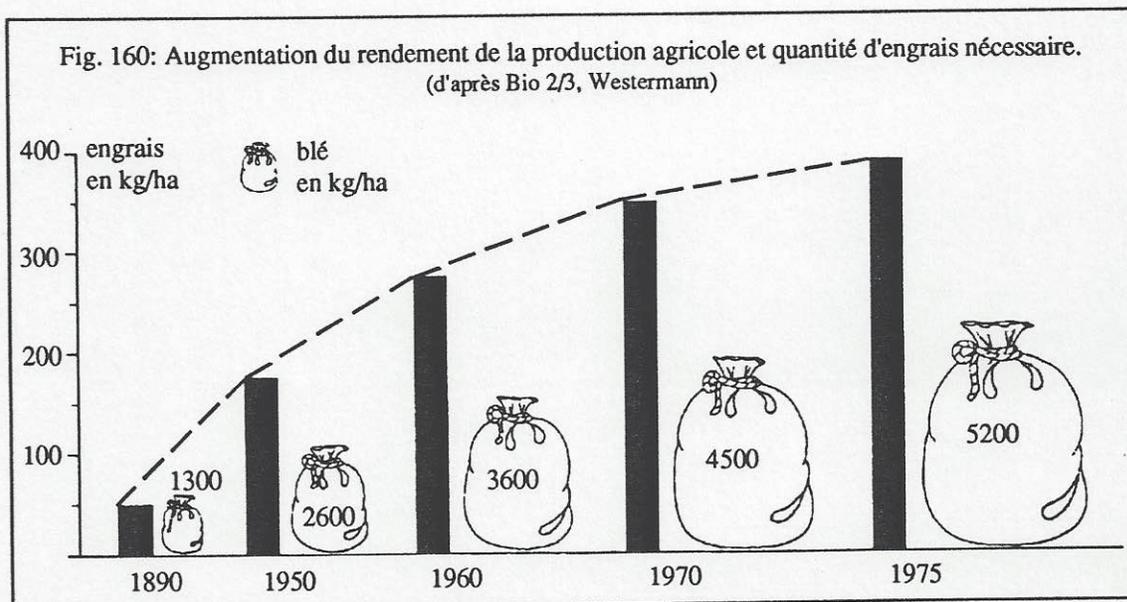
Ce but peut être atteint par plusieurs voies:

#### ♦ *introduction de nouvelles races ou de nouveaux hybrides:*

Citons l'exemple du *Triticale*, céréale artificielle résultant du croisement du Blé et du Seigle, mis à l'essai en 1974 dans 52 pays. Son rendement est égal ou supérieur aux meilleurs blés traditionnels; de plus, sa teneur en protéines, donc sa valeur alimentaire, est plus élevée.

#### ♦ *amendement généralisé des sols par une utilisation plus poussée des engrais:*

Rappelons, à titre d'exemple, la mise en valeur, au 19<sup>e</sup> siècle, des sols pauvres de l'Oesling grâce à la scorie Thomas. En Europe, entre 1890 et 1975, grâce à l'utilisation croissante d'engrais minéraux, la production de grains de blé par hectare a quadruplé.



En 1950, l'agriculture a utilisé trois fois plus d'engrais qu'en 1890; la production en grains de blé a doublé pendant cette période. En 1975, on a utilisé huit fois plus d'engrais qu'en 1890; la production a quadruplé. Il en découle que la production n'augmente pas au même rythme que la quantité d'engrais utilisée. De plus, on atteint une limite où la dépense supplémentaire pour les engrais dépasse le gain réalisé par l'augmentation de la production. Actuellement, l'Europe et l'Amérique du Nord, dont les sols sont de toute façon plus fertiles,

consomment 70 % des engrais qui se trouvent dans le commerce; l'Afrique en consomme 3 % et l'Amérique du Sud 2 %. Dans ces régions, la production pourrait être augmentée par l'épandage d'engrais; malheureusement, l'achat massif d'engrais pose aux pays sous-développés des problèmes financiers insurmontables.

♦ *utilisation de pesticides:*

On peut augmenter le rendement par l'usage des insecticides, des fongicides, des herbicides. Le préjudice créé dans le monde entier par les insectes dans le domaine agricole a été estimé en 1970 à 32 milliards de dollars. Il ne faut cependant pas perdre de vue les effets souvent néfastes de l'usage inconsidéré de ces produits.

□ *Le raccourcissement de la chaîne alimentaire*

Le raccourcissement de la chaîne alimentaire de l'Homme et l'adoption d'un régime alimentaire végétal évitant d'inutiles gaspillages de produits agricoles, semblent constituer une solution intéressante à la sous-alimentation. Ainsi, en cultivant du Blé au lieu d'élever des Bovins, on peut décupler la biomasse disponible pour l'Homme par unité de surface agricole.

Depuis une quarantaine d'années, on cherche à cultiver des Algues vertes unicellulaires et à les rendre utilisables pour l'alimentation humaine. Dans des conditions favorables (lumière, température, engrais), la biomasse de ces Algues peut doubler au cours d'un laps de temps allant de 6 heures à deux jours. Les Algues cultivées appartiennent aux genres *Chlorella* et *Scenedesmus*.

Ainsi, au début des années 1980, une installation de culture d'Algues tchécoslovaque fonctionnant uniquement en été (5 mois) a produit sur une surface de 200 m<sup>2</sup> une biomasse équivalente à celle de 75 porcs.

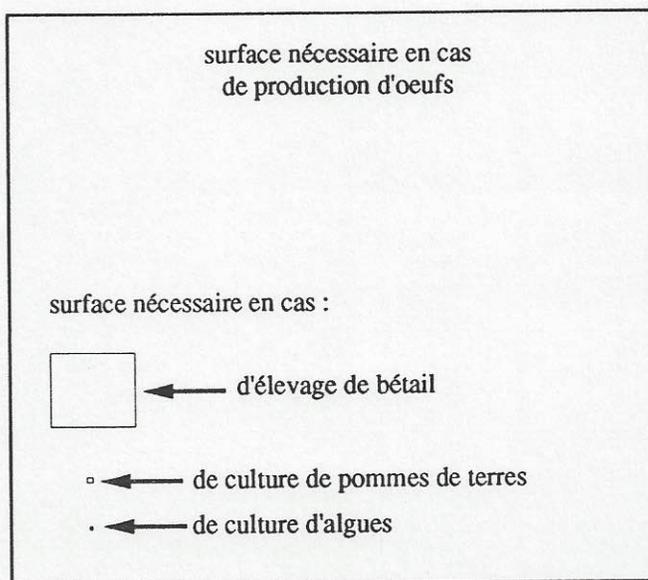


Fig. 161: Surface nécessaire pour nourrir un individu humain selon le type de production. Cadre de référence = production d'oeufs (grand cadre).

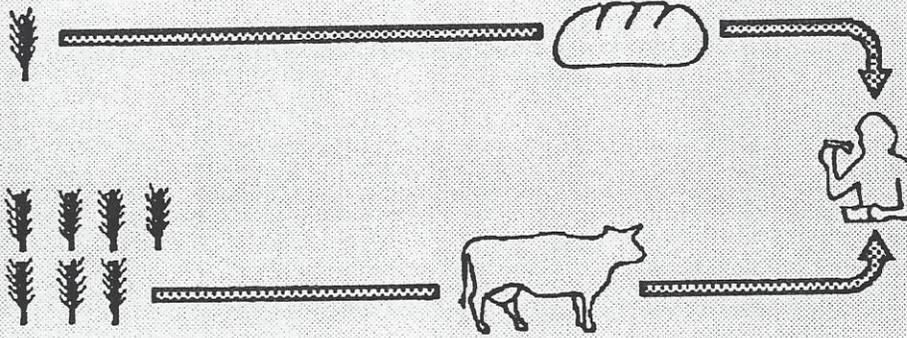
On a calculé qu'il suffirait de 1 à 4 m<sup>2</sup> de culture d'Algues pour nourrir un individu humain, alors qu'il faudrait pour atteindre le même but une surface de:

- 600 m<sup>2</sup> en cas de culture de Pommes de terre;
- 4.000 m<sup>2</sup> en cas d'élevage de bétail;
- 30.000 m<sup>2</sup> en cas de production d'oeufs.

Pour tentante qu'elle soit, la culture des Algues n'a malheureusement pas encore dépassé le stade expérimental.

**Fig. 162: Bilan énergétique de la production d'aliments végétaux et d'aliments animaux .**

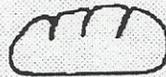
1 unité énergétique (J, Kcal) dans la céréale  $\hat{=}$  1 unité énergétique dans le pain



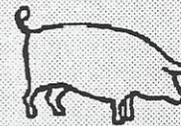
7 unités énergétiques d'origine végétale  $\hat{=}$  1 unité énergétique d'origine animale  
(viande, lait, oeufs)

**Bilan énergétique lors de l'utilisation de blé pour la production de:**

pain  
1 : 1



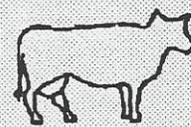
viande de porc  
3 : 1



viande de poule  
12 : 1



viande de boeuf  
10 : 1



oeufs  
4 : 1



lait  
5 : 1



(d'après Engelhardt *in* Eschenhagen et al., 1991).

## «Superweizen» und die grüne Revolution

"Zwischen 1950 und 1985 stieg die Getreideproduktion weltweit schneller an als die Bevölkerung, insgesamt um rund 700 Millionen Tonnen auf über 1800 Millionen Tonnen. Die jährliche Zuwachsrate betrug etwa 2,7 %. Diese Steigerung der Nahrungsmittelproduktion ist vor allem der sogenannten «grünen Revolution» zu verdanken. Deren Ziel war die Züchtung von Sorten, die für Intensivkulturen hohen technischen Standards besonders gut geeignet sind. Dadurch konnte die Produktivität gegebener Flächen enorm erhöht werden.

Der erste große Erfolg begann mit der Weizenzüchtung in Mexiko. Dort wurde 1943 ein interdisziplinäres Spezialistenteam eingesetzt (Pflanzenzüchter, Pflanzenpathologen, Bodenkundler, Entomologen, Landwirtschaftsexperten). Durch gezielte Sammlung unterschiedlichster Sorten aus Amerika, Afrika, dem Nahen Osten und Ostasien und einer Einkreuzung dieser Sorten in herkömmliche mexikanische Linien wurden schon bald Erfolge erzielt. Der große Durchbruch gelang 1953 mit der erfolgreichen Einkreuzung nordamerikanischer Kurzhalmweizen.

1940 hatte Mexiko die Hälfte des Weizens einführen müssen. Die Produktion betrug 750 kg/ha. 1956 versorgte sich die Nation selbst, obwohl die Bevölkerung sehr stark zugenommen hatte. 1970 waren die Ernteerträge bis auf 3200 kg/ha angestiegen. 1966 wurde damit begonnen, mexikanisches Saatgut in großen Mengen nach Indien, Pakistan und in die Türkei zu exportieren. Sofort wurden dort ebenfalls Rekordmengen erzielt.

Der zweite große Triumph der nach diesem System vorgehenden Pflanzenzucht gelang dem International Rice Research Institute (IRRI) auf den Philippinen. Die Vorgehensweise war ähnlich wie bei der Weizenzüchtung. Ein wichtiges Ziel beim Reiszüchtungsprogramm war zunächst, die Anzahl der Pflanzen auf gegebener Fläche zu erhöhen und Pflanzen zu gewinnen, die auch im dichten Stand durch hohe Düngergaben nicht gefährdet waren, umzukippen. Auch hierbei war die Halmverkürzung ein wichtiges Zuchtziel.

Beim Mais wurden nicht ebenso schnelle Erfolge erzielt wie bei Weizen und Reis, aber in den 70er Jahren hatte sich die Produktivität in Mexiko ebenfalls verdoppelt, und es waren neue Sorten entwickelt worden, die eine Ausdehnung des Maisanbaus in höhere Breitengrade erlaubten. So wurde in dieser Zeit der Silomais als wichtige Futterpflanze in Mitteleuropa eingeführt.

1969 gab US-Präsident Nixon seinen Erwartungen hinsichtlich der Erfolge der grünen Revolution so Ausdruck: « Vor ein paar Jahren schien eine Massenhungersnot in vielen armen Nationen sehr gut möglich. Heute stehen wir zumin-

*dest an der Schwelle eines dramatischen Durchbruchs in der Nahrungsmittelproduktion. Die Kombination der neuen Wundersorten von Weizen und Reis, Kunstdünger, verbesserte Anbaumethoden und konstruktive Agrarpolitik zeigen, was möglich ist... ».*

Heute, gut 20 Jahre später, werden die Erfolge der grünen Revolution sehr viel pessimistischer beurteilt. Die Erträge der Wundersorten gehen laufend zurück. Soziale Veränderungen, die sie mit sich brachten, haben in vielen Entwicklungsländern die traditionellen Strukturen der Landwirtschaft zerstört und Kleinbauern erwerbslos gemacht. In kurzer Zeit fand auf der ganzen Erde eine große Vereinheitlichung der Getreidesorten statt. Da es sich bei den neuen Sorten um Hybridsorten handelt, können Bauern nicht jedes Jahr Saatgut von ihren eigenen Feldern gewinnen. Sie sind gezwungen, Jahr für Jahr neues Saatgut zu kaufen. Große Firmen haben die Patentierung neuer Sorten durchgesetzt. Diese Saatgutfirmen sind heute meistens im Besitz der Firmen, die gleichzeitig «passende» Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und Herbizide herstellen. Die damit verbundenen ökologischen Probleme wurden zunächst übersehen. Heute ist man sich dieser Probleme jedoch weitgehend bewußt, und es wird deshalb zunehmend versucht, sogenannte low-input-Sorten zu züchten, die mit wenig Energieaufwand gute Erträge liefern. Doch diese Entwicklung steckt erst in den Anfängen. In Nordamerika und auch in Europa hat die Überschußproduktion an Nahrungsgetreide eine gefährliche Höhe erreicht. Um die Landwirte zu schützen, kaufen die Staaten mit Subventionen die Produkte auf, die aufwendig gelagert werden müssen. Die Überschüsse tragen zudem zu einer Depression der Weltmarktpreise bei und nehmen entsprechenden Einfluß auf die Entwicklungsländer. Die Bodenqualität nimmt durch intensive Bodennutzung und übermäßigen Gebrauch von chemischem Dünger und Pestiziden allmählich ab. Die Zerstörung der Landschaft durch Entfernung von Hecken, Grünstreifen, Feldgehölzen und anderen Schutzstreifen sowie durch Veränderung des Profils und Entwässerung hat erschreckende Formen angenommen. Die Nitratverschmutzung von Gewässern und Grundwasser durch übermäßige Düngergaben, die oft auch noch subventioniert werden, ist in vielen Gebieten schon ein echtes Problem. Die Primärenergien, die für die Produktion von Getreide eingesetzt werden, übersteigen in den hochentwickelten Ländern bereits bei weitem die durch Pflanzenproduktion erzeugte Energie."

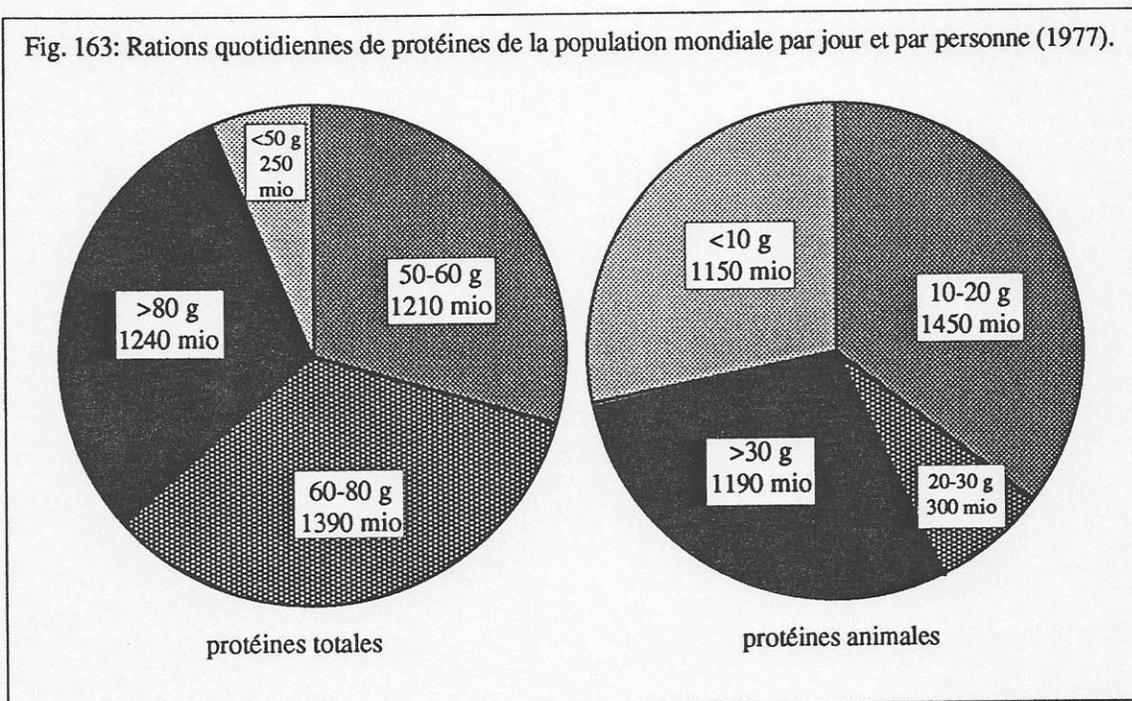
(extrait de: *Unterricht-Biologic*, N° 175, 1992)

## Le problème des protéines

L'idée de l'adoption d'un régime alimentaire végétal se heurte à l'épineux problème des protéines.

En effet, il ne suffit pas de considérer la seule valeur énergétique des aliments; la nourriture doit apporter une ration minimale quotidienne de protéines qui est de 60 g, dont 20 g doivent être d'origine animale. Un régime strictement végétal est donc problématique.

En 1977, un tiers de la population mondiale disposait de moins de 60 g de protéines par jour, et presque deux tiers ne disposaient pas des 20 g de protéines animales requises.



Ces chiffres montrent qu'en dernière analyse, c'est le manque de protéines qui est à l'origine des problèmes alimentaires de l'humanité. Il ne suffit donc pas d'augmenter d'une manière quelconque la production alimentaire, il faut créer de nouvelles sources de protéines, et notamment de protéines animales.

Ceci signifie qu'il faut encore intensifier davantage l'élevage et produire plus de fourrage concentré (*Kraftfutter*).

La solution de l'avenir paraît résider dans l'abandon du gaspillage de produits végétaux précieux, comme les céréales, pour l'alimentation du bétail. Ils pourront être remplacés par des fourrages concentrés fabriqués à partir de végétaux unicellulaires à productivité très élevée. Des protéines végétales peu chères et de moindre valeur biologique seront ainsi transformées en protéines animales de haute valeur biologique et commerciale. C'est là le but poursuivi par les programmes d'étude pour la fabrication de «*protéines unicellulaires*» (SCP = *single cell protein*).

Au départ de ces recherches se trouve la culture des Algues vertes unicellulaires. Vers la fin des années 60, on y a englobé certaines Bactéries et Levures. Grâce à leur multiplication extrêmement rapide, ces microorganismes fournissent une biomasse très élevée en peu de temps et sur une surface réduite, ménageant ainsi les terrains agricoles. La biomasse sèche obtenue contient 42 - 75 % de protéines.

#### 4.1.9. Accumulation de substances nocives dans la chaîne alimentaire

Des substances dont la dégradation ou l'élimination par les organismes vivants est lente, sont accumulées par ceux-ci et se concentrent dans la chaîne alimentaire. C'est la *bioaccumulation*.

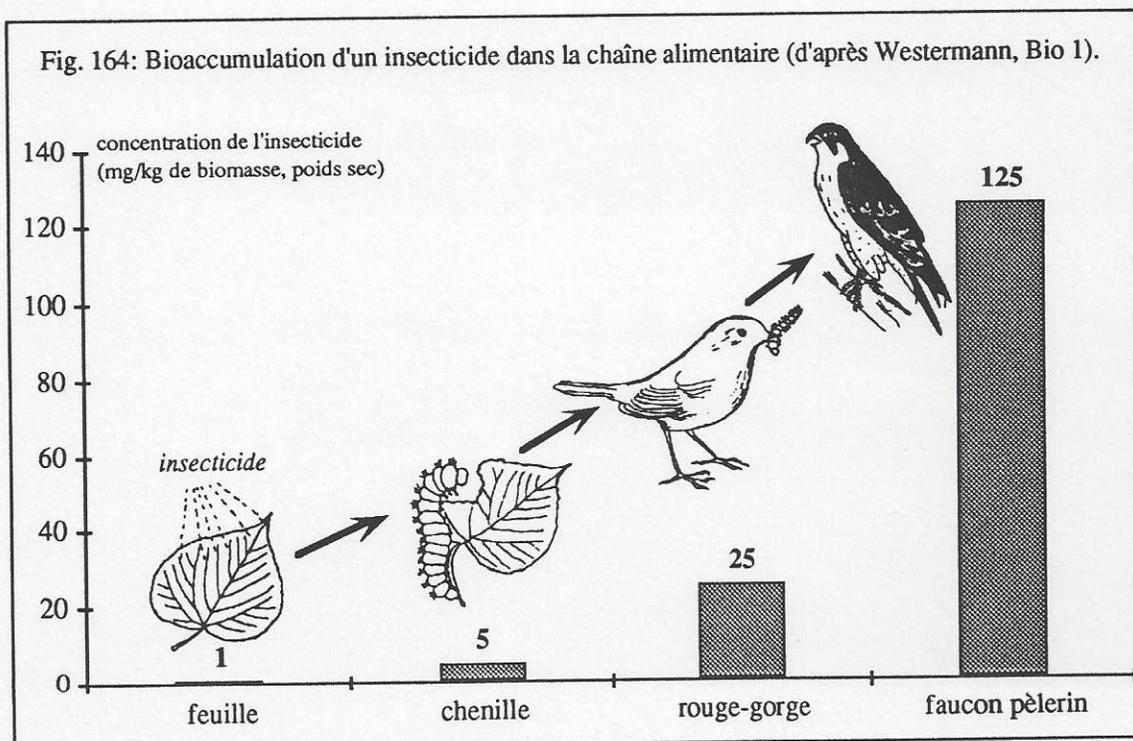
Sont connus pour leur tendance à l'accumulation:

- les pesticides comme le DDT, la dieldrine, etc.;
- les PCB (polychlorobiphényles);
- les métaux lourds comme Hg, Cd, Pb, etc.;
- les isotopes radioactifs comme  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , etc.

Considérons la bioaccumulation dans le cas de la chaîne alimentaire:

*Feuille → chenille → rouge-gorge → faucon pèlerin*

Dans la chaîne alimentaire considérée, la concentration se multiplie à peu près par cinq à chaque passage d'un niveau trophique au suivant.

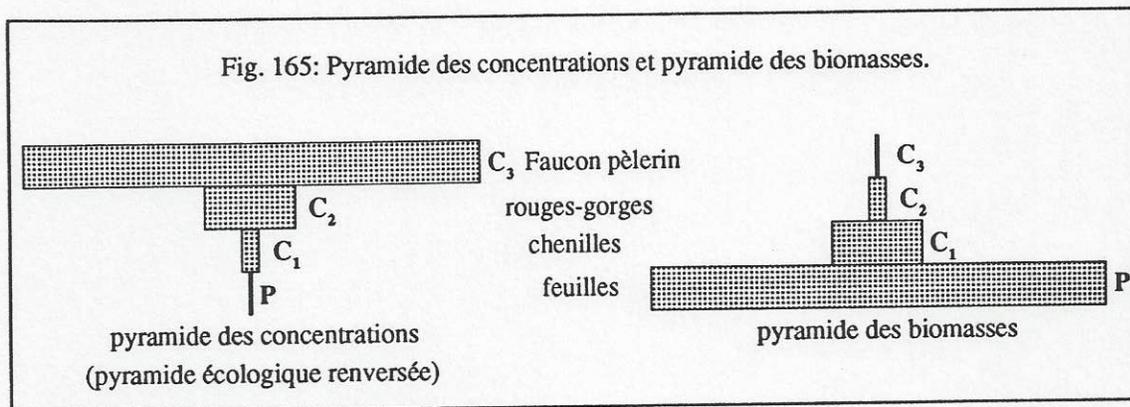


La représentation graphique de cette accumulation aboutit à une *pyramide écologique renversée*.

Les maillons ultimes des chaînes (Carnivores, Rapaces, Homme) sont le plus menacés.

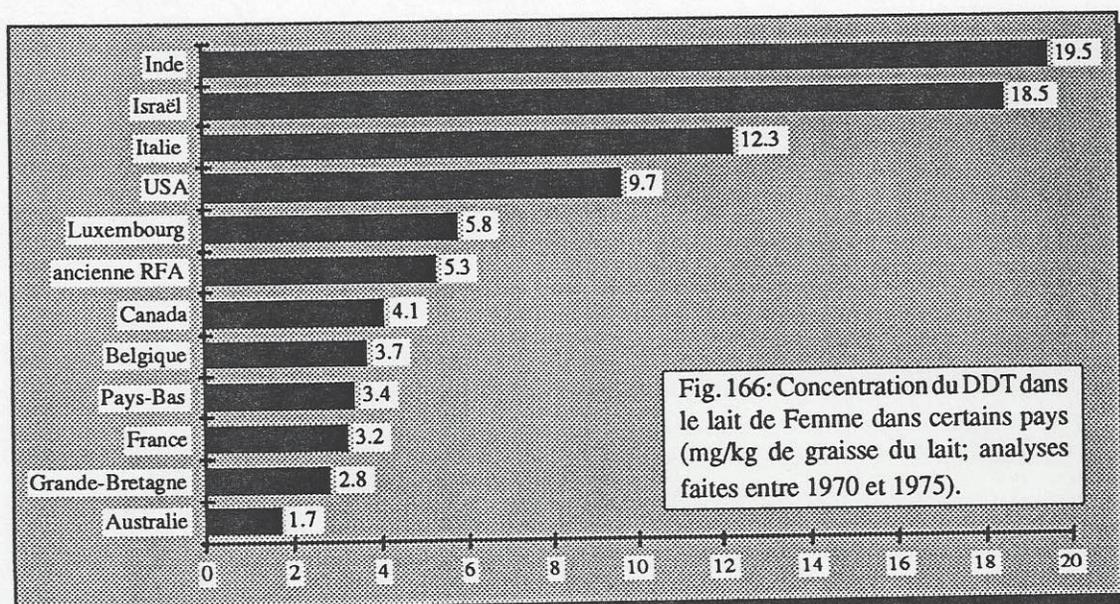
Ainsi, de fortes concentrations de substances nocives se rencontrent chez des Rapaces comme l'Épervier (*Sperber*), l'Autour (*Habicht*) et l'Effraie (*Schleiereule*). Le résultat en serait un amincissement de la coquille qui provoquerait la dessiccation des oeufs.

En Allemagne, le nombre des Faucons pèlerins est tombé de 400 individus, en 1950, à 50 individus, en 1980.



Certaines substances s'accablent de façon élective dans un tissu déterminé. Parmi les corps radioactifs, le  $^{90}\text{Sr}$  se concentre dans les os, le  $^{131}\text{I}$  dans la thyroïde et le  $^{137}\text{Cs}$  dans les muscles.

Les insecticides liposolubles comme le DDT ou la dieldrine se retrouvent dans la graisse et le lait. Le lait de Femme peut contenir jusqu'à 30 fois plus de DDT que le lait de Vache. En 1970, des analyses effectuées aux USA et en Suède ont montré que dans certains cas la teneur en DDT du lait maternel dépassait de 70 % les valeurs maximales tolérées pour les aliments.



Tab. 5: Le DDT dans le corps humain au Luxembourg (valeurs communiquées par R. WENNIG, Institut d'Hygiène et de Santé Publique).

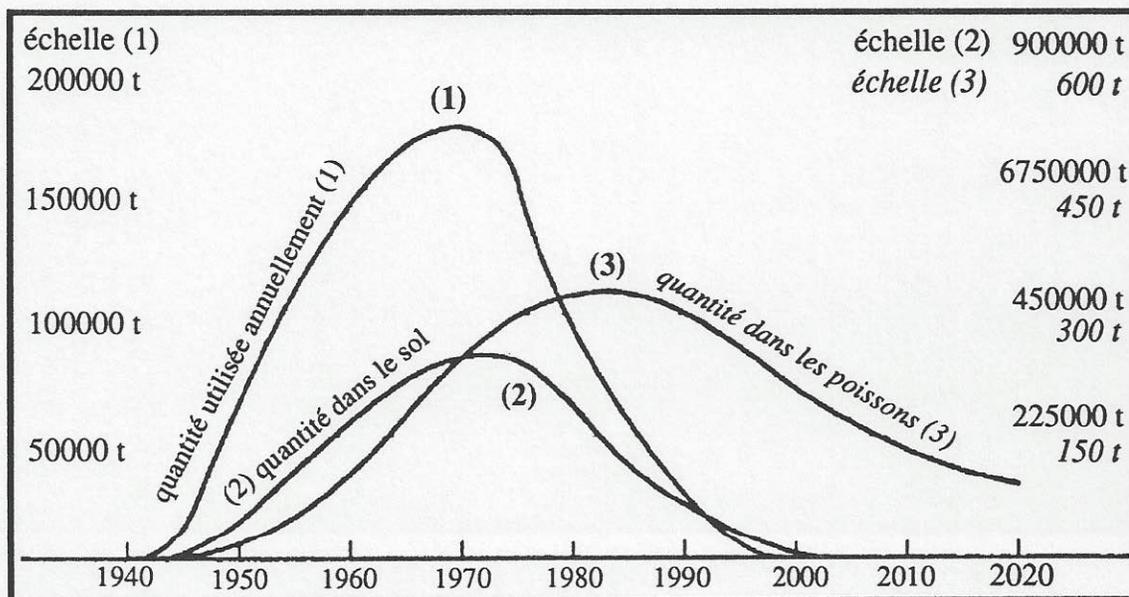
Liquide ou tissu analysé		1973-74	1979
lait maternel (mg/kg graisse du lait)		5,83	2,35
graisse humaine (mg/kg graisse)	biopsie	7,47	
	autopsie	11,72	

L'usage du DDT a été interdit en Suède en 1970, aux USA en 1971; l'Allemagne a suivi en 1972 et le Luxembourg en 1975. Le DDT a continué à être utilisé dans les pays sous-développés. En 1980, 96.000 tonnes de DDT ont encore été épandues mondialement. A la même époque, de l'ordre de 280.000 t de DDT s'étaient mondialement accumulées dans le sol depuis le moment de la première utilisation de l'insecticide (en 1939); les Poissons, de leur côté, en hébergeaient 324 t (fig. 167).

Le DDT, très stable, ne disparaît que très lentement. Dans une eau naturelle, sa demi-vie (temps nécessaire à la dégradation de la moitié d'une quantité donnée) est estimée à une dizaine d'années.

La demi-vie de la dieldrine dans une eau naturelle est de plus de vingt ans. On voit que de telles substances circuleront encore longtemps dans les réseaux alimentaires, même après l'abandon de leur usage.

Fig. 167: Relation entre la quantité de DDT utilisée au cours des années et la quantité de DDT présente dans le sol respectivement les Poissons. Bilan établi en 1980 (d'après Bild der Wissenschaft, 7-1980).



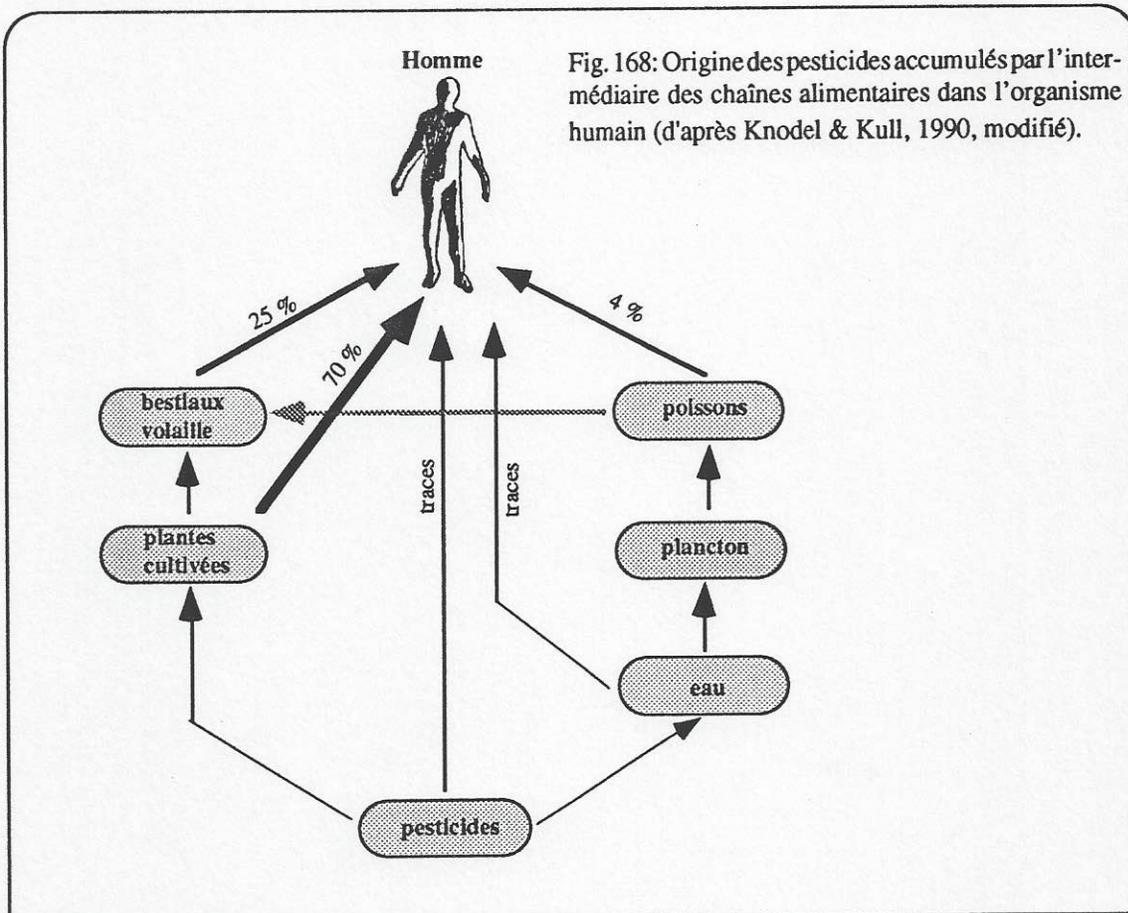


Fig. 168: Origine des pesticides accumulés par l'intermédiaire des chaînes alimentaires dans l'organisme humain (d'après Knodel & Kull, 1990, modifié).

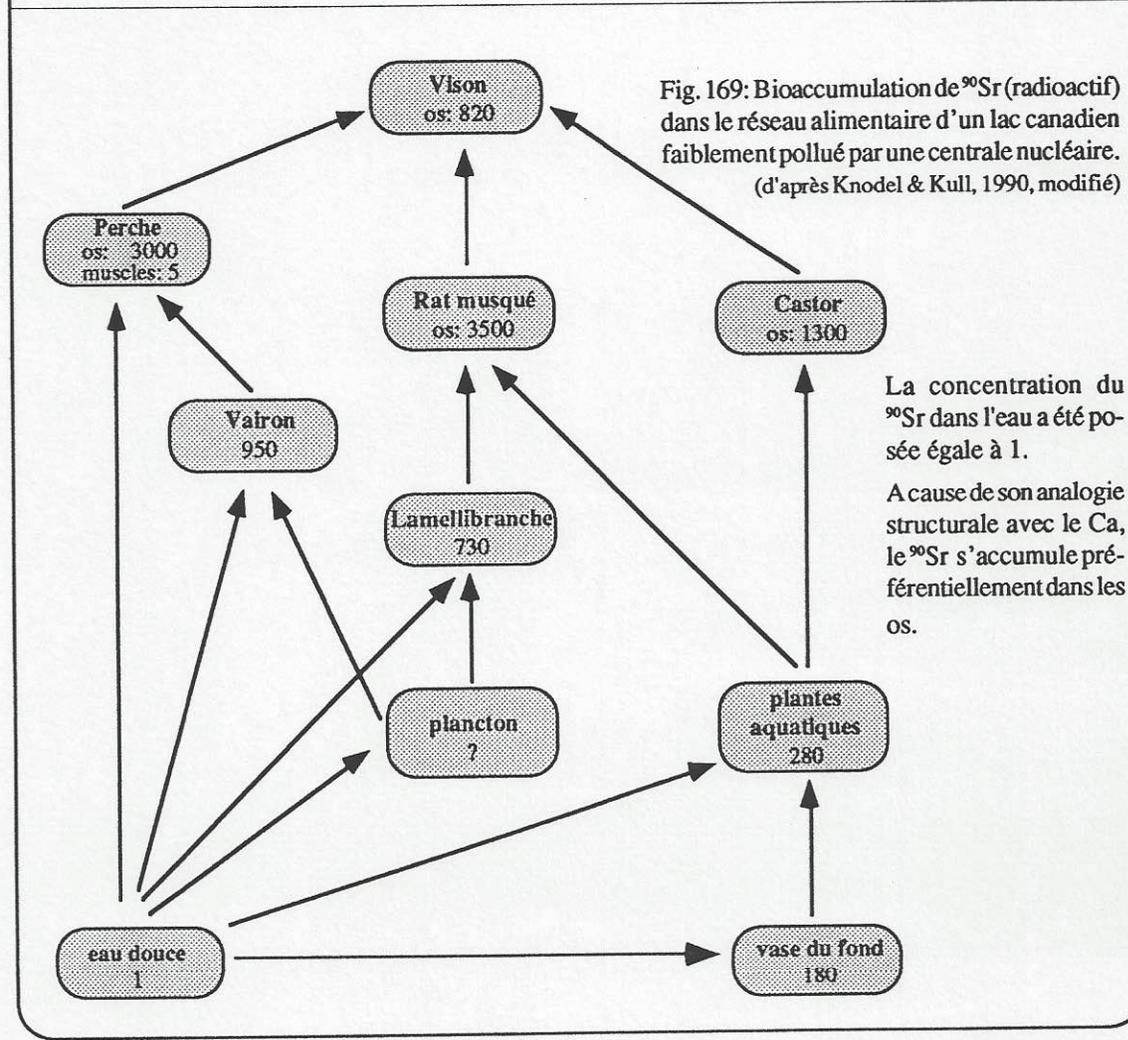
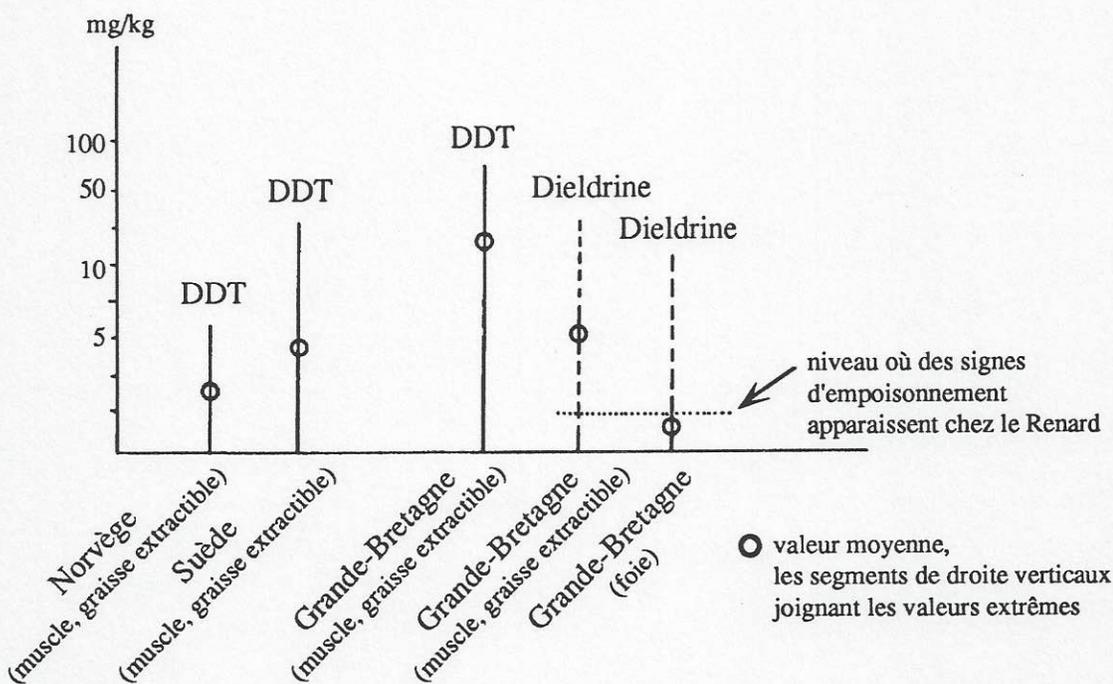


Fig. 169: Bioaccumulation de <sup>90</sup>Sr (radioactif) dans le réseau alimentaire d'un lac canadien faiblement pollué par une centrale nucléaire. (d'après Knodel & Kull, 1990, modifié)

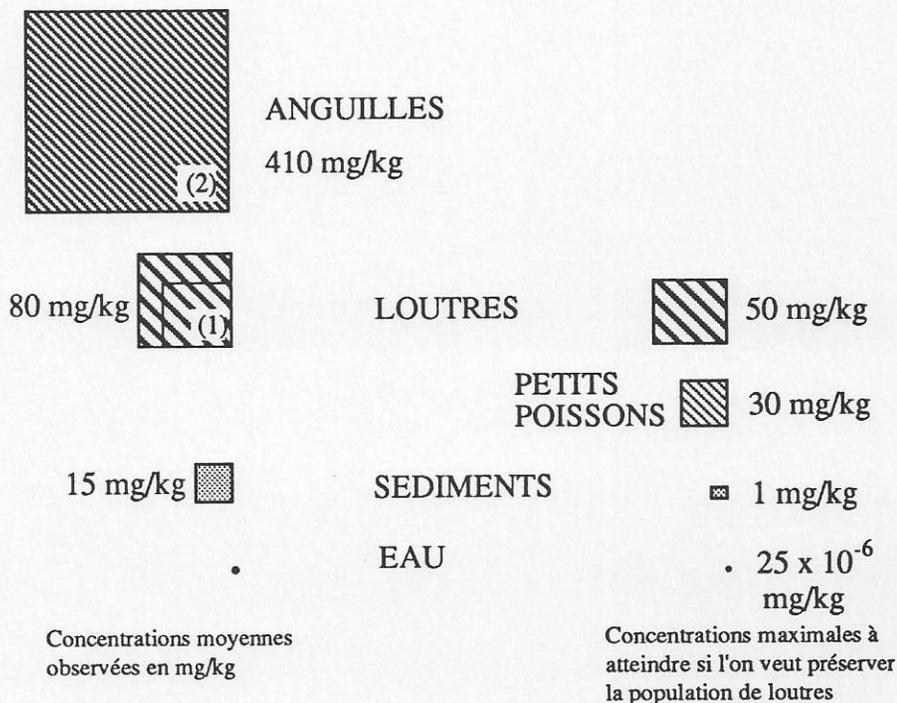
La concentration du <sup>90</sup>Sr dans l'eau a été posée égale à 1.  
A cause de son analogie structurale avec le Ca, le <sup>90</sup>Sr s'accumule préférentiellement dans les os.

Fig. 170: La bioaccumulation des insecticides chez la Loutre.  
(d'après Fetter-Keulen, 1990)



La dieldrine a été rendue responsable de la brutale régression de la Loutre en Angleterre dans les années 55-60.

Fig. 171: La bioaccumulation des PCB (polychlorobiphényles) en Frise (Pays-Bas).  
(d'après Bekker in Fetter-Keulen, 1990)



(1) Le petit rectangle correspond à la concentration qui, chez le Vison, entraîne des échecs dans la reproduction.  
(2) Les PCB, comme les pesticides, s'accumulent surtout dans les tissus graisseux. Un poisson très gras comme l'Anguille concentre ces poisons au moins 2 fois plus qu'un autre. L'Anguille représente 1/10<sup>e</sup> environ de la biomasse totale ingérée par les loutres frisonnes, d'où leur forte concentration en PCB.

## DOCUMENT

## Le DDT en question

(texte datant de 1975)

DDT. Abréviation de dichlorodiphényl-trichloro-éthane. Le plus célèbre des pesticides. Hydrocarbure chloré de formule  $C_{14}H_9Cl_5$ , synthétisé en 1874. Ses propriétés insecticides n'ont été découvertes qu'en 1939 par le biochimiste suisse Paul Muller qui obtint en 1948 le prix Nobel de Médecine. Il fut utilisé largement par les Américains dans la guerre du Pacifique et dans la campagne d'Italie (1943-44) où il permit d'enrayer une épidémie de typhus. Selon une déclaration de l'O.M.S., le DDT a servi à réduire ou à supprimer quantité de maladies épidémiques, non seulement le paludisme (qui, sans le DDT continuerait à menacer plus d'un milliard d'êtres humains), mais aussi la peste, le typhus, la maladie du sommeil, la leishmaniose, la fièvre jaune, la filariose, la dengue, l'onchocercose, etc. Depuis, des insecticides de remplacement ont été trouvés pour la plupart de ces maladies, mais le DDT reste indispensable pour la lutte contre le paludisme et la maladie du sommeil.

Le succès du DDT entraîna une forte croissance de la production et de l'utilisation entre 1948 (10.000 t aux USA) et 1969 (120.000 t dont 80.000 exportées). Mais ce n'est là que le tiers de tous les pesticides développés parallèlement: plus de neuf cents formules sous soixante mille présentations.

Le DDT est très persistant. Il garde sa structure chimique et sa toxicité durant une période très longue, de l'ordre de vingt années. Il y a donc accumulation du DDT dans le monde et, à l'aide de méthodes d'analyse suffisamment sensibles, on en retrouve partout, même au pôle Nord. Cependant, de telles affirmations ont été critiquées.

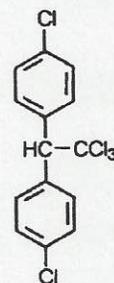
D'abord il y a interférence avec une autre classe de produits synthétiques modernes, les biphényles chlorés (PCB) qui ont été utilisés dans de nombreuses applications depuis vingt ans (impermeabilisants, adhésifs, fluides hydrauliques, appareillages électriques, compositions plastiques). On a donc attribué au DDT relativement peu toxique une part de présence due en réalité aux PCB dont certains sont de toxicité élevée. (...) Le danger d'une accumulation du DDT ne peut cependant être nié dans les chaînes alimentaires, en particulier en milieu aquatique. Si les microorganismes ne renferment que quelques parts par milliard, les mollusques qui s'en nourrissent peuvent monter à 100 ppm, les petits poissons à plusieurs centaines, les oiseaux qui s'en nourrissent accumulent le DDT dans les graisses, le foie, à des doses qui peuvent être mortelles. Des effets tératogènes ont également été mis en évidence, de même qu'un déficit en calcium entraînant la fragilité des coquilles d'œufs. L'opinion publique a été alertée dès 1962 par le célèbre livre de Rachel Carson, *Le Printemps silencieux* dont l'alarmisme peu scientifique a été critiqué par les spécialistes, mais qui n'en a pas moins obtenu gain de cause dix ans plus tard, en particulier lorsqu'après avoir fixé une norme de 5 ppm pour l'alimentation humaine, on a constaté que cette teneur était atteinte et même dépassée chez l'être humain aux Etats-Unis, ce qui a permis d'affirmer avec ironie que l'Américain moyen était impropre à la consommation. On s'est inquiété aussi de la présence du DDT dans le lait maternel. (...)

Sans attendre la mise en évidence irréfutable d'une altération de la santé humaine, des recommandations furent faites, des mesures furent prises, aux Etats-Unis d'abord (1970), dans certains pays européens ensuite (1972) pour limiter fortement la production et l'usage de pesticides comme les hydrocarbures chlorés persistants.

Ces mesures ont cependant suscité certaines réactions de la part de l'O.M.S., du Dr N.E. Borlaug\*, étant donné qu'il ne paraît y avoir aucune commune mesure entre les avantages et les inconvénients du DDT dans les régions du monde exposées aux ravages du paludisme endémique et épidémique. En France, il est interdit de désinsectiser les étables et les nourritures pour bétail avec le DDT, l'aldrine et la dieldrine depuis le 15/10/1969 et tout usage agricole du DDT est interdit depuis le 19/2/1971 (sauf pour la pyrale du maïs). Il faut noter enfin que le déclin du DDT se trouve accentué par la détermination d'une résistance accrue de nombreuses espèces d'insectes et d'acariens: 224 selon un rapport du Département Américain de la Santé. Des travaux britanniques parlent d'une centaine d'espèces. On se trouve donc en présence d'un relais progressif du DDT par d'autres pesticides dont l'action moins persistante sera incontestablement mieux étudiée et mieux contrôlée. Ces pesticides de deuxième génération ne feront cependant pas oublier les services immenses rendus par ceux de la première génération.

(extrait de: F.C. &amp; E. Lemaire, 1975).

Formule chimique du DDT



\* Norman E. BORLAUG: né en 1914 à Cresco (Iowa), spécialiste de la pathologie et de la génétique des plantes, associé aux travaux qui ont donné lieu au développement du triticale, prix Nobel de la Paix en 1970 pour son rôle joué dans la Révolution Verte.

## Bioaccumulation dans le lac de barrage d'Esch-sur-Sûre (analyses anciennes datant de 1972-1974)

### 1. Les insecticides

Les concentrations mesurées étaient 1.000 à 10.000 fois inférieures à la valeur limite admise pour l'eau potable. Il n'empêche qu'une certaine accumulation d'insecticides a été notée chez les plantes; l'enrichissement a été plus faible pour les sédiments et très faible pour les poissons.

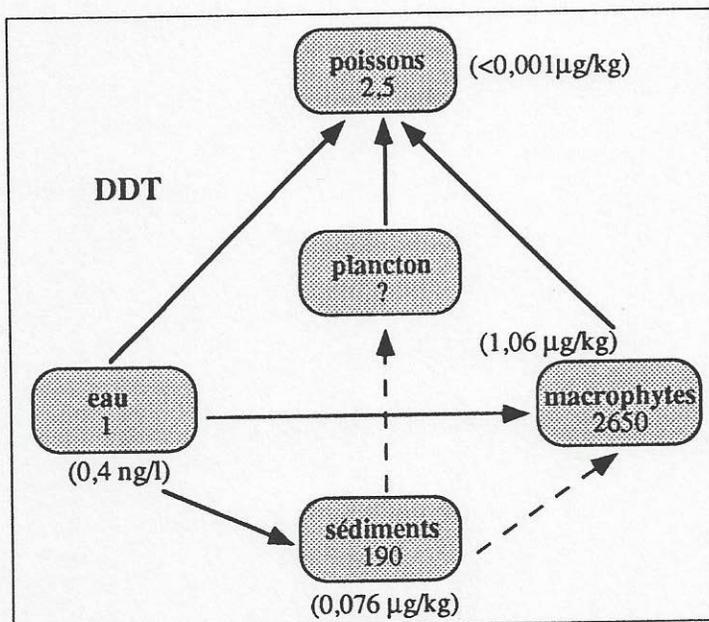


Fig. 172: Bioaccumulation du DDT dans le lac de barrage d'Esch-sur-Sûre (d'après les valeurs publiées par Rasqué-Besch, 1978).

La valeur limite pour l'eau potable est de 42 µg/l.

### 2. Les métaux lourds

Ces métaux sont présents à l'état de traces seulement. Les concentrations trouvées pour l'eau étaient 10 à 1.000 fois inférieures aux valeurs limites admises pour l'eau potable.

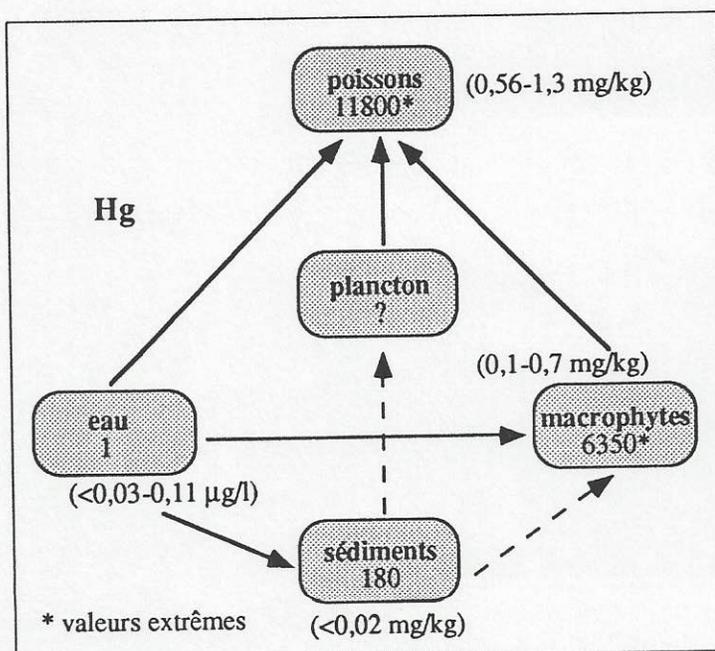


Fig. 173: Bioaccumulation du mercure (Hg) dans le lac de barrage d'Esch-sur-Sûre (d'après les valeurs publiées par Rasqué-Besch, 1978).

Pour l'élément mercure (Hg), les valeurs atteintes ont dépassé celles mesurées dans les barrages allemands.

Le mercure semble provenir du mordançage des céréales.

La valeur limite pour l'eau potable est de 1 µg/l.

En Suède, on a recommandé de ne pas manger plus d'une fois par semaine du poisson dont la teneur en Hg se situe entre 0,2 et 1 ppm (1 ppm = 1 part per million = 1 mg/kg).

### Bioaccumulation des métaux lourds dans les Moules d'eau douce (*Dreissena polymorpha*) de la Moselle

La Moule d'eau douce accumule les métaux lourds, les composés organochlorés et les radionucléides présents dans l'eau. Elle peut ainsi servir de bioindicateur de la pollution par ces substances. Une étude récente a étudié de ce point de vue les moules d'eau douce de la Moselle entre Toul et Trèves (Mersch et al., 1992). Les mousses aquatiques se prêtent d'ailleurs à des analyses comparables (voir: p. 241).

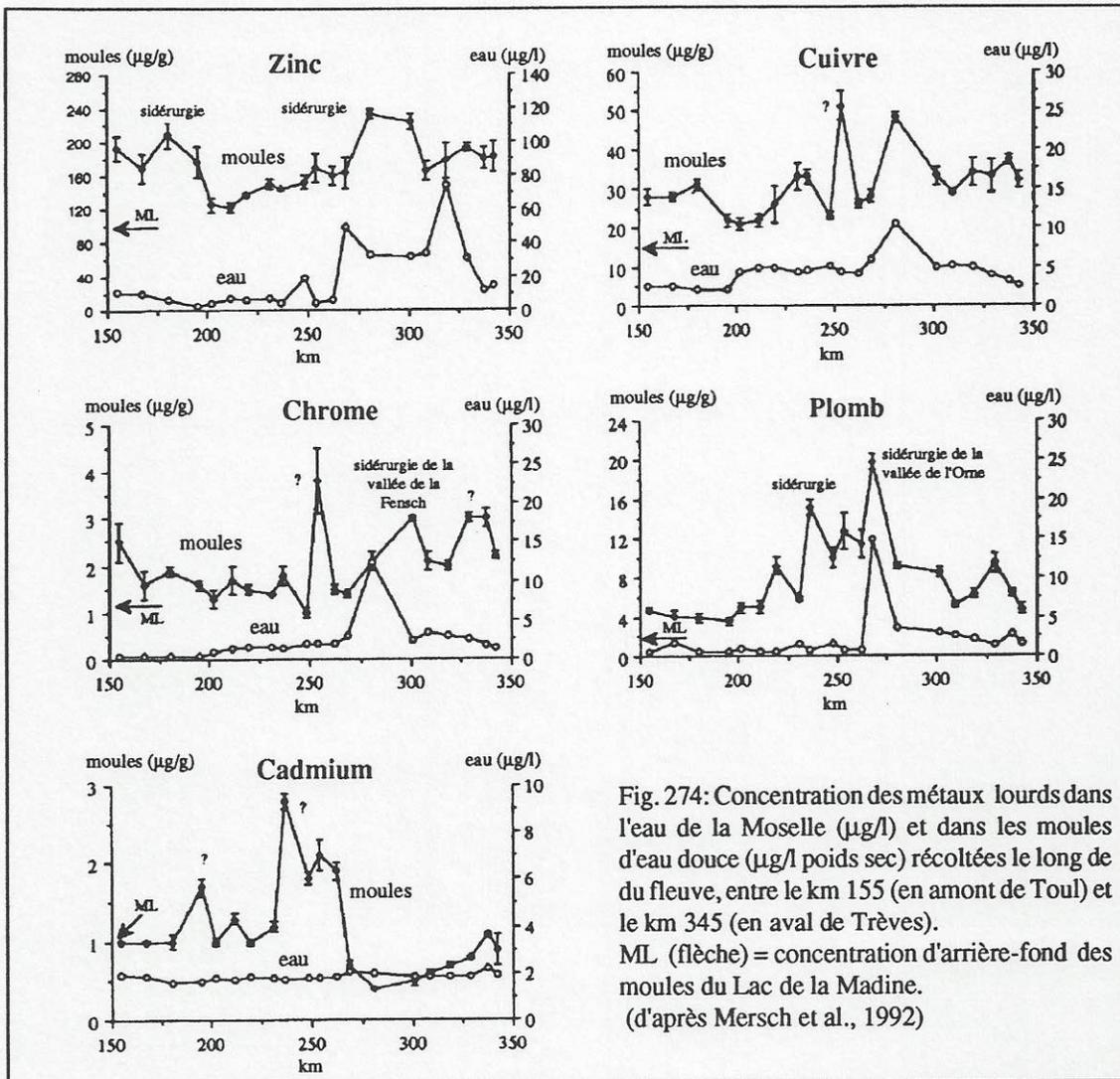


Fig. 274: Concentration des métaux lourds dans l'eau de la Moselle (µg/l) et dans les moules d'eau douce (µg/g poids sec) récoltées le long du fleuve, entre le km 155 (en amont de Toul) et le km 345 (en aval de Trèves). ML (flèche) = concentration d'arrière-fond des moules du Lac de la Madine. (d'après Mersch et al., 1992)

### La maladie de Minamata

Une véritable catastrophe due à la bioaccumulation du Hg a eu lieu, il y a une vingtaine d'années, dans la baie de Minamata au Japon, dans laquelle s'écoulaient les eaux résiduaires fortement polluées par le mercure (méthylmercure) de plusieurs usines chimiques. Chez les pêcheurs de la baie de graves lésions nerveuses sont apparues. Le bilan de la maladie de Minamata a été tragique: 80 morts, 1.973 invalides permanents, 19 enfants mentalement handicapés. On estime qu'à côté de ces cas graves, 15.000 habitants de la baie ont été lésés, d'une façon ou d'une autre, par la consommation de poissons empoisonnés par le mercure.

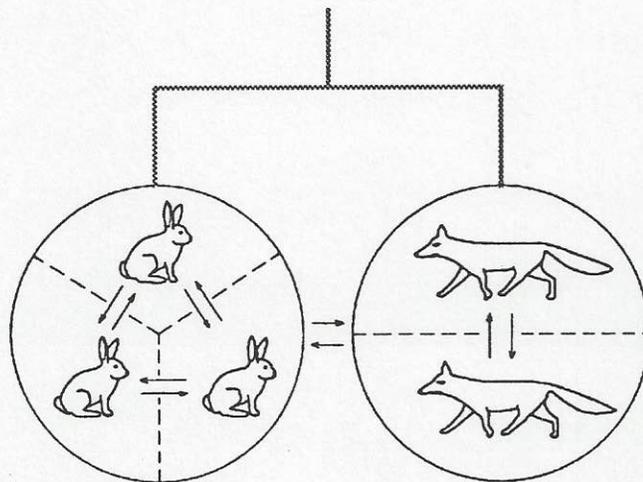
---

---

## 4.2. L'équilibre biologique

---

---

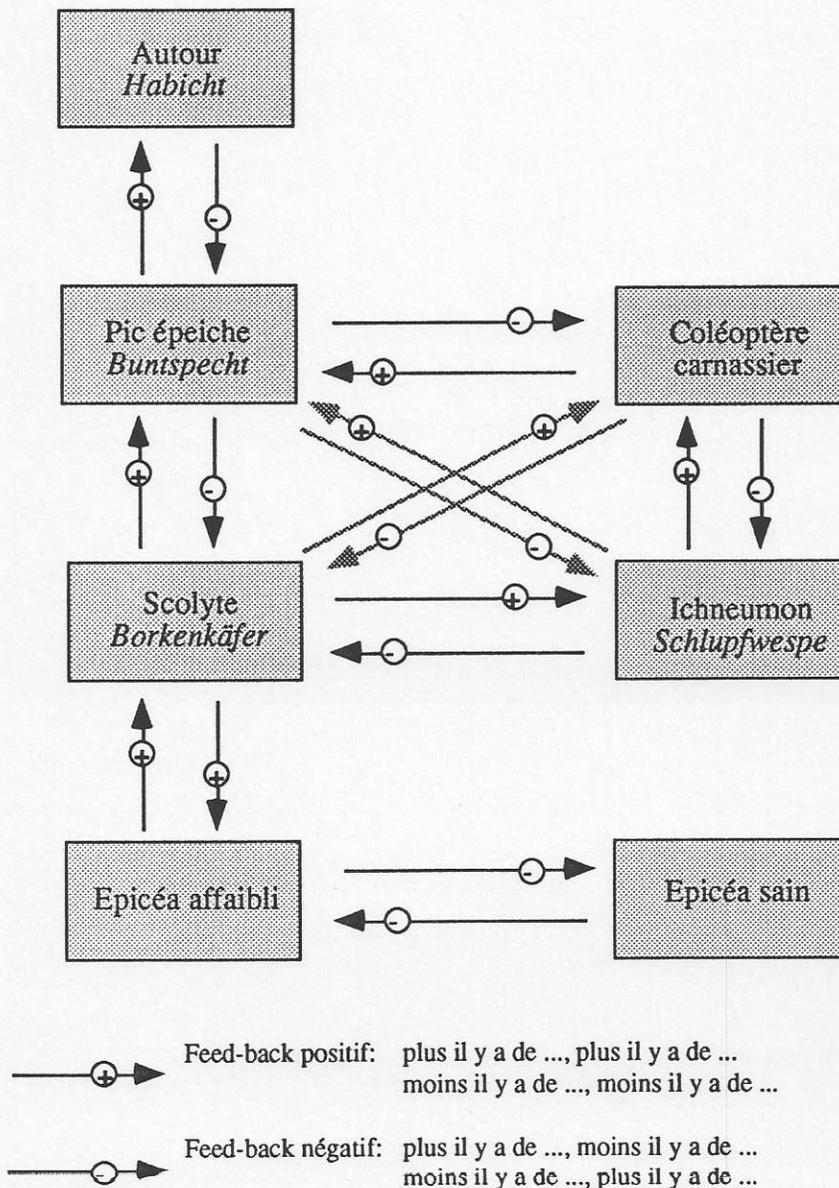


### 4.2.1. Principes fondamentaux

Les facteurs qui sont responsables de la régulation biologique des populations individuelles (voir: dynamique des populations) interviennent, bien entendu, aussi au niveau de l'ensemble des populations d'une biocénose. Il en résulte un *équilibre dynamique* (= *équilibre biologique*) entre les populations des multiples espèces animales et végétales de l'écosystème.

Aux différents niveaux, les consommateurs jouent le rôle de *régulateurs* par rapport à leur proie. Celle-ci compense ses pertes par la reproduction.

Fig. 175: Schéma simplifié de l'équilibre dû à la relation prédateur-proie dans la biocénose de la pessière .



Vu le nombre très élevé des espèces dans un écosystème, l'étude de leurs interrelations est extrêmement complexe. On a tout de même pu dégager certains *principes fondamentaux*:

- *L'équilibre d'un écosystème est d'autant plus stable que le nombre d'espèces est plus élevé; l'équilibre est d'autant moins stable que le nombre d'espèces est moins élevé.*

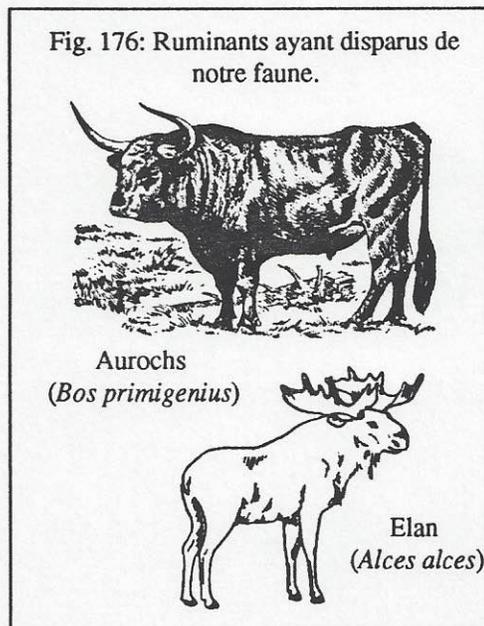
En effet, dans le dernier cas, une perturbation au niveau d'une seule espèce (augmentation ou diminution massive du nombre d'individus) se répercute facilement sur l'ensemble de l'écosystème, alors que dans un écosystème à espèces nombreuses l'effet d'une telle perturbation ponctuelle est rapidement amorti.

- *Le nombre des individus des populations est d'autant plus faible que le nombre des espèces est grand (équilibre stable); le nombre des individus des populations est d'autant plus grand que le nombre des espèces est faible (équilibre instable).*

## 4.2.2. Perturbation de l'équilibre biologique

### 4.2.2.1. Disparition de certains régulateurs

Au cours des siècles, la faune européenne s'est continuellement appauvrie. Certains animaux ont été chassés par l'Homme pour leur viande ou leur four-



rure. Tous ont eu à souffrir des modifications que l'Homme a imposé au milieu naturel. Ainsi, le déclin de l'*Aurochs* (Ur, Auerochse) dans nos régions a commencé avec la grande période de défrichement du 9<sup>e</sup> au 11<sup>e</sup> siècle. Le tout dernier Aurochs a été abattu en 1627 en Pologne, à une époque où il avait depuis longtemps disparu de nos régions. Le *Bison européen* (Wisent) qui au moyen-âge peuplait encore nos forêts a disparu à son tour. Dès le 16<sup>e</sup> siècle l'*Elan* (Elch) autrefois fréquent dans nos régions n'est plus présent dans la région de l'Eifel et de l'Ardenne. A l'époque de BUFFON (18<sup>e</sup> siècle), le *Castor* (Biber), dont l'ancienne présence chez nous est encore rappelée par des noms de localités (Biber) ou de lieux-dits (*an der*

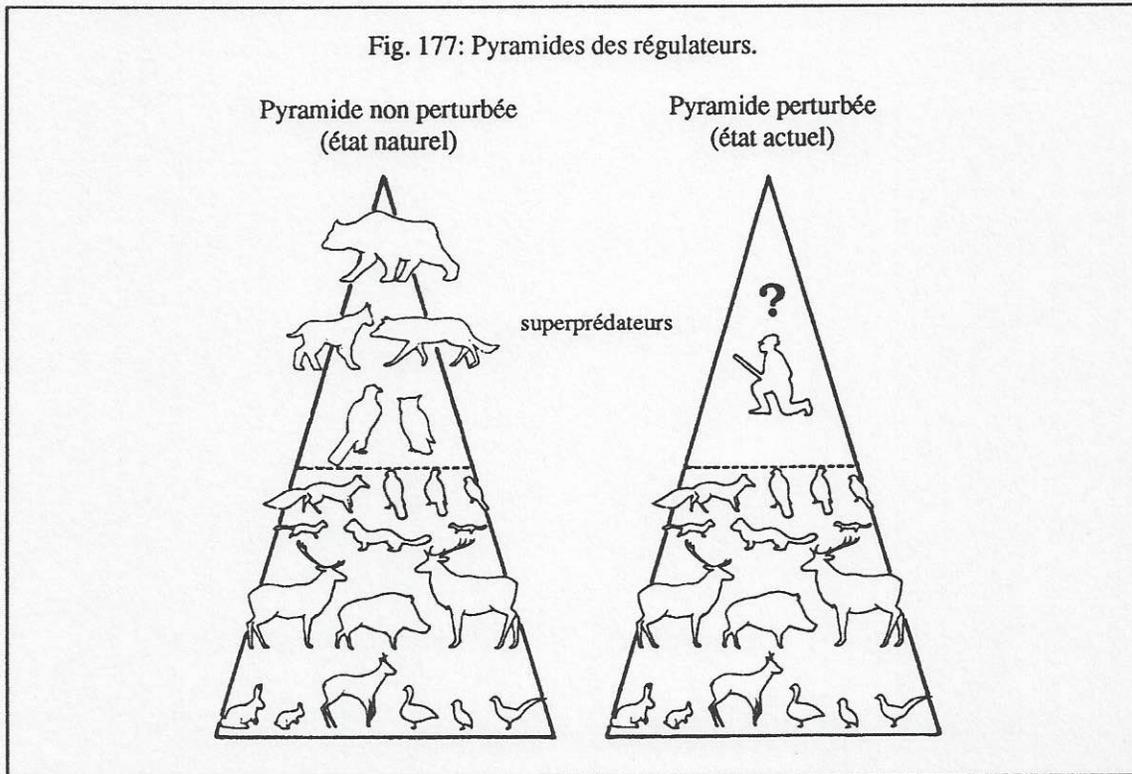
*Biwescht*), n'existait plus en France qu'en Languedoc et dans les îles du Rhône. Dans cette dernière région, il s'est d'ailleurs maintenu jusqu'à nos jours.

En modifiant leur milieu de vie (déboisement notamment) et en les pourchassant parce qu'ils s'attaquaient aux animaux domestiques et au gibier, l'Homme a

exterminé nos grands prédateurs (superprédateurs) d'antan: l'Ours brun, le Lynx et le Loup.

Actuellement, le Chat sauvage est menacé, la Loutre est devenue rarissime. Le Faucon pèlerin ne niche plus chez nous; d'autres Rapaces sont en péril.

L'action régulatrice de ces espèces doit désormais être assumée par l'Homme chasseur. C'est une tâche d'autant plus difficile que le but et l'effet de la chasse ne concordent pas forcément avec le maintien de l'équilibre naturel.



#### 4.2.2.2. La chasse au Luxembourg

Depuis l'abolition du régime féodal, le droit de chasse n'appartient plus au seigneur, mais est devenu un attribut du droit de propriété. Les propriétaires fonciers forment un *syndicat de chasse* communal qui décide du relaiement du droit de chasse.

Chaque commune forme des *lots de chasse* d'au moins 250 ha qui sont relaiés par adjudication publique ou par prorogation du bail pour une durée de location de neuf ans. Le rapport d'activité 1991 du Ministère de l'Environnement nous apprend que le territoire du Grand-Duché est actuellement subdivisé en 608 lots de chasse gérés par 420 syndicats de chasse. La somme totale des prix d'adjudication des lots de chasse pour la période 1985-1994 a valu 100,5 millions de francs.

Chaque année, un *calendrier de chasse* fixe les périodes de chasse pour les différentes catégories de gibier. L'introduction d'un *plan de chasse* déterminant le prélèvement de gibier qui peut être effectué sans danger pour la densité de la population du gibier a été réalisée par le règlement grand-ducal du 12 juillet

1989. Il prescrit l'établissement d'un plan de chasse pour les espèces suivantes: Cerf, Chevreuil et Mouflon. En ce qui concerne cette dernière espèce, il convient de noter qu'un plan de tir lui a été appliqué dès 1983.

En cent ans, le nombre des chasseurs a quadruplé: en 1980, il s'élevait à 2.500; en 1992, il a été de 2.300. Il en résulte une assez grande pression sur le gibier. L'augmentation du nombre des chasseurs a notamment suscité davantage de chasses en groupe, les battues. Afin de ménager le gibier, le nombre maximum de chasseurs pouvant participer à une battue a été fixé à 35 en 1978. D'un autre côté, les prélèvements sont limités par le plan de chasse.

Par rapport à d'autres pays, le nombre des chasseurs par 100 ha (*pression cynégétique*) est encore assez favorable (situation 1980):

Luxembourg.....	1 chasseur /100 ha
Belgique.....	1 chasseur /100 ha
RFA .....	1 chasseur /100 ha
France .....	4 chasseurs /100 ha
Italie .....	6 chasseurs /100 ha

En 1975/76, on a tiré de l'ordre de 4.600 lièvres, 26.000 lapins, 1.600 renards, 4.000 faisans, 2.000 perdrix. En 1980/81, les chiffres correspondants ont été: 142 cerfs, 5.090 chevreuils, 631 sangliers, 2.960 lièvres, 3.692 lapins, 1.597 renards, 1.771 faisans, 182 perdrix. Le tableau de chasse de l'année cynégétique 1991/1992 se présente de la façon suivante (gibier trouvé mort [*Fallwild*] inclus): 143 cerfs, 6.238 chevreuils, 38 mouflons, 19 daims, 2.064 sangliers, 2.233 lièvres, 946 lapins, 3.178 renards, 423 faisans.

Pendant l'année cynégétique 1980/81, 259 martres et fouines (ces dernières prédominant sur les premières), 361 belettes et 137 putois ont été tués. Pour l'année 1991/92, le relevé a été le suivant (gibier trouvé mort inclus): 525 fouines/martres, 270 belettes, 85 putois. Vu leur rôle de régulateurs vis-à-vis des populations des Rongeurs, beaucoup de gens trouvent regrettable cette pression exercée sur les Carnivores, alors que les chasseurs invoquent les dégâts que ces animaux pourraient occasionner p.ex. dans les poulaillers.

En 1987, la situation du *gros gibier* vivant dans le milieu forestier a été qualifiée de stable en ce qui concerne le Cerf et le Chevreuil, alors que le Sanglier était même en nette extension, surtout en bordure de l'Oesling et dans le canton de Grevenmacher. En ce qui concerne le *menu gibier* ou *petit gibier* qui vit essentiellement dans le milieu agricole, la situation est moins favorable. Le Lièvre et la Perdrix sont en régression. Pour le Lièvre des mesures de repeuplement sont effectuées depuis 1981 en collaboration avec la «*Fédération Luxembourgeoise des Eleveurs de Lièvres*». La Perdrix fait l'objet d'un plan d'action Bénélux dans le cadre duquel un projet pilote est réalisé dans la région de Biwer. Le Faisan a longtemps résisté grâce au repeuplement, mais en 1987 ses populations sauvages avaient presque entièrement disparu. Le Lapin sauvage, en progression depuis 1970, a de nouveau accusé un recul à partir de 1982. Dès 1987, il n'en subsistait plus que de petites populations isolées vivant sur des territoires particulièrement favorables à cette espèce.

Fig. 178: Evolution du nombre du gros gibier abattu au Grand-Duché de Luxembourg.  
(Sources: Annuaire statistique 1992 et Admin. Eaux & Forêts)

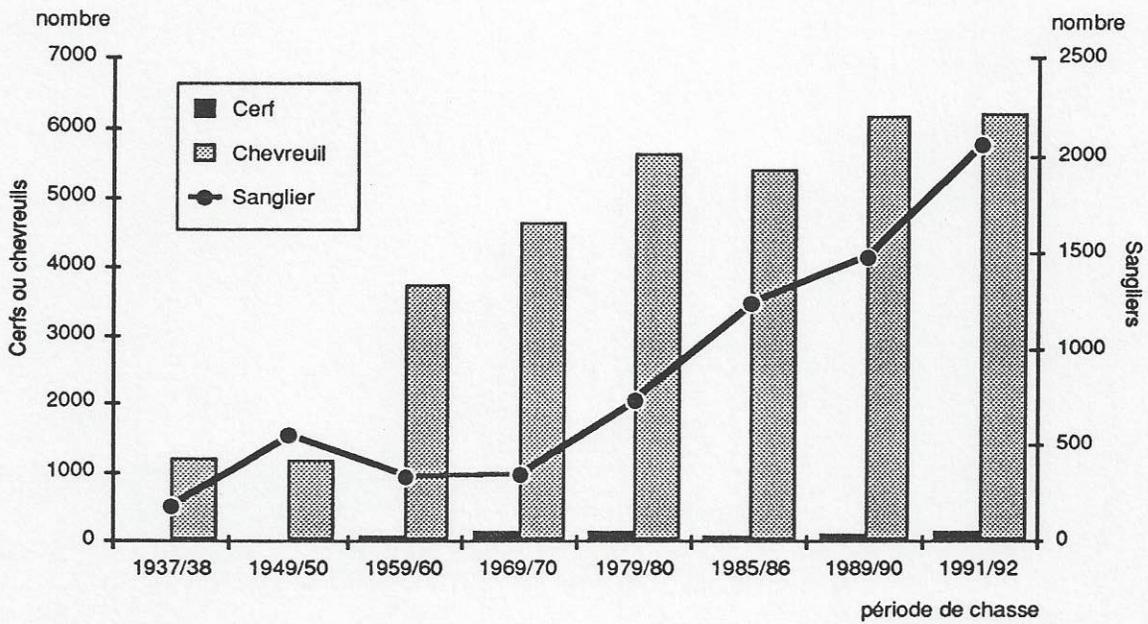
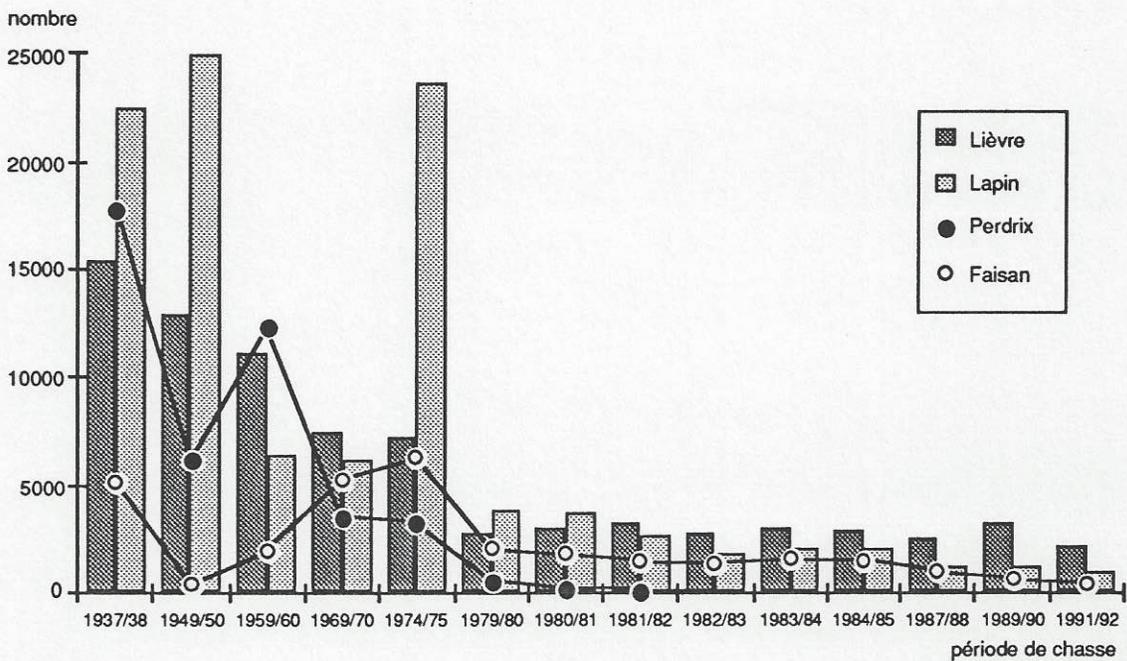


Fig. 179: Evolution du nombre du petit gibier abattu au Grand-Duché de Luxembourg.  
(années cynégétiques 1937/38 - 1991/92; sources: Annuaire statistique 1992 et Admin. Eaux & Forêts)



En l'année de chasse 1959/60, 12.336 Perdrix ont encore été tirées; en 1981/82, ce nombre n'était plus que de quelque 70 exemplaires. Depuis 1983, la Perdrix ne figure plus au le calendrier de chasse.

### 4.2.2.3. L'appauvrissement de la faune luxembourgeoise

#### Le Castor

Dans sa «*Kulturgeschichte des Luxemburger Landes*» (1923-1926), Nicolas van Werveke admet que le Castor a disparu de nos régions au cours du 18<sup>e</sup> siècle. Sa présence est encore attestée au 17<sup>e</sup> siècle. En effet, à cette époque-là d'assez nombreux castors sont encore vendus à l'abbaye d'Echternach. Citons van Werveke:

*«Erwähnungen dieser Art sind derart selten, dass ich, die mir bekannten, sämtlich aufzähle, weil sie beweisen, dass die Biber in der betreffenden Zeit noch ziemlich häufig waren. Die Abtei bezahlt nämlich am 4. Januar 1674 für einen jungen biever 12 Stüber (0,98 Fr.), am 27. Juli für einen biever 2 Taler (4,94 Fr.), am 20. November für einen biever, der im September dem Prinzen von Chimay geschenkt wurde, 1 Reichstaler 12 Stüber (4,94 Fr.), am 28. Februar 1675 einem Fischer, "so mit den unserigen einen biever gefangen, für sein antheil" 1 Taler (2,46 Fr.), und am 20. Mai 1676 für einen biever 36 Stüber (2,96 Fr.).»*

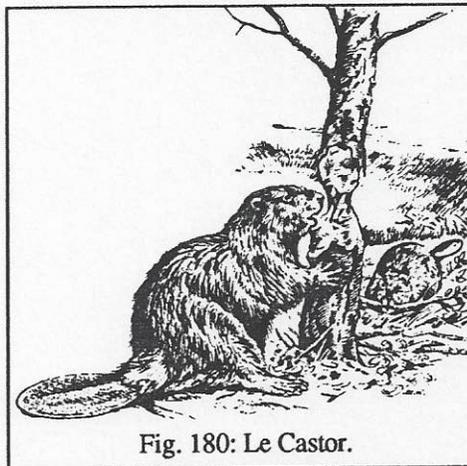


Fig. 180: Le Castor.

#### L'Ours brun

L'Ours brun a disparu depuis belle lurette de notre faune indigène. Près de chez nous, dans l'Eifel, le dernier Ours a été abattu vers la fin du 17<sup>e</sup> siècle.

#### Le Lynx ou Loup-cervier

Le dernier Lynx de l'Eifel a été tué près de Prüm en 1823. Il est à admettre qu'à cette époque il n'existait plus depuis longtemps au Luxembourg.

Au 17<sup>e</sup> siècle, on ne le retrouvait plus en France que dans les régions montagneuses. Il a disparu des Vosges vers le milieu du 17<sup>e</sup> siècle; il s'est maintenu jusqu'en 1871 dans les Monts du Haut-Jura. Dans les Pyrénées, l'espèce ne semble jamais avoir complètement disparu. Réintroduit de 1971 à 1976 en Suisse, où il avait disparu depuis deux siècles, le Lynx a commencé à coloniser certains départements français frontaliers, dont le Jura. Dans les Vosges, un programme de réintroduction du Lynx a démarré en 1983.

#### Le Loup

Entre 1850 et 1893, 241 loups (121 mâles, 72 femelles et 48 jeunes) ont été tués au Luxembourg. On payait à l'époque une prime d'abattage de 25 francs. Le dernier loup à être abattu au Luxembourg a été tiré le 24 avril 1893 près d'Olingen, au lieu-dit «*Kiem*», par le juge Edouard Wolff(!). Après cette date, le Loup n'avait cependant pas encore complètement disparu de notre pays. Ainsi, en décembre 1894, le Dr Ernest Feltgen observa encore un loup au «*Merscherwald*» près de Mersch.

Fig. 181: Nombre de loups tués au Grand-Duché de Luxembourg entre 1850 et 1893.  
(d'après les données de E. Faber, 1908, basées sur les primes payées par l'Etat,  
complété d'après Massard, 1986, pour l'année 1890)

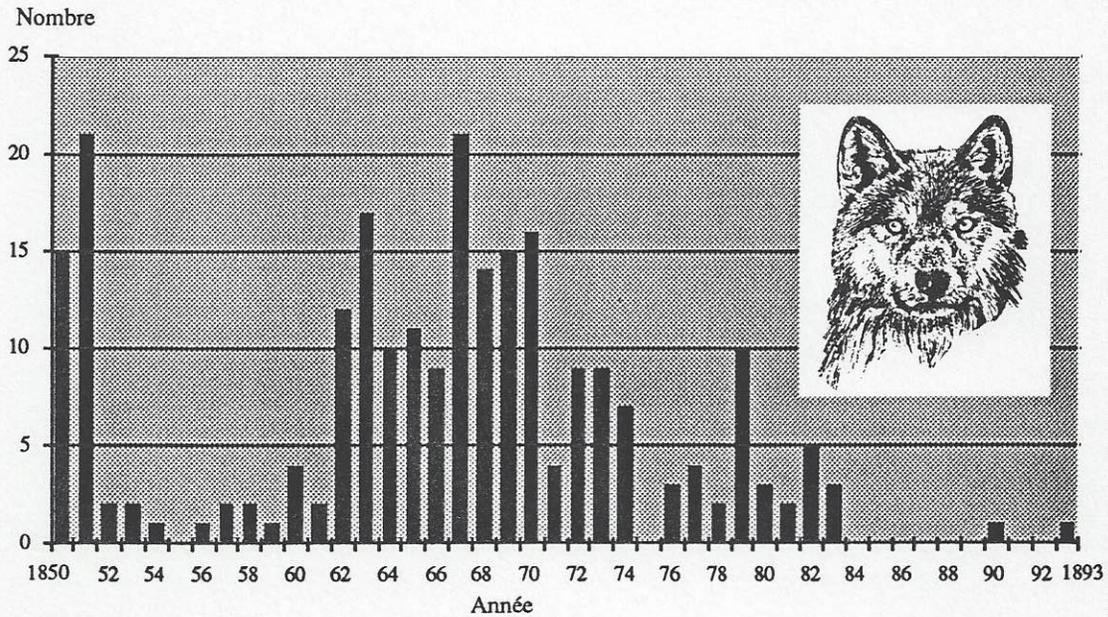


Fig. 182: Répartition régionale des loups abattus ou capturés au Luxembourg pendant la période de 1850 à 1893 (d'après Massard, 1986).

Chaque point correspond à une date donnée, quel que soit le nombre de loups abattus ou capturés.

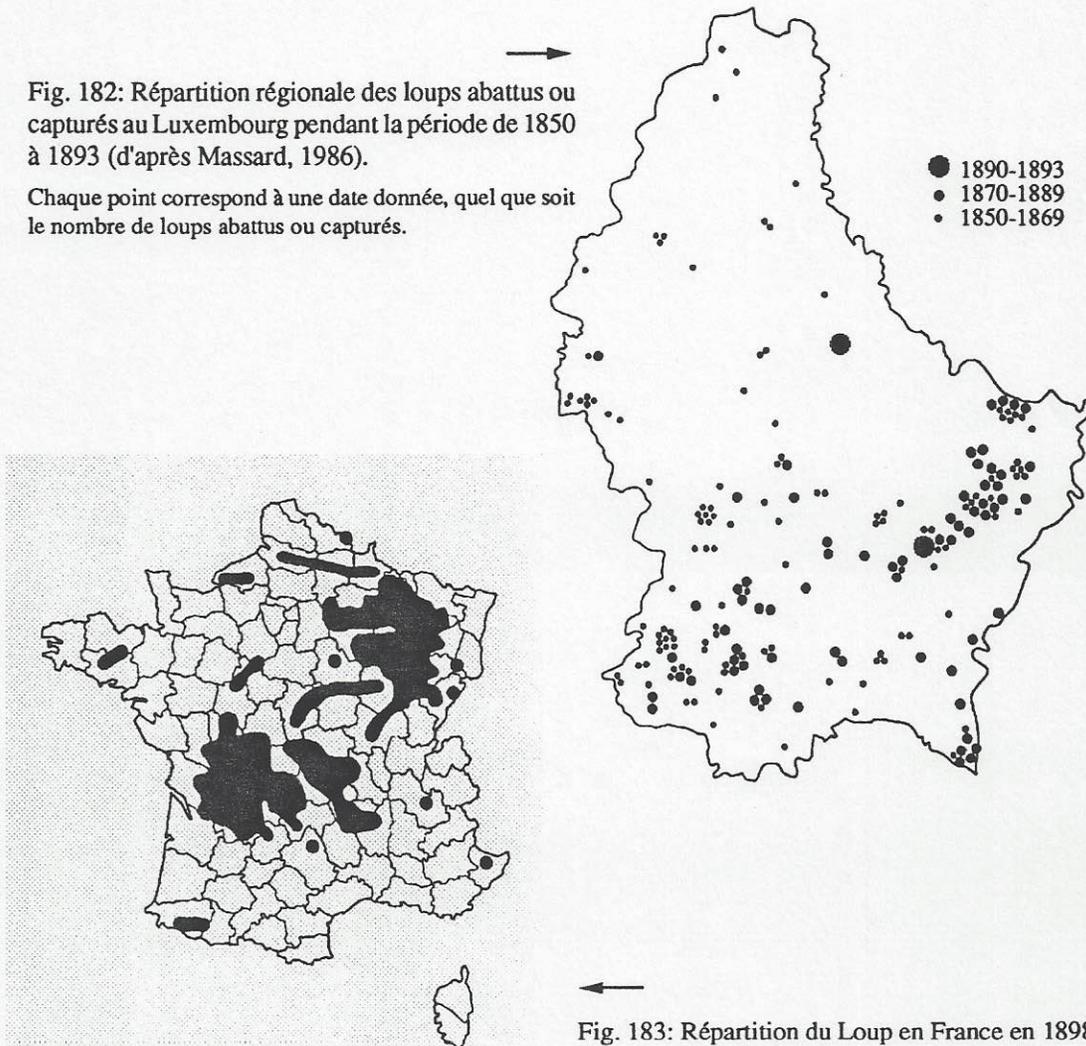


Fig. 183: Répartition du Loup en France en 1898 (d'après de Beaufort, 1987).

Dans le district de Trèves, 159 loups ont été tués en 1817. Dans le cercle de Prüm, les derniers loups (trois louveteaux) ont été capturés en 1871. Le tout dernier loup de l'Eifel a été abattu près de Hillesheim en 1888.

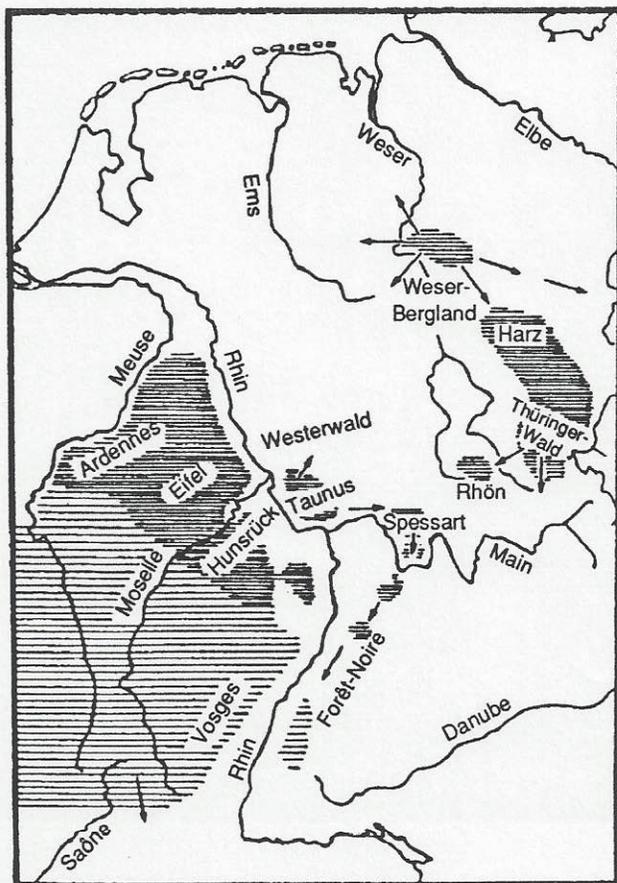
En Allemagne, le Loup avait entièrement disparu vers 1891, en Belgique vers 1899.

En Lorraine, près de 500 loups ont été abattus entre 1871 et le début du 20<sup>e</sup> siècle. En Moselle, la présence du Loup n'est plus signalée dès 1892. En Meurthe-et-Moselle, les derniers loups ont été tués en 1916. Des traces de loups ont encore été observées près de Pont-à-Mousson en 1925 et en forêt de Haye pendant l'hiver 1938 (Chauvet, 1986).

### Le Chat sauvage

Dans la quatrième partie de la «*Faune du Grand-Duché de Luxembourg*» de Ferrant parue en 1931, on peut lire que le Chat sauvage était encore assez fréquent, à l'époque, dans les forêts ardennaises, dans le Grunewald, aux environs d'Echternach, de Grevenmacher, de Manternach et de Fischbach. De nos jours par contre, il est devenu rare. En 1966/67, une douzaine de Chats sauvages ont été capturés dans l'Oesling sur une surface de 1.000 ha.

C'est à tort que les chasseurs ont vu un concurrent dans le Chat sauvage. Ainsi, pour V. Ferrant (1931) c'était «*un véritable tigre de nos forêts*» qui est «*très carnassier et excessivement nuisible par la destruction d'oiseaux et de gibier à poil et plume*». On sait aujourd'hui que le Chat sauvage ne s'attaque que rarement au gibier. Il se nourrit surtout de petits Rongeurs.



Le Prof. Condé (Nancy) a examiné en détail le contenu stomacal de 139 exemplaires. Il a déterminé 476 animaux de proie qui se répartissaient de la façon suivante:

- 445 petits rongeurs (93,5% des proies, surtout des souris et des campagnols)
- 9 musaraignes
- 2 belettes
- 1 jeune lièvre
- 8 oiseaux
- 6 batraciens
- 2 insectes
- 3 escargots

Fig. 184: Répartition du Chat sauvage, des Vosges au «Weser-Bergland». (d'après Bechtle, 1972)

## La Loutre

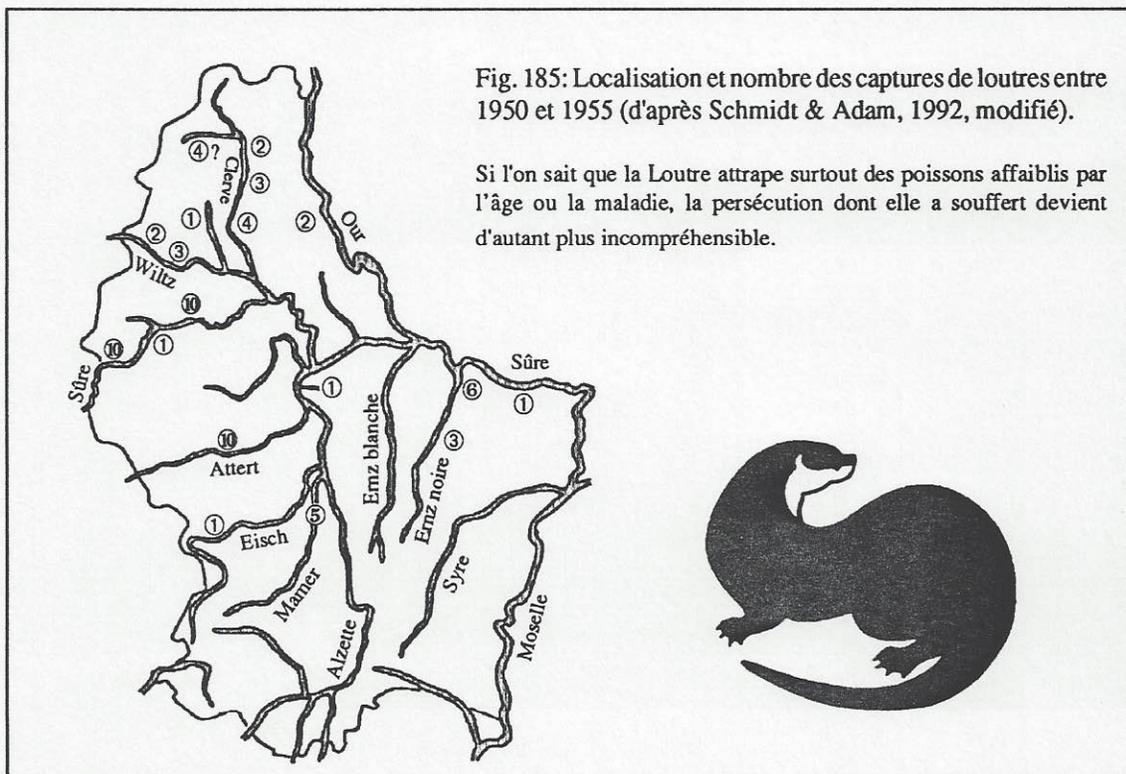
Pourchassée par les pêcheurs et menacée par la pollution de l'eau, la Loutre est devenue très rare en Europe. A la fin des années 1970, on estimait qu'il en restait encore de l'ordre de 250-500 en Allemagne occidentale, ce qui représentait à peine 1% de la population y ayant existé au début du siècle.

D'après les observations de Ferrant (1931), la Loutre, bien que devenue plus rare, se rencontrait encore en ce moment-là dans la majeure partie des cours d'eau luxembourgeois.

Depuis 1893, une prime était offerte par l'Etat pour toute loutre tuée. Malgré cette prime, les captures annuelles ne dépassaient guère la dizaine au cours des décennies suivantes. La densité de population n'était donc jamais bien forte.

Entre 1946 et 1975, on a tué 114 loutres au Luxembourg. Depuis 1949 la prime de l'Etat était passée à 1000 francs par animal tué. Les captures se sont intensifiées, la Loutre risquait de disparaître de notre faune. La suppression de la prime en 1957 et la protection intégrale sous laquelle l'espèce a été placée en 1972 ont failli venir trop tard.

En 1974, la Loutre avait pratiquement disparu, bien que la présence de certains exemplaires dans l'Eisch et la Haute-Sûre fût encore présumée à l'époque. Les traces d'une loutre auraient été observées en 1977 dans la région des étangs de Remerschen. Des traces appartenant indubitablement à la Loutre ont été observées à partir de 1980 le long de la Haute-Sûre où une faible population subsiste à l'heure actuelle. De même, des traces de l'animal ont été relevées en 1991 le long de l'Attert.



## Le Hibou grand-duc

Le Hibou grand-duc est devenu rare partout en Europe. Il préfère les régions accidentées, boisées ou non; il évite les terrains plats, surtout s'ils ne sont pas boisés. A l'orée du 20<sup>e</sup> siècle, le Hibou grand-duc était encore présent dans la



région de Rollingen (Mersch), Marienthal, Marscherwald, Kautenbach. Dès 1928, où une dernière nidification aurait encore eu lieu dans la vallée de l'Our, près de Vianden, le rapace commençait à manquer au Luxembourg.

Au cours des dernières décennies, des hiboux grands-ducs ont de nouveau été signalés à plusieurs reprises au Grand-Duché. Mais, ce n'est qu'en 1982 qu'un couple de Hibou grand-duc avec une nichée de 4 jeunes a pu être découvert dans le sud-est du pays. Deux autres nidifications ont eu lieu la même année à proximité de notre pays, l'une en Belgique, l'autre à la frontière franco-luxembourgeoise.

«On ignore si le Grand-duc redeviendra nicheur régulier au Luxembourg. Les parties rocheuses acceptables se raréfient, la plupart servant d'école d'escalade ou étant couvertes de végétation. Les concentrations humaines croissantes dans les zones tranquilles et à l'écart ainsi que les nombreuses lignes électriques rétrécissent de plus en plus son espace vital (plusieurs Grands-ducs sont accidentés ces derniers temps sur des clôtures de pâturage!).

Les chances de réussite des actions de réintroduction semblent bonnes à première vue. Espérons que les essais de réimplantation ne se soldent pas par un échec à cause de quelques chasseurs peu éclairés, comme le montrent deux oiseaux abattus récemment.» (Melchior et al., 1987).

### Uhu in Kayl angeschossen

Am Samstagnachmittag, als die Kayler «Naturfrenn» die von ihnen aufgestellten Nistkästchen säuberten, machten sie einen äußerst traurigen Fund.

Auf der «Schlaed», in der Gegend des Brucherbergs, fanden sie einen nicht mehr flugfähigen Uhu, der große Verletzungen, die von einem Gewehrschuß herrührten, aufwies.

Seit Jahren ist kaum noch ein Uhu in Luxemburg auffindbar und in unserer Minettegend ist seit Jahrzehnten keiner mehr gesichtet worden. (...)

Nun muß man sich fragen, wer dieses seltene Tier angeschossen haben kann?

Die Kayler «Naturfrenn» Marie-Jeanne Mille, Roby Haas, Lex Kraus und Jeng Schlessler versuchten gleich das verletzte Jungtier einzufangen. (...)

Nachdem der Düdelinger Pfleger Armand Wagner sich den Uhu angesehen und eine Notfütterung vorgenommen hatte, da das Tier seit einigen Tagen keine Nahrung zu sich genommen hatte, wurde es am Sonntag ins Saarland in

eine spezialisierte Pflegestation nach Ermsdorf gebracht, wo das Tier die nötige Pflege erhält.

Später soll dann der Versuch erfolgen, die Großeule wieder in unserer Gegend auszusetzen. Ob dieses Vorhaben jedoch gelingen wird, hängt von der Genesung des Uhus ab.

(tageblatt 1984, Nr. 266, Dienstag, 20. Nov., S. 9)

### Wie fängt man einen Uhu?

Ganz einfach: zwischen zwei Häuserwänden. So geschehen (bereits zum zweiten Mal!) am 8.11.91 in Echternach. Der Vogel, der wahrscheinlich auf der Jagd nach Haustauben in den schmalen Durchgang geraten war, wurde von Mitarbeitern der LNVL (Lëtzebuurger Natur- a Vulleschutzliga) befreit, beringt und wieder freigelassen. Nachzutragen von Ende August bleiben ein Alt- sowie ein Jungvogel in einer Felswand im Osten des Landes (aufgefundene Nahrungsreste: Krähenvögel, Schleiereule, Amsel, Kaninchen).

(Regulus 1/92: 17)

## Le Balbuzard fluviatile

Le Balbuzard fluviatile (all.: *Fischadler*, lux.: *Fëschplompert*) qui jadis nichait en Belgique, en Lorraine, en Rhénanie et au Luxembourg, n'y peut plus être observé qu'au moment de sa migration. Alphonse de la Fontaine (1897) rapporte que, dans le temps, l'oiseau nichait régulièrement sur la Moselle près de Schengen. Selon Morbach (1963), Victor Ferrant aurait observé dans sa jeunesse un couple de balbuzards nichant eux aussi près de Schengen, non loin de la Moselle. Toujours selon Ferrant, le Balbuzard fluviatile aurait disparu dans cette région vers 1913.

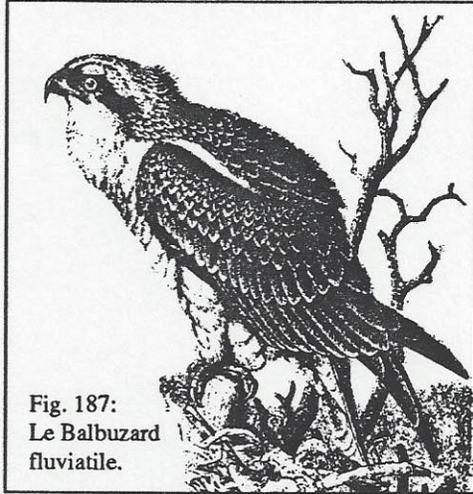


Fig. 187:  
Le Balbuzard  
fluviatile.

Rappelons que Ferrant est né en 1856 et habitait pendant sa jeunesse à Mamer! De ce fait, le témoignage de Ferrant paraît assez surprenant. Et actuellement, certains auteurs doutent même - à tort ou à raison - que le Balbuzard fluviatile ait jamais niché au Luxembourg:

*«Dieser stattliche Greifvogel, der heute zwar regelmäßig, aber selten, während des Frühjahrs- und Herbstdurchzugs bei uns festgestellt wird, soll im vorigen Jahrhundert bei uns gebrütet haben. Die einzigen Hinweise auf solche Brutvorkommen sind*

*die Angaben A. de la Fontaines (1865), die Art sei "an unseren großen Wasserläufen nicht selten" und sei "im Sommer, zur Zeit der Jungenaufzucht, fast täglich an der Mosel zu sehen". 1897 gibt derselbe Autor als Brutplätze die Felsen des Stromberg bei Schengen und die Wälder auf deutscher Seite bei Palzem/Trier an, wo er sogar in seinen Kinderjahren (wohl um 1835) der Aushorstung von zwei Jungadlern beigewohnt habe. Erstaunlich ist, daß sich in der deutschen Fachliteratur kein Hinweis auf Bruten des Fischadlers in der Moselgegend findet. Da also Beweise fehlen, kann man diesen Greifvogel keinesfalls als sicheren, sondern höchstens als möglichen, früheren Brutvogel einstufen.»* (Melchior & Weiss, 1989).

## Le Faucon pèlerin

En 1865, Alphonse de la Fontaine écrit dans sa *«Faune du Pays de Luxembourg»* au sujet du Faucon pèlerin (all.: *Wanderfalke*, lux.: *Spuervull*): *«Un petit nombre d'individus restent chez nous et errent dans les rochers escarpés, notamment ceux de Laroche (Luxembourg belge, note des auteurs), de Marienthal, de Manternach et de Machthum»*.

Méconnaissant complètement le rôle des Rapaces, il décrit le Faucon pèlerin comme *«un oiseau nuisible»* qui détruit beaucoup de gibier et qui ne se rabat qu'exceptionnellement sur les petits Mammifères. Il conclut *«que les services qu'il rend sont insignifiants comparés aux dégâts qu'il cause»*.

De tels préjugés expliquent l'ardeur avec laquelle les Rapaces étaient poursuivis.

Les derniers Faucons pèlerins du pays (trois couples) semblent avoir niché dans les parois rocheuses du Mullerthal, en 1962.



Fig. 188: Le Faucon pèlerin.

## Le Grand corbeau

Au sujet du Grand corbeau (*Kolkrabe*), l'«Atlas des Oiseaux nicheurs du Grand-Duché» nous livre les informations suivantes: «*Même sans preuves de nidification, il n'y a pas de doute que le Grand corbeau a niché encore régulièrement, mais en petit nombre au Luxembourg durant le siècle précédent. De la Fontaine et Ferrant citent des endroits précis et les indications laissent sous-entendre que nos Grands corbeaux nichaient aussi bien sur des arbres (Diekirch, vallée de la Syre) que dans les falaises (Pulvermühl, Marienthal, Machtum, Vianden, Berdorf, vallée supérieure de la Sûre, Kautenbach, Nommerlayen).*

*Le Grand corbeau a été signalé rarement après 1900, ce qui montre que les effectifs étaient déjà très réduits au début de notre siècle. Un dernier couple aurait subsisté jusque vers 1946 près de Diekirch.*

*Dans les années 60 et 70, il n'y a eu que 2 observations. Plusieurs observations en 1986 et 1987 sont probablement dues à la population nicheuse récente (10 à 12 couples) dans le sud-est de la Belgique (Province de Luxembourg).»*

«Im vorigen Jahrhundert hat, nach A. de la Fontaine, die Art in den Felsen von Pulvermühl, einem Vorort der Stadt Luxemburg, gebrütet, und zwar bis gegen 1850, dann bis gegen 1890 bei Marienthal, im Hochfels bei Machtum, oberhalb Vianden, im Syrtal, bei Berdorf, im oberen Sauertal und in den Nommerlayen bei Fels. Zwei weitere Brutplätze auf belgischem Boden, hart an der luxemburgischen Grenze, werden von Hosch (mündlich) angegeben, und zwar im "Köndel" bei Gaichel und im Klosterbusch bei Clairefontaine.

Für das gegenwärtige Jahrhundert erwähnt M. Sünner ein Exemplar, das 1915 von Herm Meder aus Consdorf daselbst in "Doesbach" bei Dosterhof (Kanton Echternach) an einem für Füchse eingerichteten Luderplatz gefangen wurde, und daß sich um dieselbe Zeit noch ein Paar im "Jungenbusch" unterhalb "Hungerhof", ebenfalls im Kanton Echternach, aufhielt.

Nach E. Kohn kam die Art noch im März 1916 bei Diekirch vor. Im Jahre 1922 soll, nach "Waldfreund", ein Paar in den "Nommerlayen" Junge gefüttert haben, was J. Morbach bei einer Nachprüfung als Irrtum bezeichnet. G. Witry teilte Unterzeichnetem mündlich mit, daß er im Jahre 1922 an einem Januarmorgen ein Exemplar bei Schloß Walferdingen (heutige Kaserne) gesehen hat, sowie im Februar 1932 oder 1933 einen Vogel an der damaligen Müllhalde der Stadt Luxemburg an der Arlonerstraße, wo sich heute das Stadion befindet.

Schließlich berichtete kürzlich J. Hein (Mersch) an V. Wassenich, daß sich noch bis gegen 1946 ein Paar im "Fridbusch" bei Diekirch behauptete. Er kenne den Kolkraben gut, versichert Hein, da er als Schuljunge (von 1910-1917) geholfen hat, Horste, die auf mächtigen Eichen standen, auszuheben.

Nach all diesen Angaben und Mitteilungen, die größtenteils in "Vögel der Heimat" von J. Morbach (Bd. I, p. 13 und Bd. III, p. 293) zitiert sind, muß der Kolkrabe wirklich in geringer Zahl bis Anfang dieses Jahrhunderts

im Lande gebrütet haben, wenngleich kein einziger Beleg dazu vorhanden ist. Nach letztgenanntem Bericht besteht sogar die Möglichkeit, daß ein einzelnes Paar sich noch bis nach dem zweiten Weltkrieg im "Fridbusch" bei Diekirch fortpflanzte. Von da ab liegen aber keinerlei Meldungen mehr über den Kolkraben vor. Auch ist weder ein Stopfpräparat, noch ein Ei oder ein Lichtbild aufzutreiben, die der Nachwelt bezeugen könnten, daß dem so war. Der letzte der Vögel, die sich im oberen Eischtal (Gaichel, Clairefontaine) aufhielten, wurde allerdings ausgestopft und "zierte" eine Zeitlang die Stube des "Scheferte Wöllem" in Eischen. Wo das Stopfpräparat hingekommen ist, ist unbekannt. Unbekannt ist ferner die Herkunft eines präparierten Männchens aus dem Jahre 1902, das sich im Staatsmuseum befindet.

Vier Felsen tragen den Namen "Rammlay", was darauf schließen läßt, daß sie früher vom Kolkraben, der den luxemburgischen Namen "Ramm" trägt, besiedelt waren. Sie befinden sich zwischen Bollendorf und Berdorf, zwischen Nommern und Meysemburg, im Dosteschbachtal bei Müllertal und nahe der früheren Kleinbahnstation Kalkesbach.

Dagegen könnte man annehmen, daß die Population, die unser Gebiet [le sud du pays, note des auteurs] bewohnte, auf Bäumen brütete, und zwar auf mächtigen Eichen, wie das für das Syrtal und den "Fridbusch" angegeben wird.»

(extrait de: Hulten, 1963)

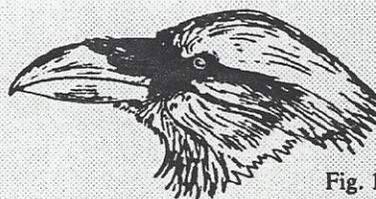


Fig. 189 : Tête du Grand corbeau.

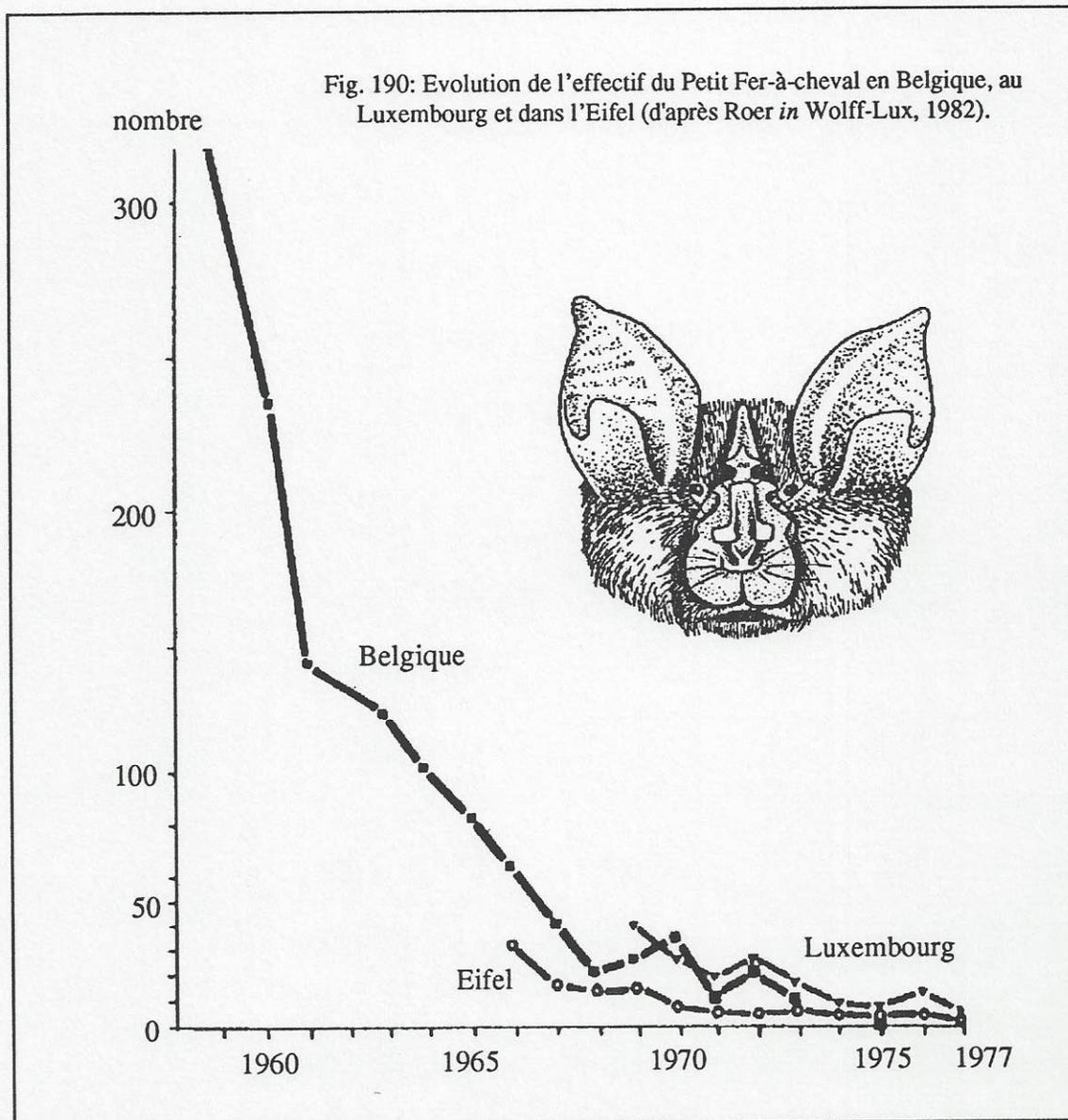
## Le cas des Chauves-souris

Il existe 15 espèces de Chauve-souris au Luxembourg. Seule la Pipistrelle commune (*Zwergfledermaus*) est encore assez fréquente. Certaines ont toujours été rares, les autres étaient assez communes dans le temps, mais actuellement leur effectif est en nette régression.

Ainsi, le Petit Fer-à-cheval (*Kleine Hufeisennase*), l'une de nos Chauves-souris les plus répandues, il y a quelques décennies, est actuellement en voie de disparition.

Les causes de cette régression sont multiples: action des insecticides (réduction de la quantité de nourriture, bioaccumulation), manque d'habitats convenables (creux d'arbres, vieux toits), dérangement par l'Homme.

Toutes les espèces de Chauves-souris sont protégées!

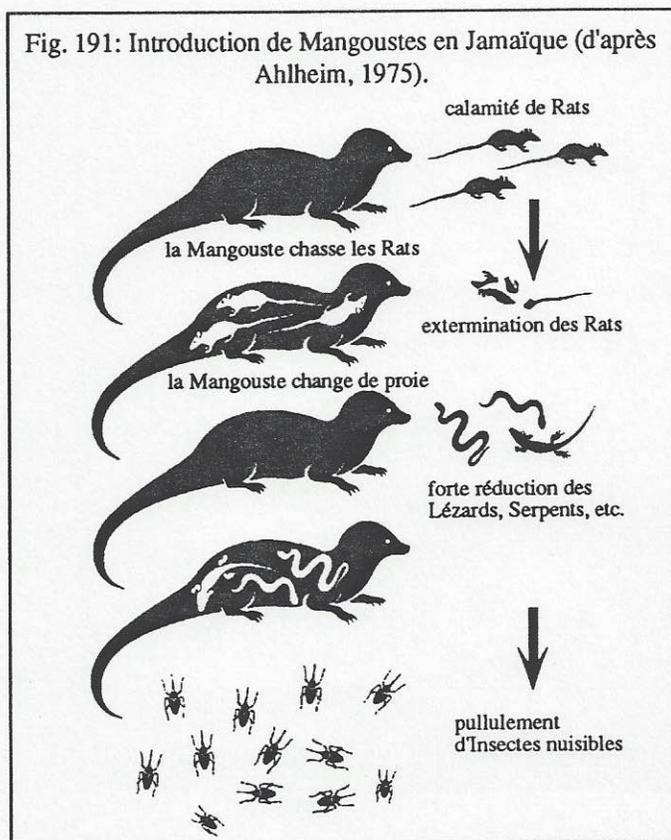


#### 4.2.2.4. Introduction d'espèces étrangères dans une biocénose

L'introduction volontaire ou accidentelle d'espèces étrangères dans une biocénose peut avoir des effets tout aussi désastreux que la disparition d'espèces autochtones.

L'exemple classique est fourni par l'introduction du *Lapin en Australie* en 1851. En l'absence de prédateurs naturels, le Lapin y a véritablement pullulé. En 1932, on en comptait 20 millions d'exemplaires qui constituaient une grave menace pour le milieu naturel et l'agriculture. Ce n'est que grâce à la myxomatose qu'on a réussi à en venir à bout.

En 1872, on a introduit en Jamaïque quelques exemplaires de *Mangoustes*, Carnivores originaires de l'Inde, afin qu'ils chassent les Rats amenés par les navires. Ces Rats faisaient, en effet, des ravages dans les plantations de Canne à sucre.



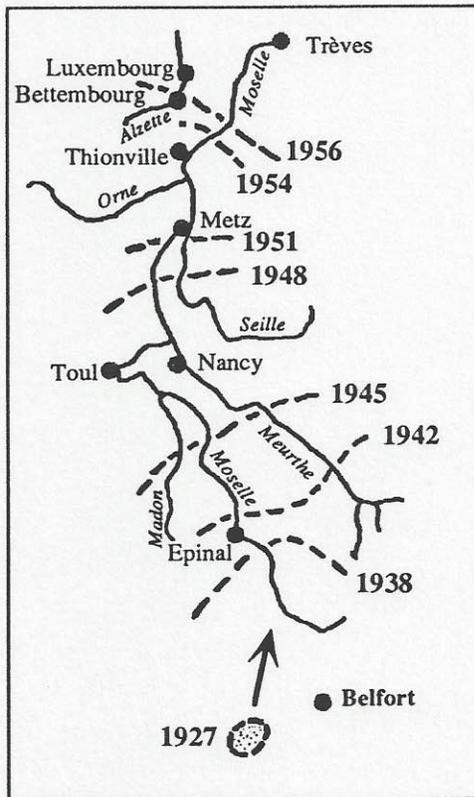
Trouvant parmi les Rats une nourriture abondante, les Mangoustes se sont rapidement multipliées. Au moment où leur nourriture principale se rarifiait, les Mangoustes ont changé de proie et se sont mis à décimer les Lézards, les Serpents, les Batraciens, les Oiseaux et les petits Mammifères de l'île.

Alors, les Insectes nuisibles, jusque-là tenus en échec par les animaux victimes des Mangoustes, ont pu se multiplier librement. Et vers 1890, les dommages causés par les Mangoustes l'emportaient déjà largement sur leur utilité.

#### Le cas du Rat musqué

Quelques couples de Rats musqués (*Ondatra zibethicus*, Bisamratte), Rongeurs originaires d'Amérique du Nord, ont été exposés en 1905 par le Prince Colloredo-Mannsfeld (un descendant du Comte de Mansfeld, gouverneur du Pays de Luxembourg pendant la période espagnole de notre histoire) dans sa propriété à Dobris (Dobrisch), près de Prague. Dix ans après, le Rat musqué, échappé de l'élevage, se trouvait à plus de 100 km de Dobris; la population était estimée à 2 millions d'individus. Le Rat musqué continuait à s'étendre à partir de l'Europe centrale; il a atteint l'Allemagne en 1917.

Au Luxembourg, les premiers Rats musqués ont été constatés en 1954. Ils constituaient une sorte d'avant-garde, l'invasion générale ne débutant qu'en 1956. La Moselle a servi de voie d'invasion à partir d'un foyer d'infection à rechercher dans un élevage établi en Alsace près de Belfort en 1927.



Le Rat musqué a été introduit en Europe comme animal à fourrure. Mais la fourrure ne présentait pas les mêmes qualités que celle des Rats musqués américains. L'élevage était donc voué à l'échec.

Le Rat musqué creuse un terrier dans les berges des cours d'eau, des canaux et des étangs et provoque d'importants dégâts se soldant par l'effondrement des berges et des digues.

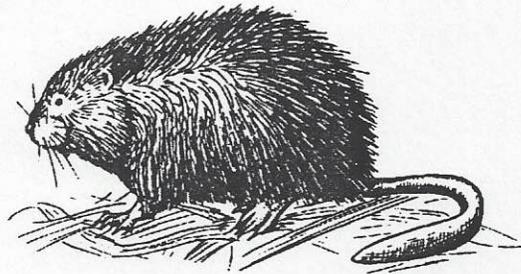


Fig. 192: Le Rat musqué (*Ondatra zibethicus*) à l'assaut du Luxembourg (carte schématique dessinée d'après les données de Heurtz, 1957 et Dubost, 1962).

## Le cas du Mouflon

Le Mouflon est une espèce méditerranéenne qui à l'heure actuelle vit à l'état sauvage uniquement en Corse et en Sardaigne. Les populations de Mouflons vivant dans d'autres régions de l'Europe et du monde résultent de l'introduction de ce ruminant par l'Homme.

Ainsi, dès le 18<sup>e</sup> siècle des Mouflons ont été introduits en Autriche. En Bohême, le premier enclos hébergeant des Mouflons a été installé vers le milieu du 19<sup>e</sup> siècle. En 1868, le Mouflon a été introduit en Slovaquie. En Allemagne, les premiers Mouflons ont été lâchés en 1902. En France, l'élevage des Mouflons se fait depuis 1948.

Le Mouflon a été introduit dans la région de l'Eifel au cours des premières décennies de notre siècle. Il y a quelques années, 15 mouflons ont été illégalement lâchés dans le parc naturel de l'Eifel du Sud.



Fig. 193: Le Mouflon (*Ovis ammon musimon*)

La première introduction de Mouflons au Luxembourg remonte à l'année 1905. Originaires d'un enclos de la région de Wiesbaden, ils ont été introduits dans l'enclos de la Cour Grand-Ducale situé à proximité de la capitale, dans le Grunewald, et où se tenaient déjà des sangliers et des cerfs. Ces animaux sont restés strictement enfermés.

Un deuxième lot de Mouflons est entré au Luxembourg en 1921. Il a été, lui aussi, introduit dans l'enclos grand-ducal. En 1953, la majeure partie des mouflons grands-ducaux ont été vendus, mais en même temps on a importé quelques mouflons de l'enclos du Duc de Bavière qui ont été lâchés à leur tour dans l'enclos grand-ducal.

Plus tard, des mouflons ont été tenus en captivité dans le parc à gibier de Hosingen. Enfin, quelques mouflons se sont échappés d'un enclos privé situé près de Heffingen.

Le 13 janvier 1969, 8 mouflons (4 mâles et 4 femelles) provenant de l'enclos grand-ducal sont lâchés dans un enclos d'acclimatation installé dans la réserve cynégétique que l'Etat luxembourgeois possède au nord du lac de barrage de la Haute-Sûre, près de Kaundorf (lieu-dit "Heischerbaach"). En mars 1969, les brebis mettent bas deux agneaux, en 1970 la mise bas fournit quatre agneaux. L'enclos héberge donc à ce moment-là 14 bêtes.

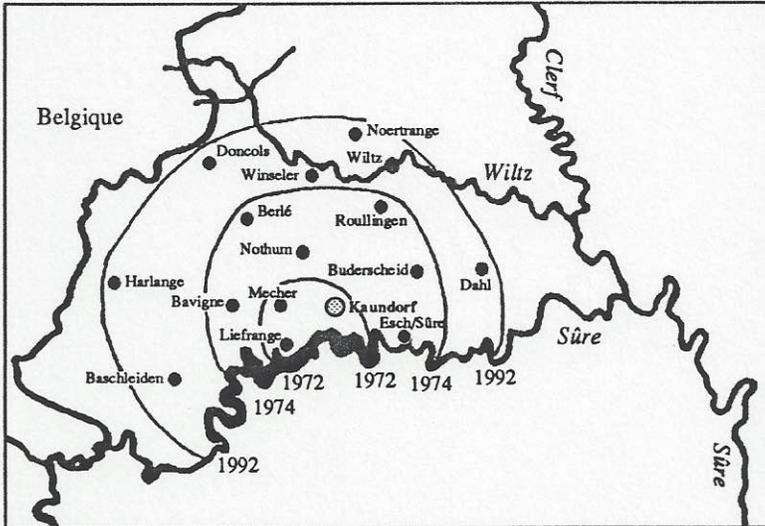


Fig. 194: Esquisse de l'extension progressive du Mouflon dans la région de la Haute-Sûre après son lâcher près de Kaundorf en 1970 (d'après Massard & Kintziger, 1992).

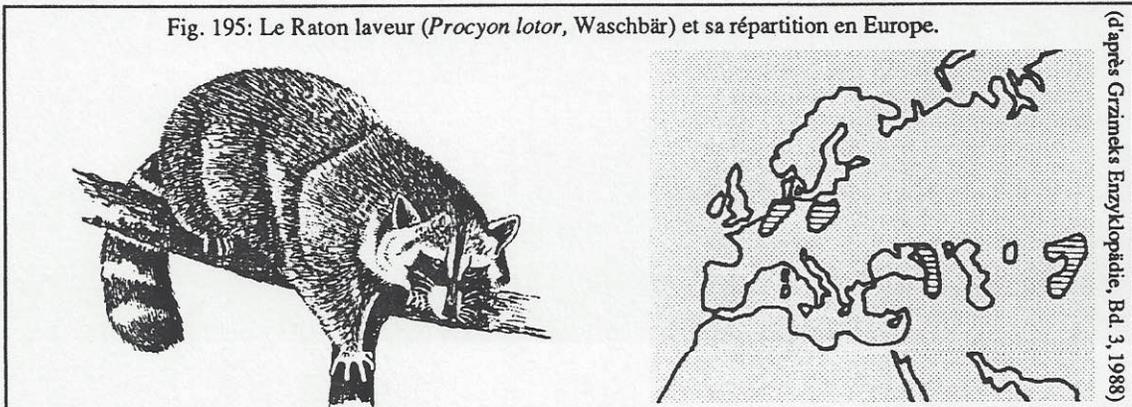
Au mois de mai 1970, l'enclos est ouvert, et les mouflons sont lâchés dans la nature. En 1991, la population de mouflons au nord du lac de la Haute-Sûre comprenait approximativement 100 à 120 têtes qui se sont réparties sur une aire de plus de 9.000 ha comprenant 21 lots de chasse. La densité des mouflons a été la plus forte dans la région de Bavigne, Mecher, Kaundorf.

A côté de la région du nord du lac de la Haute-Sûre, des mouflons libres vivaient à ce moment-là (1991) dans la région de Hosingen et dans celle de Christnach-Heffingen.

### Des Ratons laveurs dans l'Oesling

Quelques Ratons laveurs, Carnivores d'origine nord-américaine, se sont échappés en 1929 et en 1930 d'un élevage près d'Ahrdorf dans l'Eifel. Ils ont été à l'origine d'une petite population qui s'est éteinte après la 2<sup>e</sup> guerre mondiale. Nos Ratons laveurs proviennent sans doute d'animaux échappés (en 1927) respectivement lâchés (en 1930) en Hesse. Les premiers exemplaires luxembourgeois auraient été vus en 1966 déjà. L'installation définitive de l'espèce remonte aux alentours de 1977 et a eu lieu dans l'Oesling: le 19 novembre 1977 un premier Raton laveur a été pris par un chien de chasse à Kautenbach. Considéré comme un redoutable prédateur du petit gibier et ayant une renommée de pilleur de nids d'oiseaux, le Raton laveur a été déclaré animal malfaisant et nuisible par le règlement grand-ducal du 21 janvier 1980. Il n'a pas été éliminé pour autant. Ainsi, nous lisons qu'en 1989 un exemplaire a été piégé et un deuxième écrasé par une voiture dans la région de Munshausen (*Regulus* 1/90). On estime à plus de 100.000 le nombre des Ratons laveurs vivant actuellement en Europe.

Fig. 195: Le Raton laveur (*Procyon lotor*, Waschbär) et sa répartition en Europe.



(d'après Grzimek's Enzyklopädie, Bd. 3, 1988)

## L'expansion du Doryphore

Le Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*, Kartoffelkäfer, Colorado beetle) est un Insecte d'origine américaine qui primitivement était cantonné dans les Montagnes Rocheuses où il se nourrissait d'une Solanacée sauvage. Lorsque la culture de la Pomme de terre, progressant le long des côtes américaines, arrive au pied des Montagnes Rocheuses, le Doryphore change de nourriture et commence une marche inverse à celle de la Pomme de terre.

En 1876, il a atteint le rivage atlantique américain. La même année, il franchit une première fois l'océan. On le trouve dans un hangar à Brême. En 1877, il apparaît aux environs de Mühlheim/Ruhr et ravage deux champs de pommes de terre. On réussit cependant à l'exterminer.

La grande offensive en Europe a commencé vers 1920. Accidentellement apporté par des navires américains, il s'implante à Bordeaux et se met à envahir la France. En Lorraine, il apparaît dès 1935. La même année, il passe la frontière belge; il est signalé en Allemagne et aux Pays-Bas dès 1936. Il est noté en Suisse dès 1937, en Italie dès 1941. En 1970, le Doryphore pénètre en Turquie à partir de la Grèce.

Au Luxembourg, les premiers foyers de Doryphore ont été découverts en 1936, notamment à Steinsel, Limpertsberg, Mamer et Neuhäuschen.

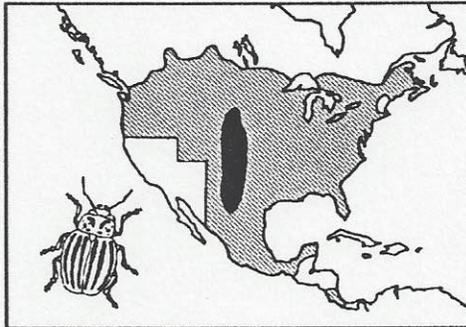


Fig. 197: Répartition du Doryphore en Amérique du Nord et en Amérique Centrale.

La plage noire correspond à l'aire d'origine, la partie tramée à l'extension du coléoptère en 1962 (d'après Cox & Moore, 1987).

Fig. 196: Avertissement paru dans le numéro de mars 1936 du périodique «Der Obstbaufreund, Organ des Landes-Obstbauvereins Luxemburg».

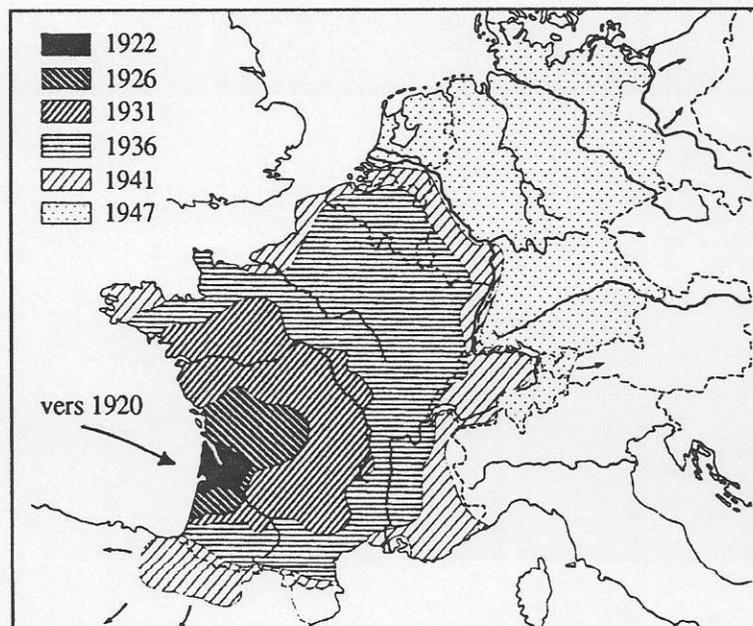


Fig. 198: Invasion de l'Europe par le Doryphore.

### Wovon der Bauer spricht.

Beim Pflanzen der Kartoffeln ist in den letzten Wochen wohl unzählige Male der Kartoffelkäfer erwähnt worden. «Wird er in diesem Jahre auch bei uns auftreten? Soll er vielleicht auch das Feld, das wir jetzt bestellen, im kommenden Sommer befallen?» Solche und ähnliche Erwägungen wurden beim Kartoffelpflanzen angestellt. Dabei haben vielleicht unverbesserliche Optimisten jede Gefahr geleugnet oder der Frage mit einem geringschätzigen Achselzucken jede Bedeutung abgesprochen. «Im vergangenen Jahre,» so sagte vielleicht dieser oder jener, «wurde so viel Lärm um den Kartoffelkäfer gemacht und doch trat er nur an einigen Stellen im Lande auf, wo dann der Bekämpfungsdienst bald mit ihm fertig war. Viel Schaden hat er nirgends anrichten können; also ist die ganze Sache nicht so wichtig.»

Es wäre nur zu wünschen, daß die Angelegenheit so leicht genommen werden könnte. Leider ist dem nicht so. Im vergangenen Jahre hatten wir es mit der

ersten Invasion zu tun, die naturgemäß noch nicht sehr bedeutend sein konnte. Denn in Anbetracht der Entfernung des bisherigen Ausbreitungsgebietes des Käfers konnte noch nicht mit ganzen Schwärmen bei uns gerechnet werden. Dennoch war der Befall z.B. im Limpertsberg, Mamer und Neuhäuschen für einen Anfang schon sehr bedeutend. Des weitern darf nicht vergessen werden, daß im vergangenen Jahre die Witterung der weiteren Vermehrung (Fortpflanzung) wie auch der natürlichen Verbreitung (Fortbewegung) durchaus nicht günstig war. Es kann also gewissermaßen als selbstverständlich bezeichnet werden, daß im letzten Jahre die Schäden noch gering waren und der Bekämpfungsdienst verhältnismäßig leicht Herr der Lage blieb.

Wer aber möchte die Garantie dafür übernehmen, daß wir dieses Jahr wieder so leichten Kaufes davonkommen? (...)

*Obermosel-Zeitung 1937 (20. Mai), Nr. 115, Beilage.*

### Amtliche Mitteilungen. Kartoffelkäfer.

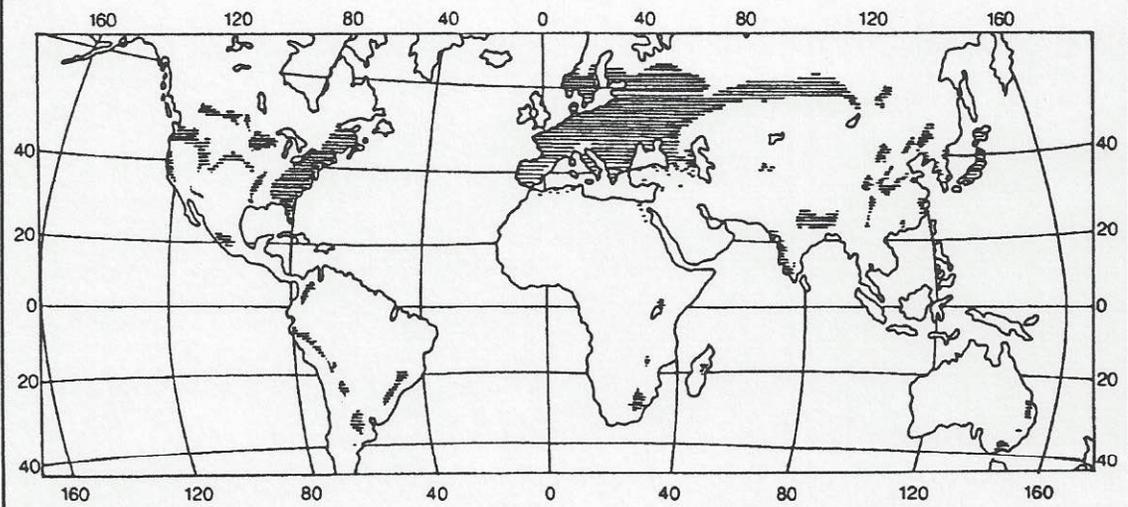
Ein Kartoffelkäferherd ist bei Eischen entdeckt worden. Die große Zahl der gefundenen Larven beweist, daß der Schädling dort schon längere Zeit am Werke war, ohne bemerkt zu werden. Es besteht dringender Verdacht, daß weitere unbekannte Herde im Lande vorhanden sind, weshalb alle Landwirte und Gartenbesitzer erneut aufgefordert werden, ihre Kartoffelkulturen sofort einer genauen Durchsicht zu unterziehen. An den ca 15 mm

langen roten Larven, die an den Längsseiten schwarze Punkte aufweisen, ist der Schädling im jetzigen Augenblick leicht zu erkennen. Man melde jeden Fund sofort den Gemeindebehörden. (...)

(Mitgeteilt von der Kommission für Förderung des Feldbaues)

*Obermosel-Zeitung 1937 (10. Juli), No 158: 4.*

Fig. 199: Aire de culture de la Pomme de terre (hachurée): aire de répartition potentielle du Doryphore. (d'après Schmeil & Seybold, 1958)



## L'introduction du Crabe chinois *Eriocheir sinensis* en Europe

Le 26 septembre 1912, en Allemagne, un pêcheur relève un Crabe dans une nasse déposée dans l'Aller, affluent du Weser, à une centaine de kilomètres de la mer.

Ce Crabe était inconnu dans la région et dans les environs. Il fallut se reporter sur les côtes de Chine et de Corée pour retrouver une espèce identique, qui elle aussi remonte les cours d'eau douce, à l'intérieur des terres. Il s'agissait du Crabe chinois *Eriocheir sinensis* (*Wollhandkrabbe*).

En 1918, on le retrouve dans le cours inférieur de l'Elbe, mais il faut attendre 1923 pour enregistrer une invasion massive: Il progresse vers le nord, avec une certaine rapidité; vers le sud, sa marche est plus lente, mais non moins efficace. Il atteint les côtes du Danemark et l'embouchure de l'Oder en cinq années (1923-1928). En 1933, il est en Suède et en Finlande.

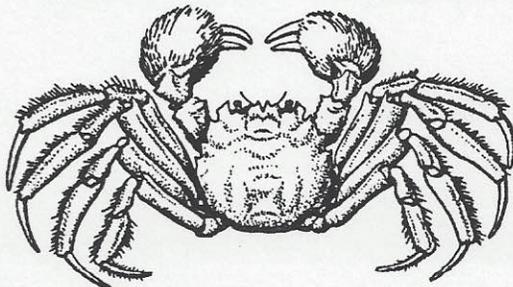
Du sud-ouest, il descend vers la Hollande et la Belgique, où on le trouve dans l'Escaut, à Anvers. En 1936, on le signale dans le Boulonnais, et en 1937, en Flandre française. La Somme est atteinte en 1942, la Seine en 1943, et on signale sa présence en basse Loire et en Gironde en 1954.

Cette invasion du Crabe chinois ne s'arrête pas aux côtes. De même qu'en Chine on en avait signalé la présence très loin dans les terres, en France, en Belgique, en Allemagne, on le signale très avant dans les cours d'eau douce.

En 1933, on le capture à Prague, dans le Moldau, à 800 kilomètres de la mer; en Belgique, il pénètre dans la Meuse jusqu'à 300 kilomètres.

Cette invasion n'est nullement le fait d'individus isolés, mais, au contraire, c'est une «armée immense» qui s'avance: En 1928, sur le marché de Hambourg, on vend 462 kg de ce Crustacé, en novembre 1929, un seul pêcheur prend à lui seul 1.000 kg; en 1930, les pêcheurs du bas Elbe en capturent 2.000 kg; en 1931, c'est 125.000 kg qui sont pris pour l'ensemble de l'Elbe et 500.000 kg en 1935. En Belgique, dans un étang situé près de l'embouchure de l'Escaut, on a capturé 24.685 Crabes en 1943. (Extrait de: Blot, 1959).

Fig. 201: Crabe chinois *Eriocheir sinensis*



dimensions de la carapace jusqu'à 9 cm sur 7,5 cm

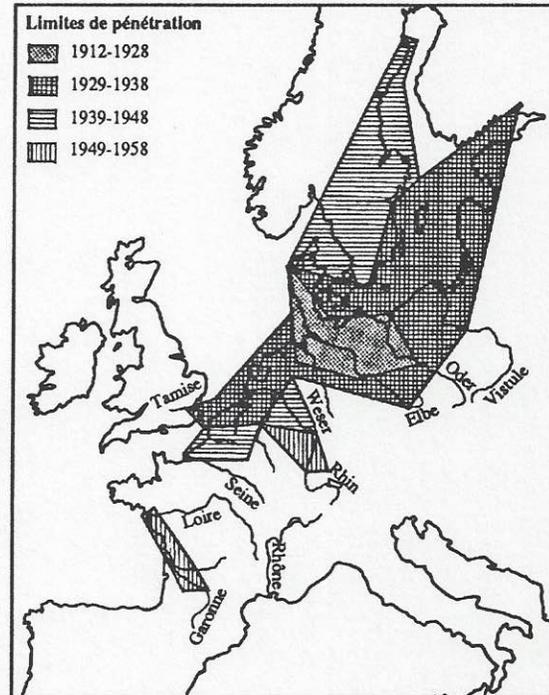


Fig. 200: Extension du Crabe chinois en Europe entre 1912 et 1958 (d'après Dorst, 1978).

*Du fait de son extrême proliféricité, ce Crabe s'est montré très nuisible en modifiant les habitats aquatiques (destruction des plantes submergées), en entrant en compétition avec certains poissons (concurrence alimentaire), en minant les berges et les digues et provoquant des éboulements (éminemment fousseurs, ces Crabes creusent des terriers et des galeries atteignant 80 cm de profondeur et 12 cm de diamètre; on en a compté jusqu'à 30 au m<sup>3</sup>) et gênant la pêche (ils endommagent les filets et obturent les nasses). Aucun moyen de contrôle n'a encore donné des résultats satisfaisants, en dépit de captures massives réalisées grâce à des barrages et à des fosses lors de ses migrations: sur une rivière près de Berlin 2,5 millions d'individus furent recueillis en 5 mois; près de Magdebourg, 355 tonnes furent collectées en 1932 dans l'Elbe. Cette destruction s'est montrée inopérante et aucun moyen n'a encore été découvert pour endiguer son extension. Ce Crabe aura donc contribué à détruire l'équilibre naturel des eaux douces d'Europe tout en causant de graves préjudices à l'homme.*

(extrait de Dorst, 1978)

**Il a été affirmé qu'au Luxembourg le Crabe chinois est assez fréquent dans la Moselle, un exemplaire ayant même été trouvé dans l'un des étangs de gravière de la région de Remerschen (Meisch, 1978).**

#### 4.2.2.5. La monoculture

La monoculture, c.-à-d. la culture d'une seule et unique espèce végétale durant une longue période sur le même sol, est pratiquée en agriculture et en sylviculture afin de rendre moins onéreuse l'exploitation et d'augmenter la rentabilité.

Cette méthode présente cependant de graves inconvénients écologiques qui à long terme rendent souvent illusoire les bénéfices escomptés:

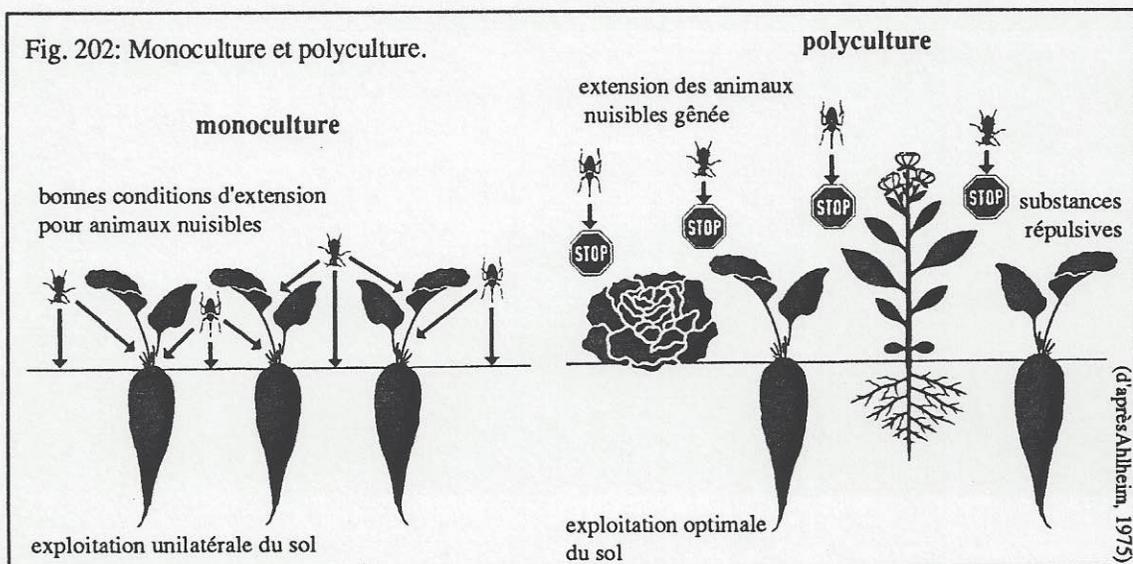
- appauvrissement du sol;
- ruissellement accru de l'eau de pluie;
- érosion du sol;
- extension massive des animaux et des végétaux nuisibles (propagation facile des parasites, manque d'ennemis naturels), avec comme corollaire la nécessité de l'usage massif de pesticides.

L'équilibre biologique peut ainsi être profondément perturbé.

En sylviculture, la monoculture des Epicéas crée des conditions écologiques tout à fait anormales:

- absence des strates herbacées et arbustives (par manque de lumière);
- podzolisation du sol;
- calamités dues au pullulement d'insectes nuisibles (ex. Typographe, Nonne, Bombyx du Pin, etc.);
- pratique de la coupe rase (*Kahlschlag*) qui nuit aux organismes du sol (insolation, dessiccation) et favorise l'érosion par le vent et la pluie (notamment sur les pentes).

Dans l'agriculture et dans l'horticulture, la monoculture présente des désavantages analogues. Du point de vue écologique, il faudrait favoriser la *polyculture* ou *culture mixte* qui, contrairement à la monoculture, offre de nombreuses niches écologiques et se rapproche davantage d'une biocénose naturelle. La polyculture permet en plus de tirer profit des substances répulsives («repellents») que fabriquent certaines plantes. Ainsi, dans une culture mixte de tomates et de choux, une substance répulsive dégagée par la Tomate empêche l'attaque du Chou par les chenilles de la Piéride du Chou (*Kohlweißling*).







---

### 4.3.

# Généralités sur les écosystèmes

---

### 4.3.1. Les conditions climatiques dans les écosystèmes

Les conditions climatiques à l'intérieur d'un écosystème peuvent différer de façon notable de celles du *climat général* ou *macroclimat* de la région.

Le biotope respectivement l'écosystème est caractérisé par l'*écoclimat*. L'écoclimat d'une prairie diffère nettement de l'écoclimat de la forêt voisine, où il fait plus frais et plus sombre, et où le vent est moins fort, l'humidité de l'air plus élevée.

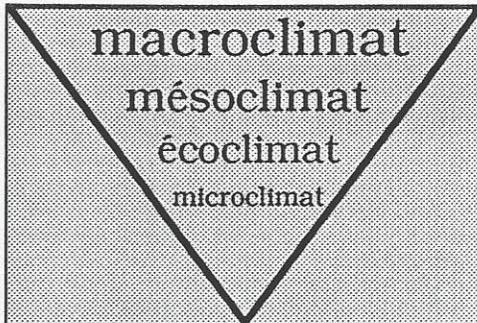


Fig. 203: Hiérarchie des climats.

Les écoclimats des différents écosystèmes d'un lieu en déterminent le *climat local* ou *mésoclimat*.

Dans l'écosystème lui-même, les conditions climatiques peuvent varier à leur tour. Il y a formation de différents *microclimats*.

Ainsi, l'Insecte vivant parmi les Mousses d'une forêt s'y trouve dans des conditions de température, de lumière, d'humidité, etc. tout à fait différentes de celles d'un Insecte

vivant dans le sol ou dans les couronnes des arbres, voire sous l'écorce d'un tronc mort.

#### Les gorges du Grès de Luxembourg: un microclimat particulièrement intéressant

En 1823, les botanistes belges Barthélémy-Charles DUMORTIER (1797-1877) et P. MICHEL ont découvert dans les gorges du Grès de Luxembourg, dans la région de Berdorf-Beaufort, une Fougère dont le nom scientifique est *Hymenophyllum tunbrigense* (Englischer Hautfarn). C'était une vraie sensation botanique! En effet, la plante y était très loin de ses stations habituelles qui sont situées sur la côte atlantique, et encore, elles y sont rares!

La présence de l'Hyménophylle s'explique par les conditions climatiques très particulières des gorges qui se distinguent nettement de celles qui règnent dans la hêtraie environnante: humidité de l'air élevée, température assez constante, fraîche en été, douce en hiver. Ces conditions caractérisent le climat atlantique, alors que le climat général de notre pays est de type subatlantique.

L'Hyménophylle ne supporte pas l'ensoleillement direct, ni les vents desséchants, ni les gels persistants qui lui sont néfastes.

On le trouve aujourd'hui dans la région de Berdorf. On l'a également découvert en 1963 dans la région de Bollendorf, du côté allemand de la Sûre, où il ne semble pas avoir supporté l'été chaud



Fig. 204: Dessin de *Hymenophyllum tunbrigense* publié par Edm.-J. Klein en 1916.

de 1976. Autrefois présent dans la «Suisse saxonne», dans une station comparable à celle de Berdorf, l'Hyménophylle semble y avoir disparu entre-temps, à la suite d'un déboisement qui a modifié le microclimat des gorges. Une station située à 650 m d'altitude a été citée dans les Vosges. Il n'y a pas d'autres endroits en Europe moyenne où l'on peut trouver l'Hyménophylle. Au Luxembourg, il est sous protection depuis 1965; en plus, depuis 1991 un grillage interdit l'accès du «Zigzagschlöff», l'une de nos plus importantes stations d'Hyménophylle.

D'autres trouvailles exceptionnelles ont été faites dans les gorges: une Hépatique (Lebermoos), *Cololejeunia microscopica*, seule station connue sur le continent européen; une Mousse, *Heterocladium wulfsbergii*, découverte en 1947 et connue jusqu'alors seulement par une station près de Bergen en Norvège et une autre dans le Nord du Pays de Galles. La faune présente également des particularités, comme par exemple la présence du Collembole *Sminthurinus concolor*, une espèce à répartition arctique et atlantique découverte en 1965 dans les gorges du Grès de Luxembourg par Norbert Stomp. A l'époque, c'était la seule station connue de cette espèce en Europe continentale!

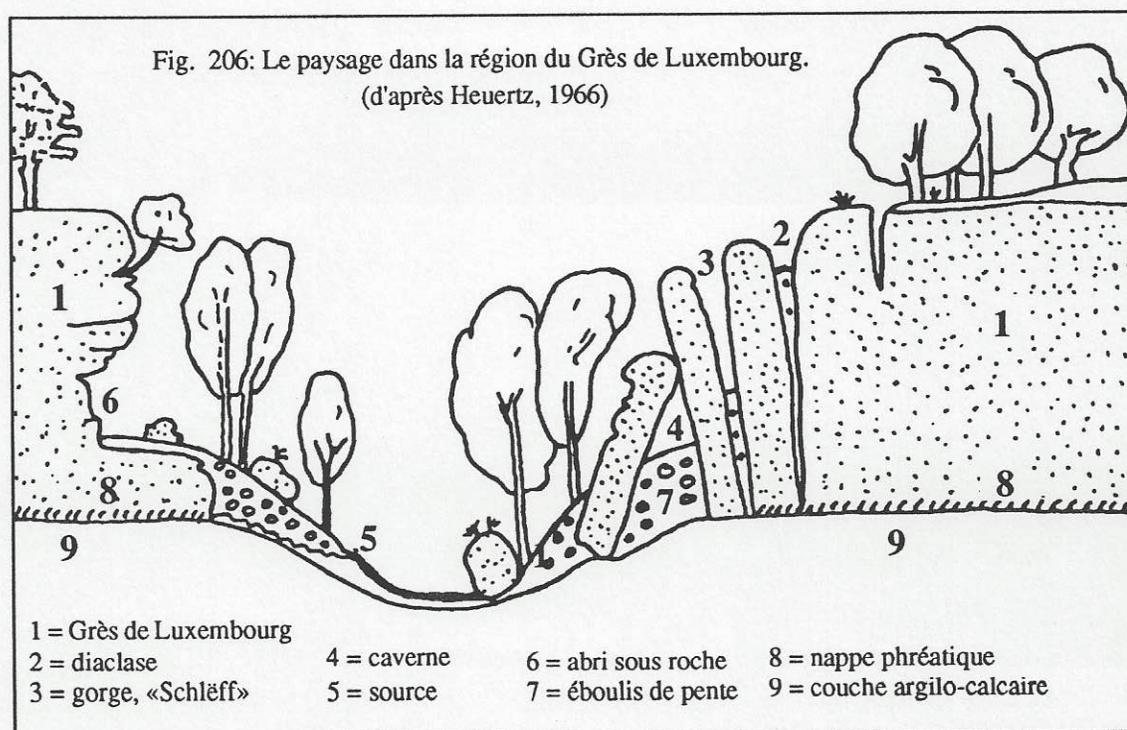
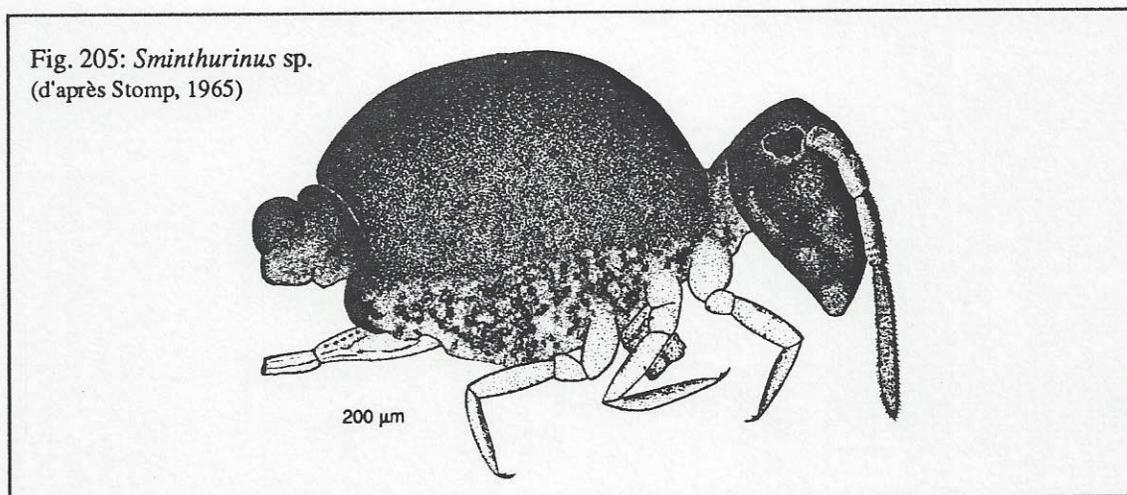


Fig. 207: Précipitations annuelles moyennes au Grand-Duché de Luxembourg de 1909 à 1967.  
(d'après Melchior et al., 1987)

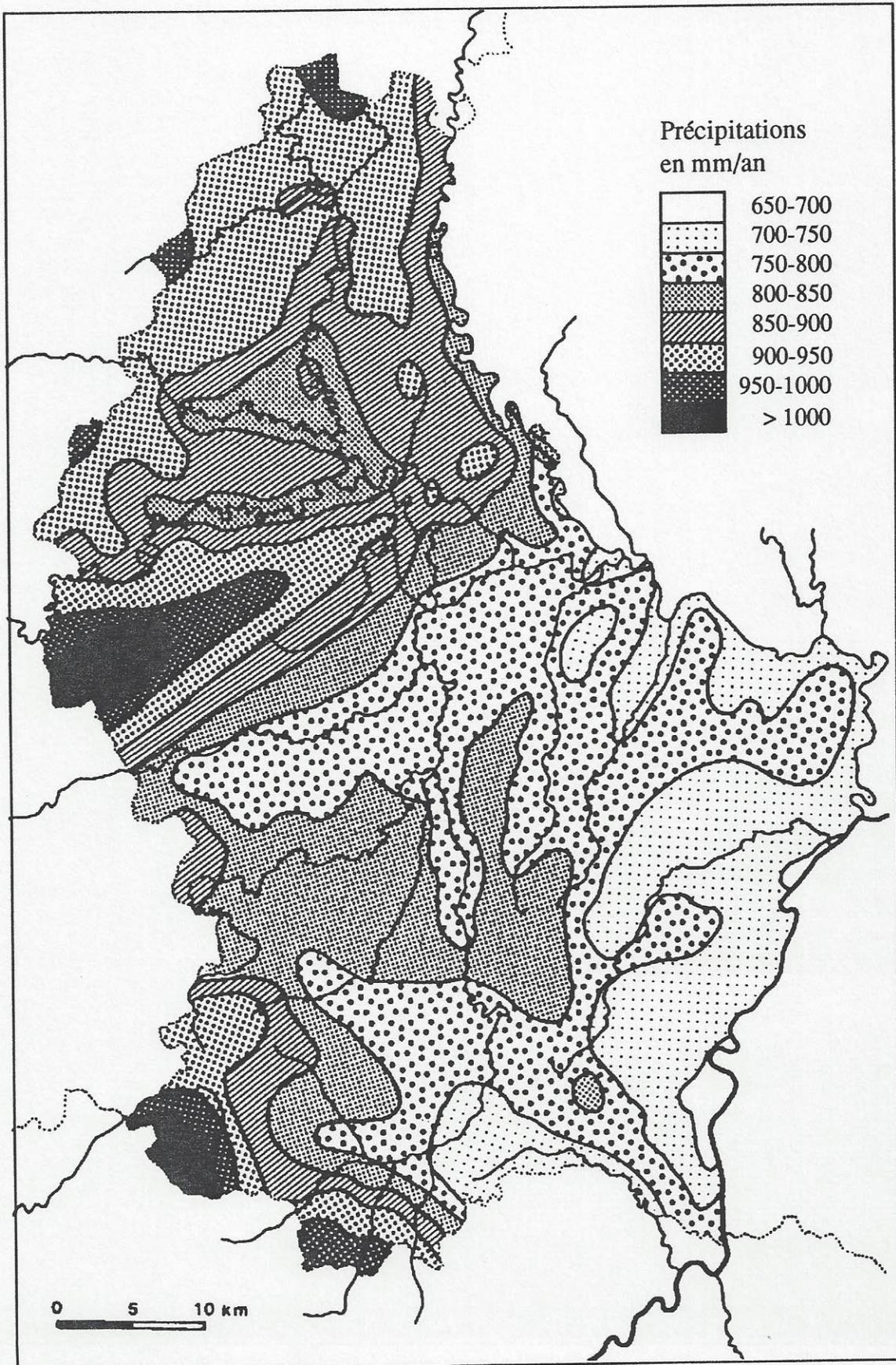
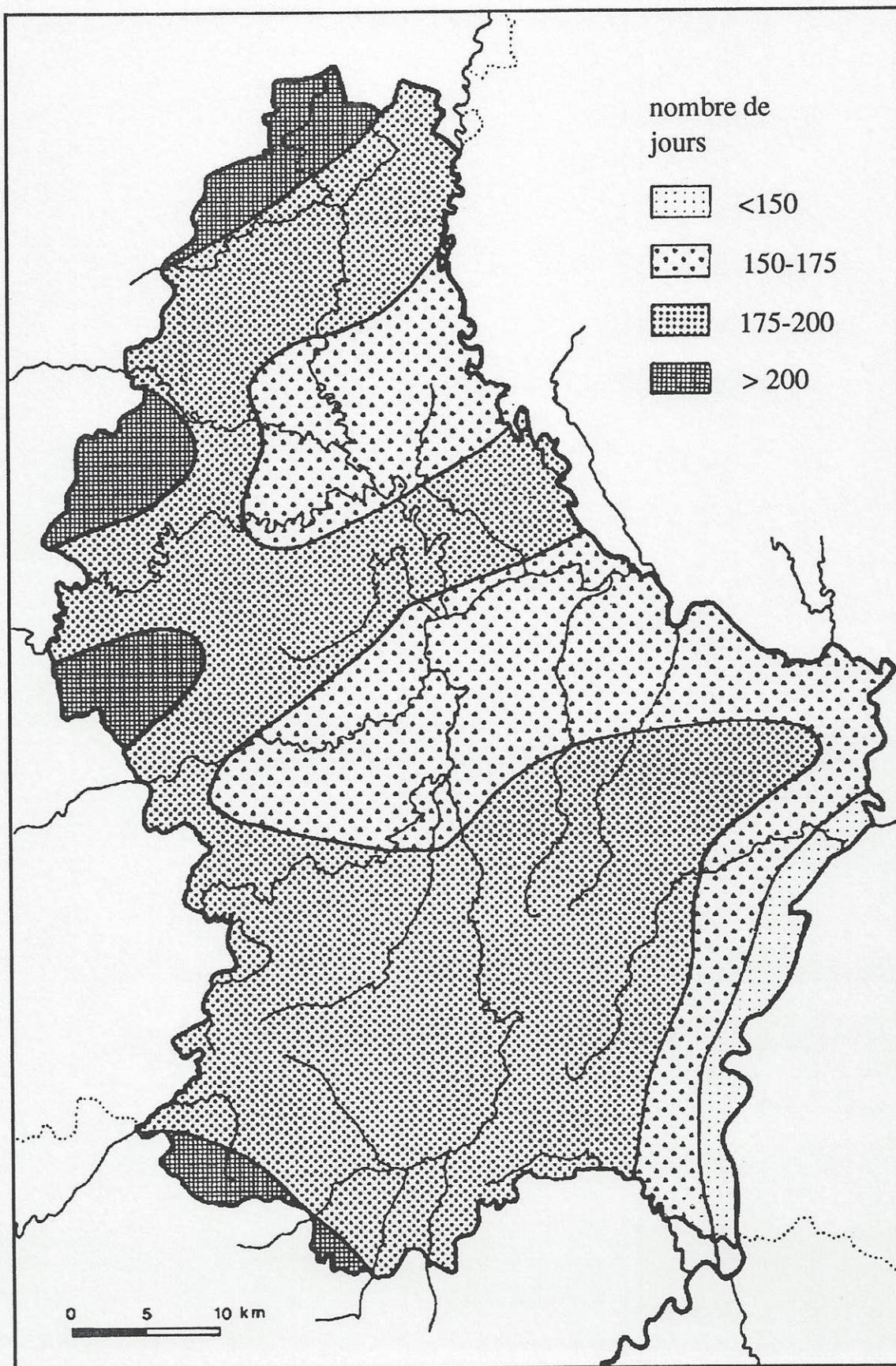


Fig. 208: Nombre moyen de jours de précipitations pour les années 1949 à 1968.  
(d'après Wagner-Schaber, 1987)



### 4.3.2. L'évolution des écosystèmes

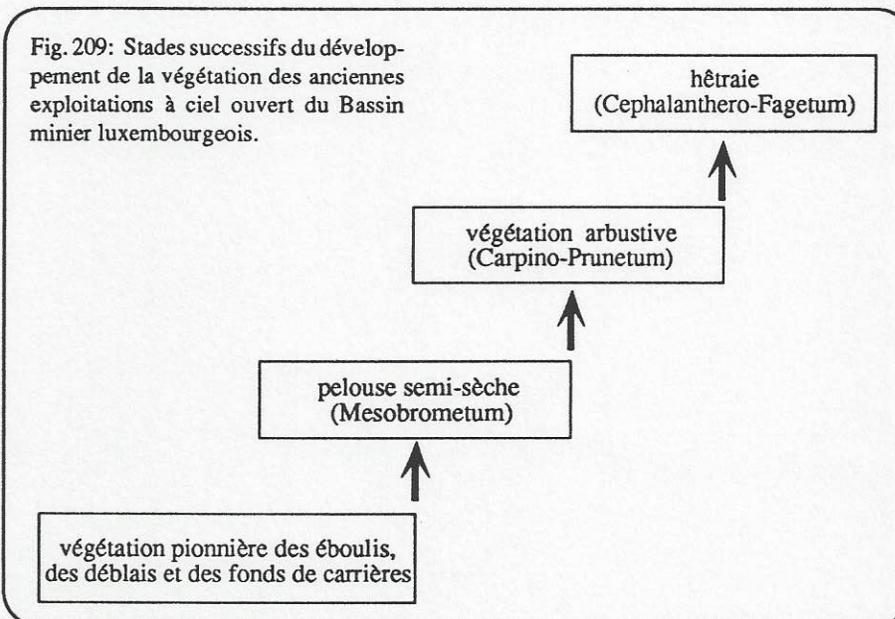
Un champ abandonné sera peu à peu envahi par la pelouse, puis des arbustes s'installeront, des arbrisseaux apparaîtront et finalement une forêt se développera.

A chaque stade de cette évolution progressive correspond un écosystème bien déterminé. Le stade final est appelé: le *climax* (gr.: *klimax* = point culminant). Sous nos conditions climatiques, le stade final est toujours une forêt feuillue, généralement une hêtraie.

Au cours de cette évolution, les phénomènes suivants sont notés:

- *Le nombre des espèces augmente.* Au début, il y a peu d'espèces, mais de nombreux individus; puis, le nombre des espèces s'accroît, alors que celui des individus diminue.

Fig. 209: Stades successifs du développement de la végétation des anciennes exploitations à ciel ouvert du Bassin minier luxembourgeois.



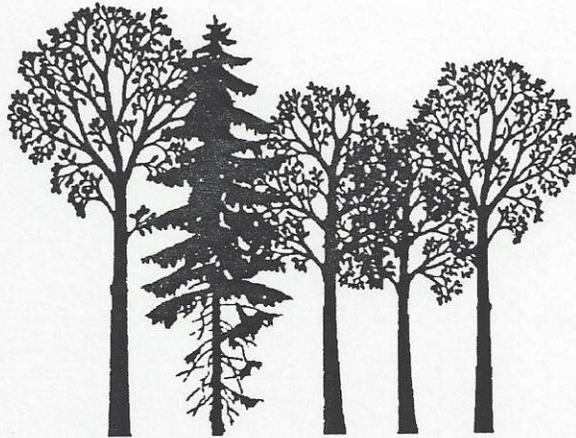
- *La biomasse augmente.* Celle d'une prairie est de 4 tonnes, et celle d'une forêt de 400 t par hectare.

- *Les espèces à croissance rapide et à taux de reproduction élevé (ex.: Graminées) sont remplacées par des*

*espèces à croissance lente, à taux de reproduction faible et à grande longévité (ex.: Chêne: 700 ans, Hêtre: 250 ans).*

- *Les niches écologiques se diversifient.*
- *Les réseaux alimentaires deviennent de plus en plus complexes.*
- *La productivité (primaire et secondaire) augmente rapidement aux premiers stades, puis se stabilise au stade climatique où la productivité nette peut même diminuer, la croissance des vieux arbres étant nulle ou très faible.*

Le climax correspond à la biocénose optimale sous des conditions écologiques données. Si ces conditions changent, un autre type de biocénose climatique s'installera. Cette évolution, essentiellement liée aux changements climatiques millénaires, n'est pratiquement pas apparente. Néanmoins, l'étude de l'évolution de la végétation à partir de la fin de l'époque glaciaire nous montre bien que plusieurs climax se sont succédés dans nos régions (voir: p. 163ss).



---

---

## 4.4. L'écosystème forêt

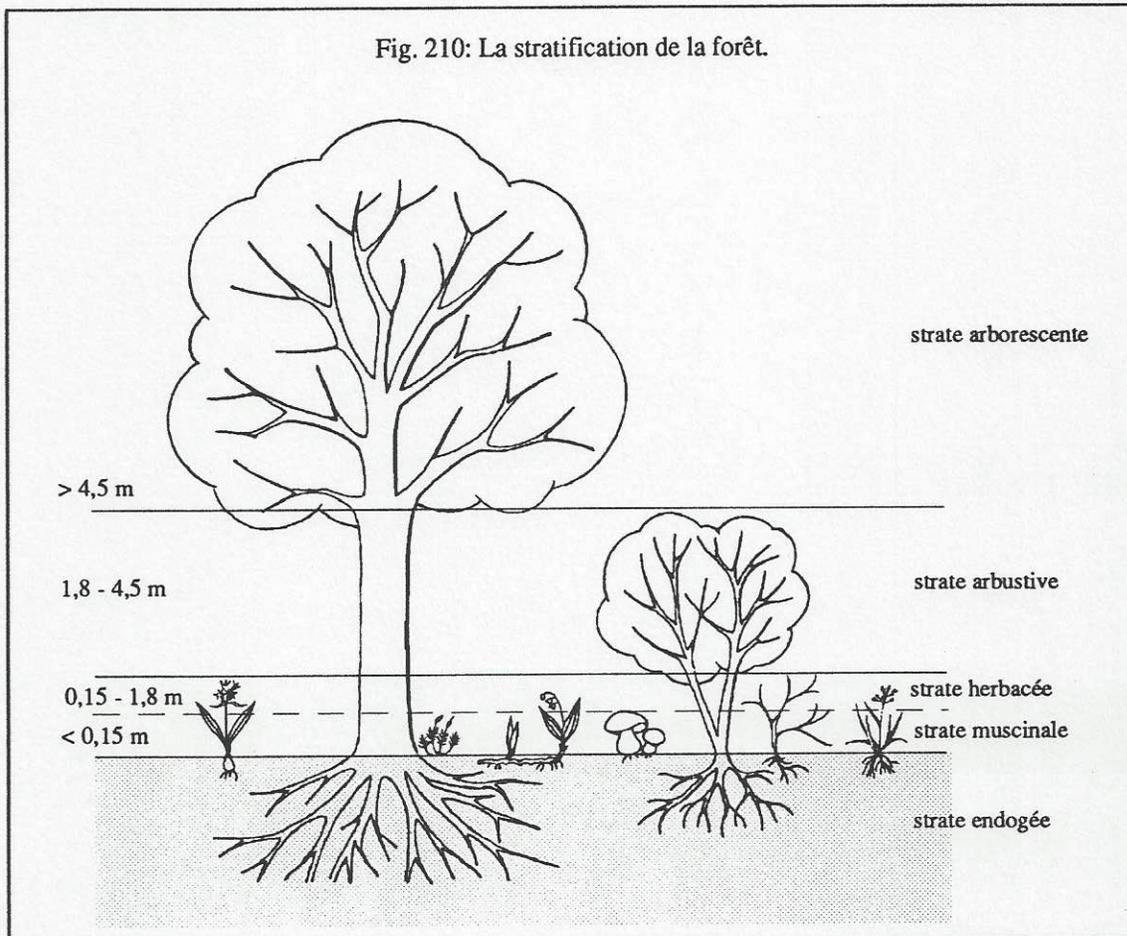
---

---

### 4.4.1. La stratification de la forêt

La forêt montre une organisation verticale facilement reconnaissable chez les végétaux. On distingue plusieurs niveaux ou *strates*:

- la *strate arborescente* (arbres);
- la *strate arbustive* (arbrisseaux, arbustes et sous-arbrisseaux);
- la *strate herbacée* (plantes herbacées);
- la *strate muscinale*, au ras du sol (Mousses, Lichens, fructifications des Champignons);
- la *strate endogée*, dans le sol (Bactéries, Champignons, racines).



La stratification des végétaux est le résultat de la compétition pour la lumière. Il s'agit pour chaque plante d'atteindre les zones où la luminosité présente les conditions optimales pour la photosynthèse.

Dans le sol, les racines des plantes exploitent des profondeurs différentes.

A cette stratification des végétaux se superpose une organisation verticale de la distribution des animaux, moins fixe cependant, à cause de leur mobilité.

La stratification qui est donc à la fois aérienne et souterraine aboutit à la formation de *niches écologiques* très nombreuses et très variées. Il en résulte une grande richesse en espèces végétales et animales.

Cette richesse en espèces va de pair avec une exubérance du nombre des individus par espèce. Les individus sont particulièrement nombreux dans la flore et la faune du sol (litière, humus).

Tab. 6: Nombre d'espèces végétales et animales dans une hêtraie.

Végétaux	environ 4.000	Animaux	environ 7.000
Bactéries	130	Protozoaires	350
Algues	160	Vers	380
Champignons	3.000	Gastéropodes	70
Lichens	280	Arachnides et Tardigrades	560
Mousses	190	Isopodes	26
Ptéridophytes	15	Myriapodes	60
Spermatophytes	200	Insectes	5.200
		Vertébrés	109

La biomasse est répartie de façon très inégale sur les différentes strates. Comparée à la biomasse végétale, celle des animaux est très faible. La majeure partie de la biomasse végétale est localisée dans la strate arborescente, celle des Insectes et des Arachnides est concentrée en grande partie (57 %) dans la strate muscinale. Cependant, c'est dans le sol que l'on retrouve le plus de biomasse animale. Elle est formée par des détritivores qui fragmentent la litière très abondante (un chêne en fournit p.ex. 3,9 t/ha · an) et qui préparent ainsi l'oeuvre des Bactéries et des Champignons. En plus, ces détritivores servent de nourriture à de nombreux Insectes prédateurs.

Tab.7: Biomasse (en kg/ha) d'une forêt feuillue en Haute-Belgique âgée de 120 ans (Duvigneaud, 1980).

Phytobiomasse (poids sec)		315.000	Zoobiomasse (poids frais: 50 % eau)	
plantes ligneuses		313.000	Vertébrés aériens	8,5
troncs	180.000		Oiseaux	1,3
branches	76.000		grands Mammifères	2,2
feuilles	3.000		petits Mammifères	5,0
souches et racines	54.000			
plantes herbacées		2.000	faune du sol	1.000
organes aériens	1.000		dont Lombrics	600
organes souterrains	1.000			

Les différentes strates aériennes fournissent de la nourriture à de nombreux animaux et leur servent d'habitat. La strate herbacée est le milieu où évoluent le gros et le menu gibier, les Campagnols, les Musaraignes, les Batraciens, les

Escargots et Limaces, de nombreux Insectes, dont notamment les Fourmis, prédateurs redoutables. De petits Oiseaux nichent dans les arbustes, les Pics dans les troncs, les Rapaces dans le branchage des arbres. Des Insectes phytophages ou prédateurs se trouvent à tous les niveaux. L'écorce et le bois fournissent la nourriture aux larves xylophages.

Ainsi s'établissent entre les différents éléments du milieu des interrelations complexes qui déterminent l'équilibre biologique de l'écosystème forêt.

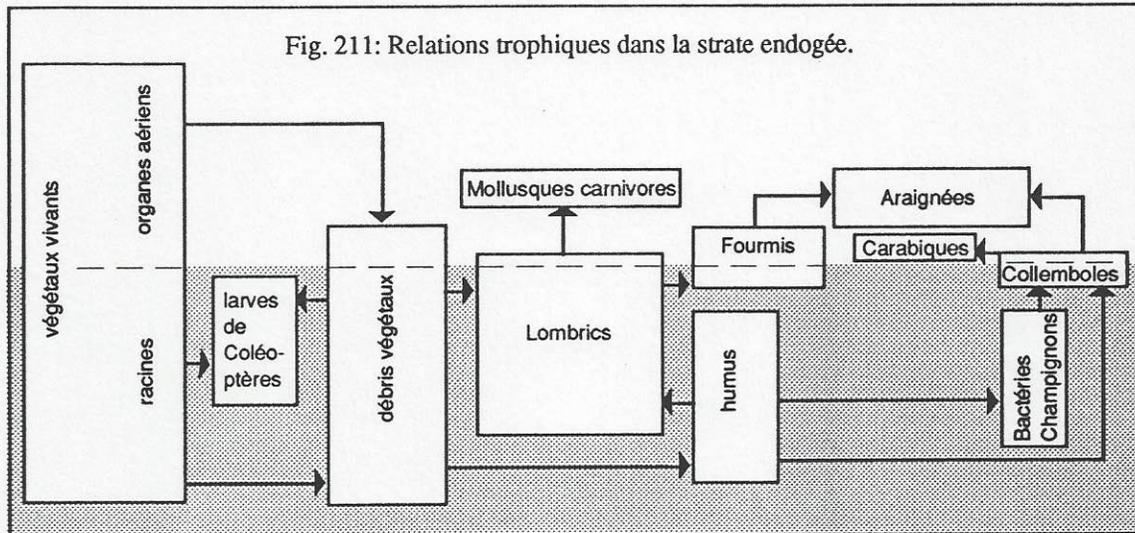
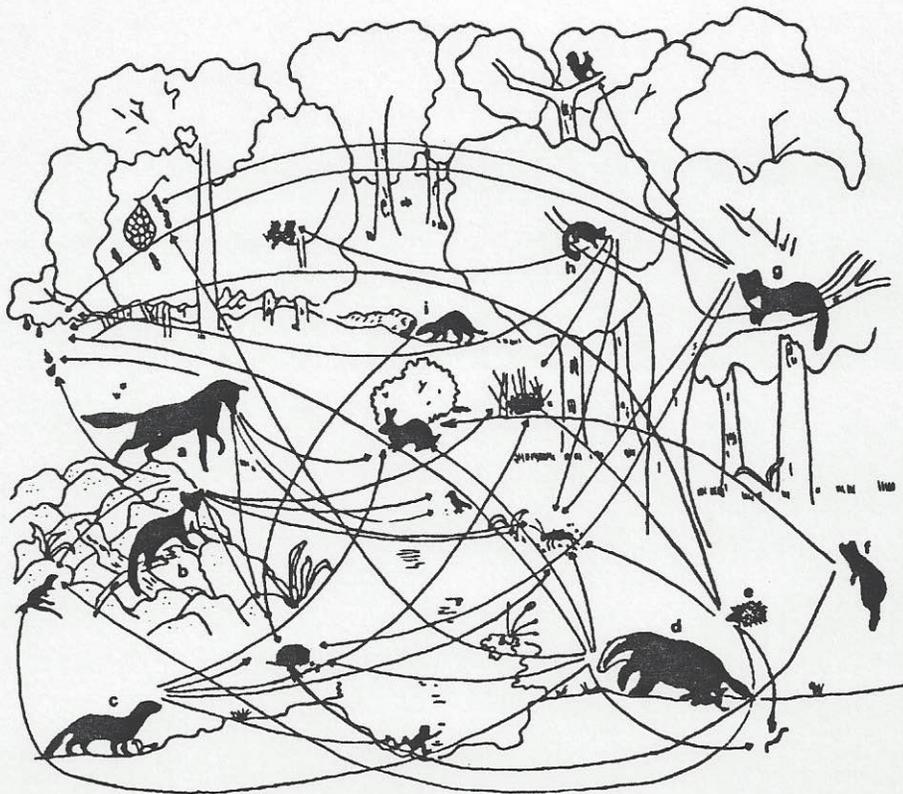


Fig. 212: Figuration schématique des relations trophiques des principaux Mammifères prédateurs de la forêt (d'après Brosset *in* Pesson et al., 1980).



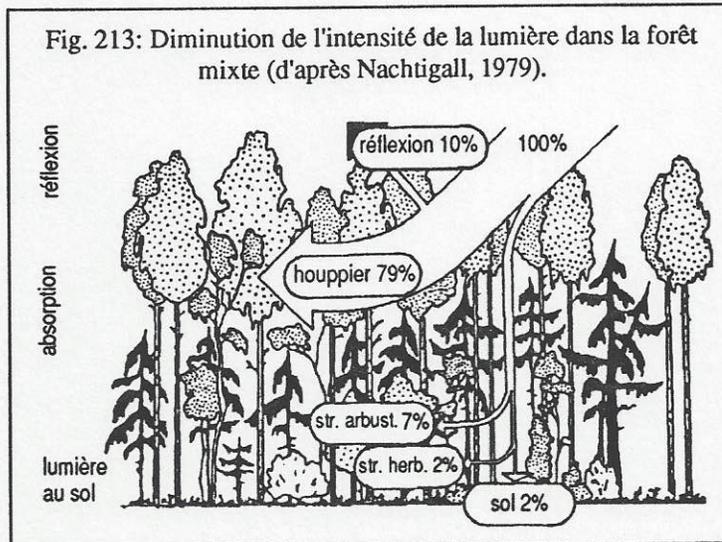
a - Renard, b - Fouine, c - Putois, d - Blaireau, e - Hérisson, f - Hermine, g - Martre, h - Loir, i - Belette.

### 4.4.2. L'écoclimat de la forêt.

L'écoclimat de la forêt présente les particularités suivantes:

#### La luminosité

La luminosité est faible. Ainsi, au niveau du sol, il ne subsiste plus que quelques pourcents de la lumière disponible à l'extérieur, dans la hêtraie 5 % et dans la forêt mixte à peine 2 %.



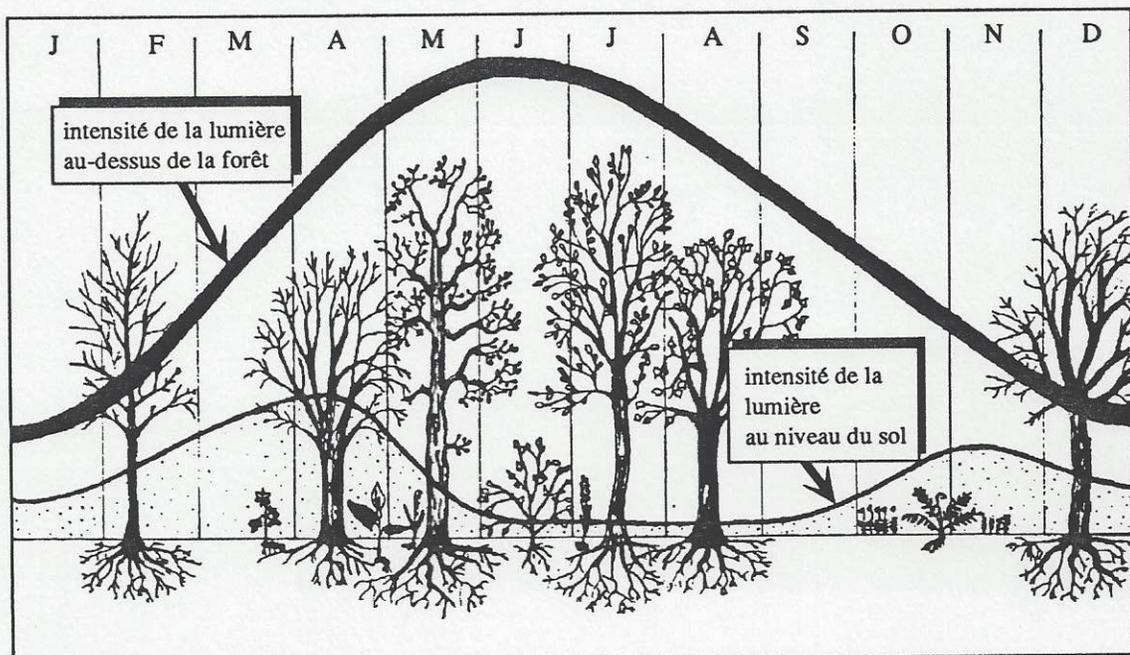
Le Hêtre et l'Épicéa sont des *essences d'ombre* (*Schattenbäume*); le Chêne et le Pin sont des *essences de lumière* (*Lichtbäume*).

La strate herbacée est formée par des *sciaphytes*. Les plantes de lumière doivent se développer au printemps, avant la feuillaison; ce sont les *plantes à floraison précoce*. Ainsi, l'Anémone des bois a besoin de

plus de 20% de lumière; au printemps, elle en trouve à peu près 22% dans la hêtraie et 54% dans la chênaie.

Les Mousses du sol profitent de l'automne pour s'épanouir pleinement; elles répandent leurs spores au début du printemps. Afin d'échapper au manque de lumière, d'autres Mousses vivent en *épiphytes* sur les troncs d'arbres, au-dessus de la strate herbacée. Elles suivent le rythme annuel normal de la forêt.

Fig. 214: Conditions de lumière dans la hêtraie mixte au cours de l'année.



### La température

Dans la forêt, la température est plus basse pendant le jour et plus élevée pendant la nuit parce que la perte de chaleur est moins forte que sur un terrain découvert. La température y est donc relativement équilibrée.

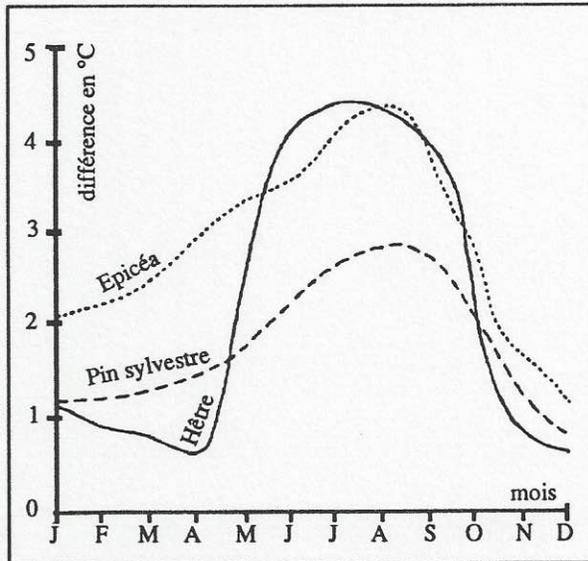


Fig. 215: Différences entre la température mesurée dans divers types de forêts et celle des terrains découverts (d'après Dylla & Krätzner, 1972).

### La force du vent

Dans la forêt, la force du vent diminue de haut en bas, des couronnes des arbres jusqu'à la strate muscinale, où elle devient pratiquement nulle. Les arbres peuvent utiliser le vent pour assurer la pollinisation; dans les strates arbustive et herbacée, ce sont plutôt les Insectes qui assument cette tâche.

### L'humidité relative

Dans la forêt, l'humidité relative est augmentée par la transpiration des végétaux. L'eau puisée dans le sol par les racines s'évapore au niveau des feuilles. Comme les mouvements de l'air sont faibles à l'intérieur de la forêt, la teneur de l'air en vapeur d'eau augmente. L'air tend vers la saturation, l'humidité relative se rapproche de 100%.

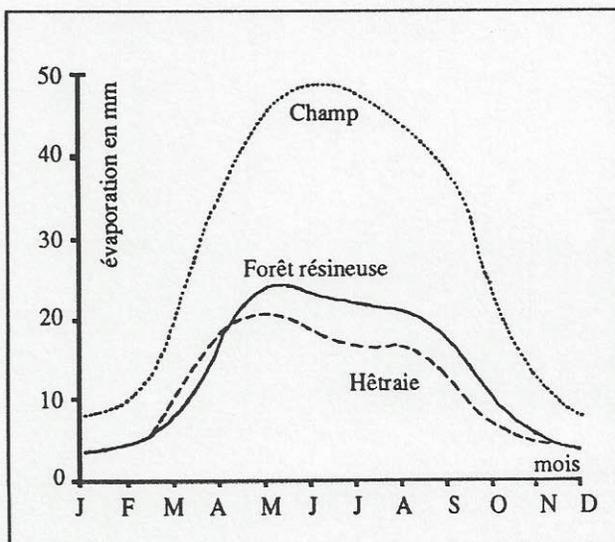


Fig. 216: Valeurs moyennes de l'évaporation au cours de l'année dans trois milieux différents: hêtraie, forêt résineuse et champ (d'après Dylla & Krätzner, 1972).

### 4.4.3. Le rôle écologique de la forêt

#### Rôle climatique

L'évapotranspiration (évaporation + transpiration des plantes) de la forêt est plus forte que celle des surfaces agricoles. Elle varie entre 2.000 et 6.000 tonnes d'eau par hectare et par an.

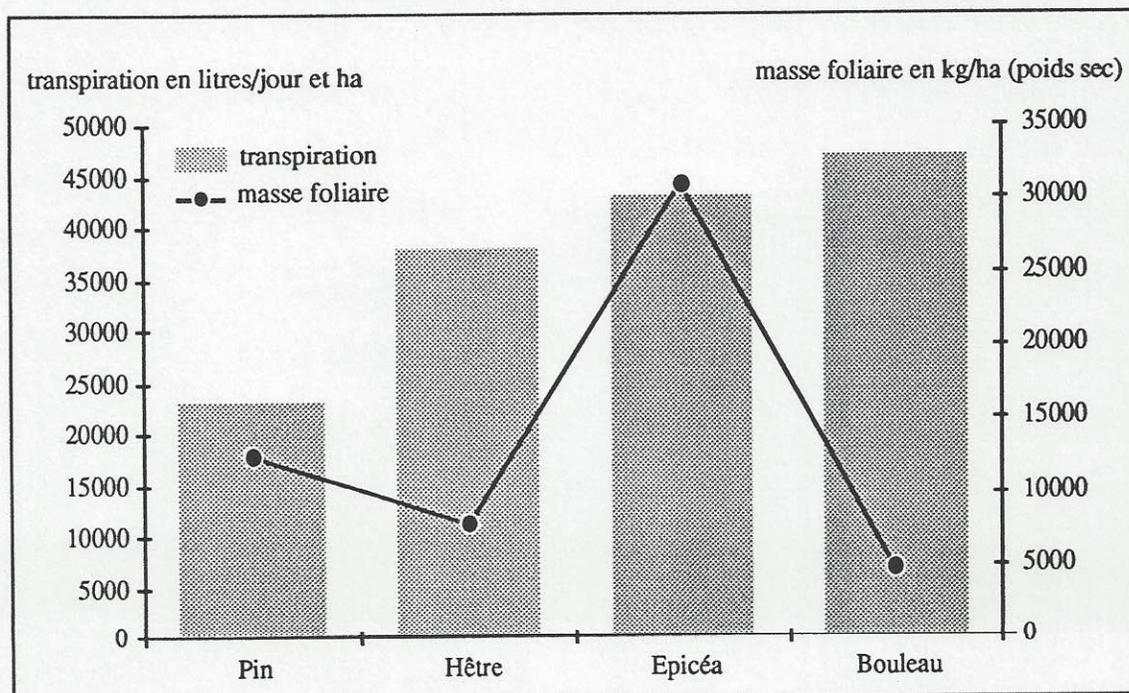
L'eau de pluie qui humecte les feuilles des strates arborescente, arbustive et herbacée s'évapore rapidement.

La transpiration des arbres est très forte. Localement, la présence d'un massif forestier entraîne une augmentation des précipitations qui peut aller jusqu'à 120 % de la valeur de référence régionale. La forêt ne crée donc pas seulement un écoclimat particulier, mais elle influence également le climat régional.

Tab. 8: Transpiration journalière moyenne des forêts en été et masse foliaire correspondante.

essence dominante	l/jour et par arbre	l/jour et par ha	masse foliaire en kg/ha (poids sec)
Bouleau	65	47.000	4.940
Hêtre	34	38.000	7.900
Pin	15	23.500	12.550
Epicéa	10	43.000	31.000

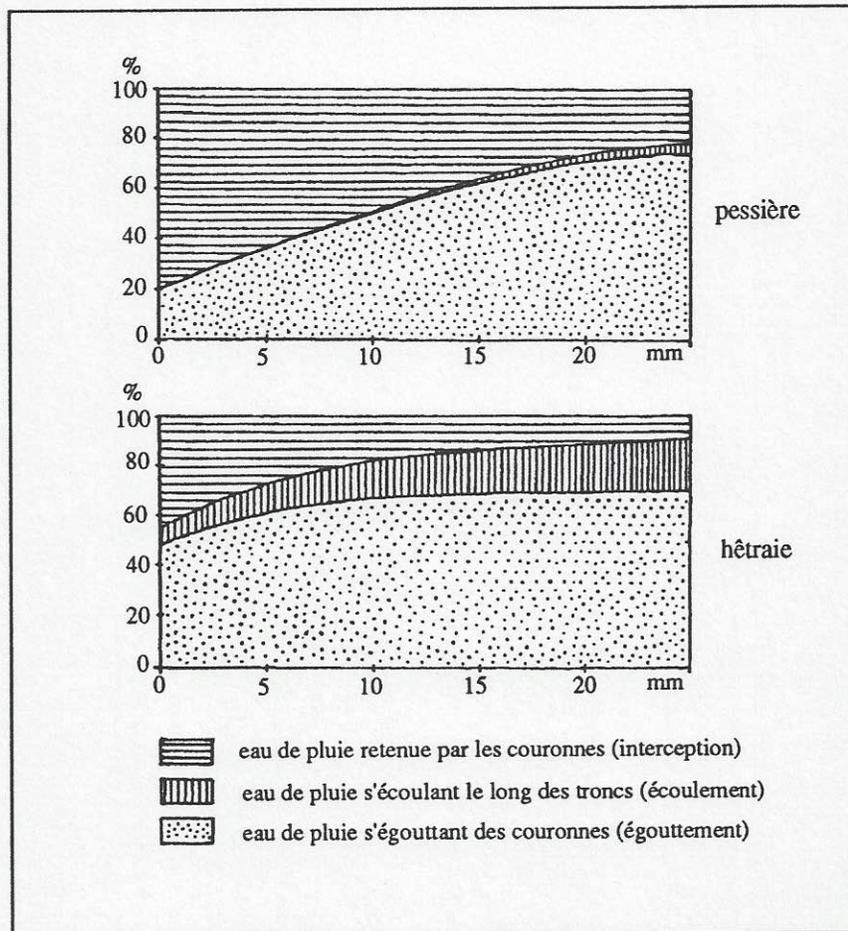
Fig. 217: Représentation graphique de la transpiration journalière moyenne des forêts en été ainsi que de la masse foliaire correspondante (transpiration en l/jour et ha; masse foliaire en kg/ha, poids sec).



## Rôle dans la diminution de l'érosion du sol

La forêt diminue le ruissellement de l'eau de pluie dont une partie est retenue, du moins passagèrement, par les couronnes (*interception*), puis s'égoutte ou s'écoule le long des troncs. L'eau a donc plus de temps à sa disposition pour s'infiltrer dans le sol; l'écoulement superficiel et l'érosion du sol, qui en résulte, sont amoindris.

Fig. 218: Action de la forêt sur la vitesse de chute de la pluie (d'après Dylla & Krätzner, 1972).



Le temps nécessaire pour l'érosion de 18 cm de sol sur un terrain dont la pente est de  $10^\circ$  a été estimé à:

- 575.000 ans, s'il est recouvert par une forêt feuillue;
- 82.150 ans, s'il est recouvert par une prairie;
- 110 ans, s'il est recouvert par un champ cultivé (rotation agricole);
- 18 ans, si le sol est nu.

## Rôle dans la mise en réserve et la filtration de l'eau

L'eau de pluie qui arrive au sol de la forêt est partiellement absorbée par les coussinets de Mousses, le reste est stocké par le sol lui-même qui, très poreux, agit comme une sorte d'éponge. Cette eau est cédée lentement à la nappe phréatique. Le débit des sources ainsi régularisé et le faible ruissellement superficiel empêchent les crues exagérées des cours d'eau de la région.

En plus, lors de sa lente infiltration à travers le sol et la roche, l'eau est efficacement filtrée de sorte que les nappes phréatiques protégées par une forêt fournissent une excellente eau potable.

L'effet des forêts de résineux sur le bilan de l'eau d'une région est moins favorable. Dans la pessière, l'épaisse couche d'aiguilles formant la litière rend le sol moins perméable, de plus, il s'y forme, en profondeur, des horizons compacts. Le ruissellement est plus important, la majeure partie de l'eau de pluie ne peut pas être retenue.

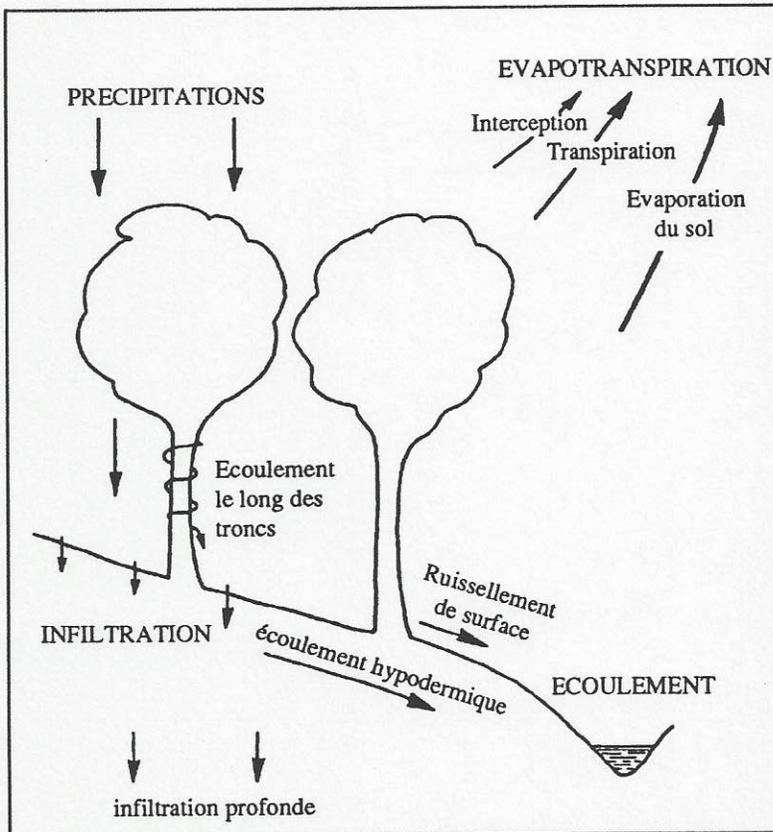
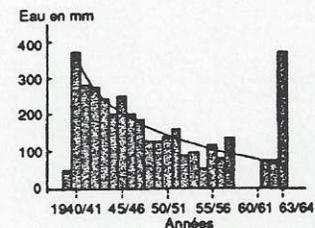


Fig. 219: Cycle hydrologique (cycle de l'eau) en forêt (d'après Aussenac *in* Pesson, 1980).

Les coupes à blancs provoquent un accroissement de l'écoulement, donc une diminution de l'évapotranspiration. Ainsi, en Lorraine, Aussenac a observé une diminution de l'évapotranspiration de 29% après une coupe rase.



Evolution de l'accroissement de l'écoulement après des coupes rases en 1940 et 1963 (U.S.A.) (d'après Hibbert, 1967 *in* Pesson, 1980).

### Influence de la forêt sur les brouillards

Dans les régions où les brouillards sont fréquents (zone côtière ou régions montagneuses), la forêt condense beaucoup plus d'eau que les terrains découverts. En Suisse, on est arrivé à la conclusion qu'en montagne la condensation à partir du brouillard est de 30 à 50 % plus importante dans la forêt que sur le terrain non boisé. Des résultats analogues ont été obtenus dans le Hunsruck et l'Eifel à des altitudes dépassant 600 m. Aux alentours de 500 m (altitude des Ardenes) le phénomène est nettement moins accentué, bien qu'encore présent.

Tab. 9: Supplément de précipitations fourni par la condensation du brouillard. Mesures réalisées dans la région de Nürburg (Eifel) en une station sise à 600 m. Le tableau se rapporte à l'excès de précipitations (en %) par rapport aux précipitations «normales» (= 100%) (d'après E. Bauer, 1982).

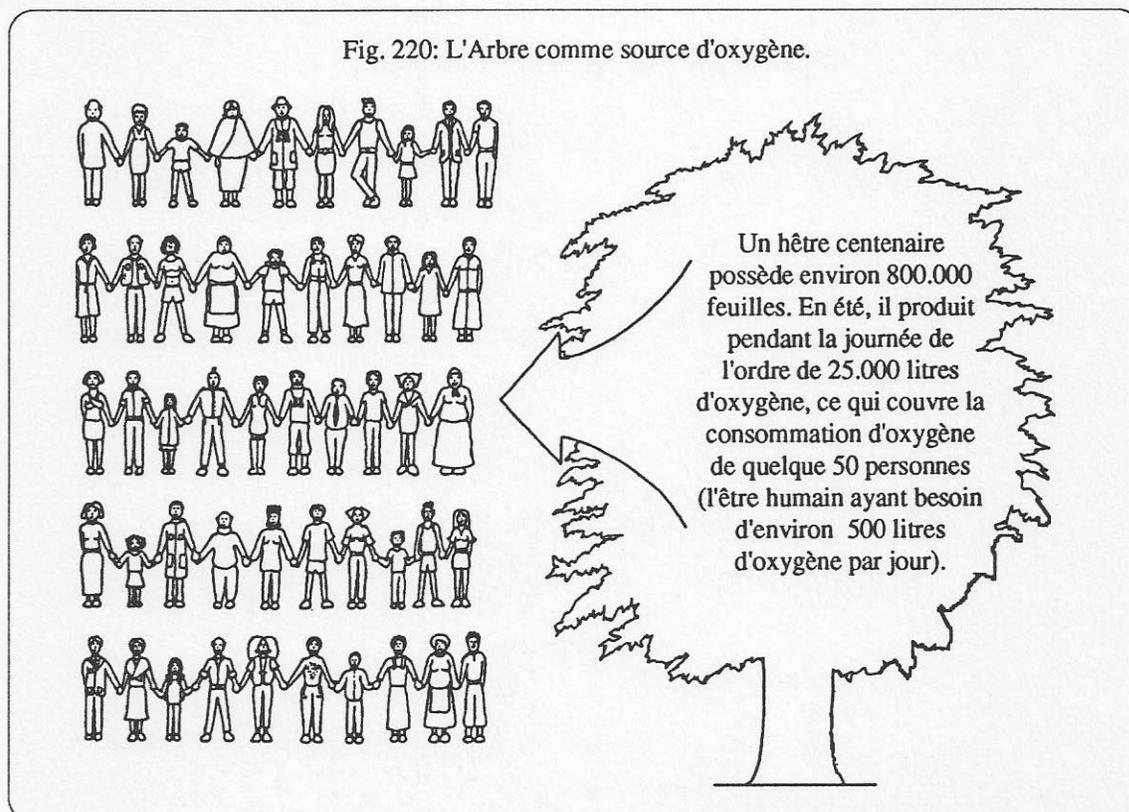
année	excès au cours de l'année en %	excès pendant la période végétative en %
1958	59	12
1959	32	10
1960	25	9
1961	29	9

## Rôle dans la purification de l'air

Une forêt de feuillus produit à peu près 16 tonnes d'oxygène par an et par hectare, un champ cultivé en fournit 3 à 10 tonnes par hectare et par an.

Les feuilles retiennent les poussières et filtrent ainsi l'air. L'eau de pluie entraîne les poussières vers le sol, le filtre est régénéré. Par an, 32 tonnes de poussières sont fixées par hectare de pins, 68 tonnes par hectare de hêtres.

Fig. 220: L'Arbre comme source d'oxygène.



## Rôle récréatif pour l'Homme

*«La forêt est un lieu de détente et de loisirs. En forêt, les humains surmenés par l'atmosphère citadine peuvent trouver le calme, la beauté naturelle et l'air pur, chargé d'odeurs caractéristiques et bienfaisantes. Le climat équilibré des massifs boisés, les formes variées des peuplements forestiers ainsi que la diversité du monde animal et végétal exercent sur le promeneur une influence apaisante et agréable. Mais en forêt, d'autres activités sont possibles: la chasse, l'équitation, la photographie, les jeux, les randonnées, les compétitions sportives et bien d'autres. Souvent la concentration de ces activités est telle que des conflits surgissent parmi les différents visiteurs et que la forêt elle-même en souffre. Tôt ou tard on sera amené à créer une certaine réglementation.»* [extrait de: Administration des Eaux et Forêts (1988): La forêt luxembourgeoise.]

**La forêt remplit donc de multiples fonctions dans l'équilibre écologique d'une région, ce qui explique les effets néfastes du déboisement irréfléchi.**

#### 4.4.4. La forêt au Luxembourg

##### 4.4.4.1. L'histoire de la forêt dans nos régions

L'histoire de la végétation peut être étudiée grâce à l'*analyse pollinique* qui se base sur les grains de pollen anciens conservés dans la tourbe des tourbières. Par la détermination et l'étude quantitative de ces grains de pollen, les végétations successives peuvent être reconstituées.

A l'époque glaciaire, le refroidissement général du climat fait disparaître les forêts en Europe centrale et les refoule vers le sud-est et le sud-ouest. Dans les régions non recouvertes de glace, situées entre les glaciers alpins et les glaciers scandinaves, une végétation dépourvue d'arbres, la toundra, subsiste.

L'histoire ultérieure de la forêt luxembourgeoise est illustrée par l'analyse pollinique de la tourbe qui s'est déposée dans la vallée «Lëschen» à l'emplacement de l'actuel «lac» du centre récréatif à Echternach. La tourbière s'est formée après le recoupelement du méandre de la Sûre qui primitivement contournait la butte de «Thull».

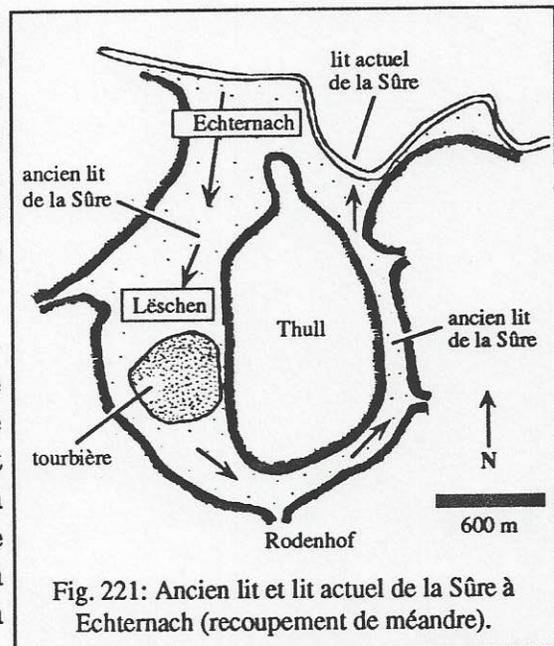


Fig. 221: Ancien lit et lit actuel de la Sûre à Echternach (recoupelement de méandre).

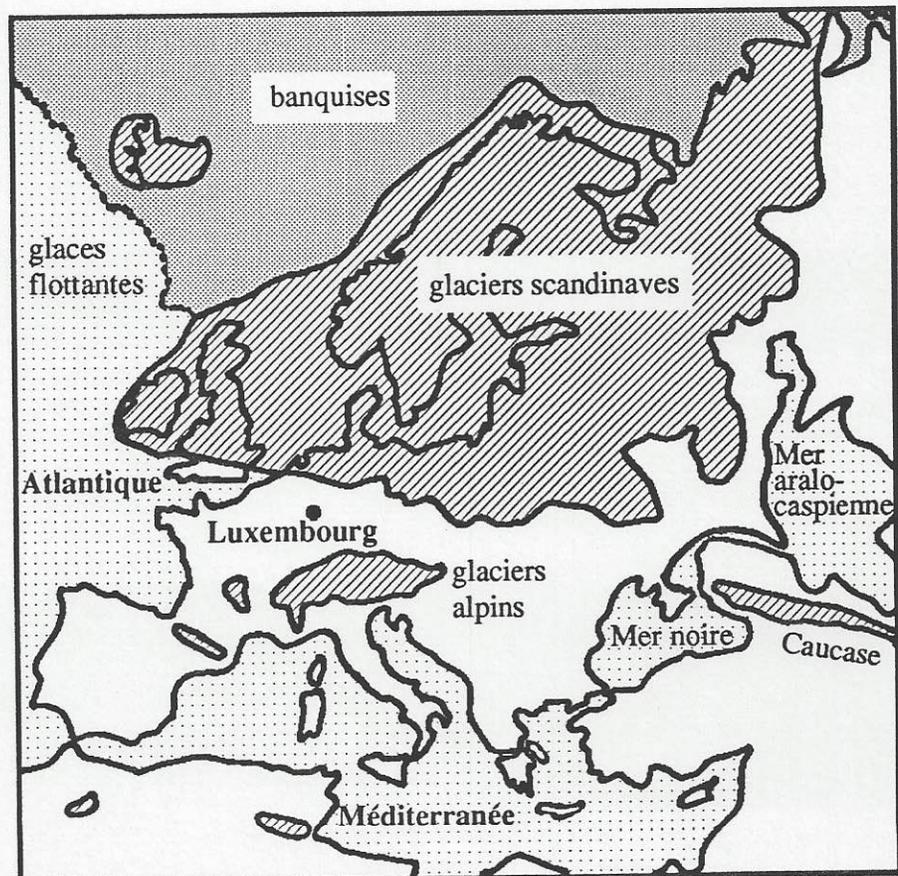
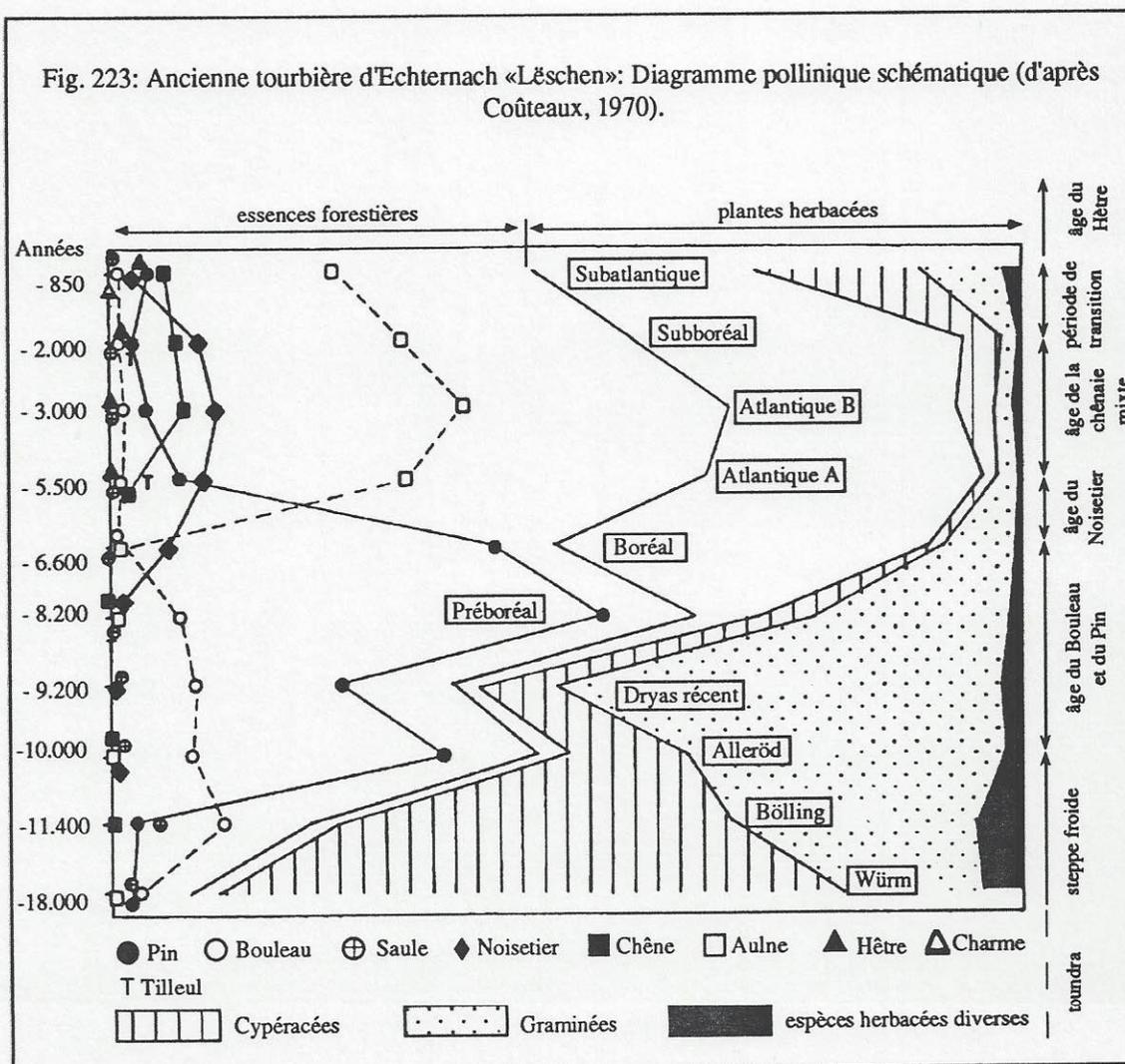


Fig. 222: Extension maximale des glaciers (*hachures*) au Quaternaire (d'après Heuertz, 1969, simplifié).

L'analyse a été faite par des spécialistes belges en 1963/66. Elle permet d'établir, depuis la fin de l'époque glaciaire jusqu'aux temps historiques, la succession suivante:

- av. J.-C.
- 18.000 : La *toundra* de l'époque glaciaire a été remplacée par une steppe humide excessivement déboisée; le climat est très froid.
- 10.000 : Début de la phase forestière: une forêt de Pins et de Bouleaux s'installe: *âge du Bouleau et du Pin (Kiefern-Birkenzeit)*. De telles forêts recouvrent encore de nos jours le nord de la Suède et de la Finlande.
- 6.600 : *Age du Noisetier (Kiefern-Haselzeit)*, le climat se réchauffe.
- 5.500 : *Age de la Chênaie mixte (Eichenmischwaldzeit)* sur les hauteurs; dans la vallée se développe une *Aulnaie (Erlenbruch)*.
- 2.000 : *Période de transition* de la Chênaie mixte à la Hêtraie.
- 850 : A la suite d'un léger refroidissement un climat proche de l'actuel s'établit; on passe à l'*âge du Hêtre (Buchenzzeit)* dont le début se situe au passage de l'époque du bronze à celle du fer.



Au moment de la conquête romaine, notre pays fait partie d'un grand massif boisé s'étendant de Reims à Cologne. Mais, déjà au 1<sup>er</sup> siècle de notre ère, les régions forestières des Vosges et des Ardennes cessent de former un seul ensemble. L'agriculture s'étend aux dépens de la forêt qui subit, au cours des siècles, une régression constante par des défrichements incessants.

La plus redoutable crise à endurer par nos forêts est provoquée, aux 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècles, par le développement rapide des forges qui consomment de grandes quantités de charbon de bois. De plus, la futaie est souvent convertie en taillis.

Du temps du règne de Marie-Thérèse, le *taux de boisement* est de 29,3 % (1766); il est de 31,1 % en 1811. La dénomination «*Département des Forêts*» suggère que le pays est alors particulièrement boisé. Cela n'est vrai que pour les quartiers wallons de l'ancien Duché.

La *ylviculture* rationnelle commence vers 1840. A partir de 1865, les hauts-fourneaux abandonnent le charbon de bois au profit du coke, l'exploitation excessive de nos forêts est enrayerée.

Abstraction faite des variations de surface, l'évolution de la forêt au cours des derniers 200 ans est marquée par la poursuite de la pratique commencée au 18<sup>e</sup> siècle: le remplacement des feuillus par des résineux, essences étrangères à notre flore.

Tab. 10: L'introduction des résineux au Luxembourg.

Année de l'introduction	Essence	Lieu
entre 1755 et 1760	Sapin des Vosges	Juckelsboesch (Mamer)
1772	Epicéa	Schälheck (Bissen)
1780	Pin sylvestre	existait en 1810 au Grunewald et au Howald

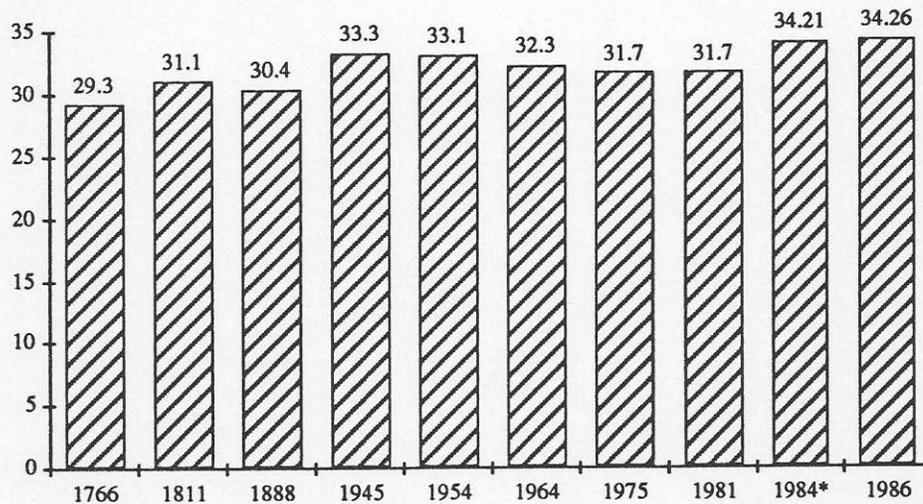
Le Pin sylvestre, dont la présence est encore attestée au Subatlantique, il y a quelque 2.800 ans, par les analyses polliniques, semble s'être maintenu constamment dans le Bassin de Paris, en proportion variable, jusqu'aux introductions massives récentes. De ce fait, il serait donc à considérer comme indigène.

Cette idée a été avancée à plusieurs reprises au cours des dernières décennies, notamment par le botaniste néerlandais Barkman (1949) et le palynologue Michel Coûteaux (1970); elle a été reprise par Massard & Geimer (1983). Les travaux de Schwenninger (1989) et surtout de Diederich & Schwenninger (1990) montrent que certains escarpements rocheux du grès de Luxembourg de la région de Berdorf portent des populations de Pin sylvestre qui semblent s'y être maintenues au-delà du Subatlantique. Ces populations seraient donc naturelles, alors que partout ailleurs la présence du Pin sylvestre serait due à une introduction récente par l'Homme.

Par ailleurs, les travaux récents de Diederich (1991) suggèrent que certaines forêts luxembourgeoises auraient échappé au déboisement massif qui ont eu lieu dans nos régions à partir du 12<sup>e</sup> ou 13<sup>e</sup> siècle. De telles *forêts à longue continuité historique*, proches d'une forêt vierge, seraient situées dans certaines régions peu accessibles du Mullerthal:

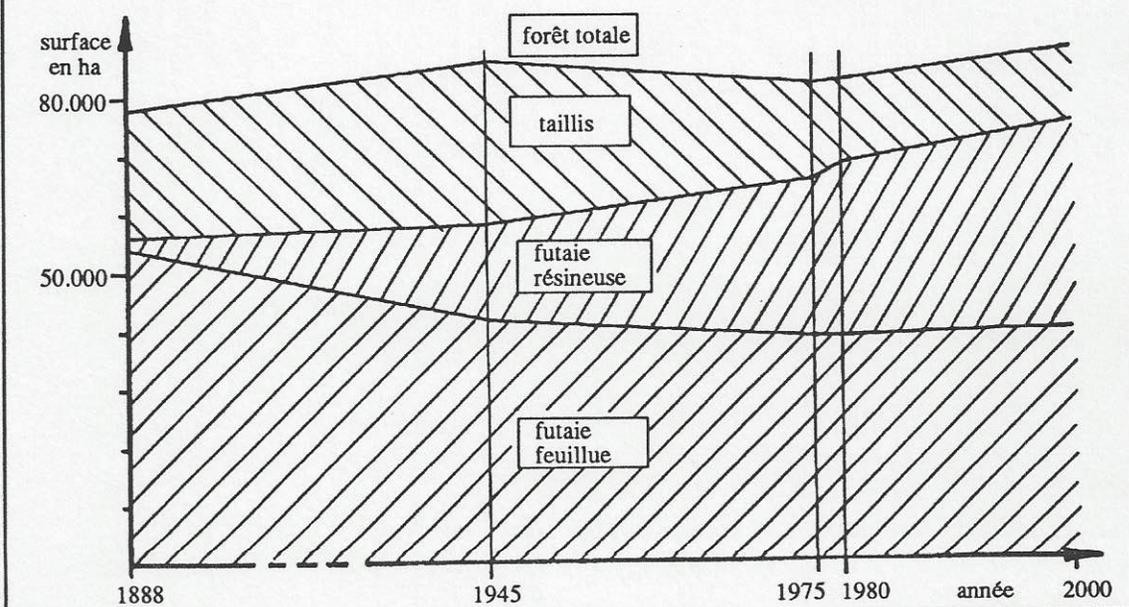
- dans la région de Beaufort (vallons du Halerbach et du Haupesbach);
- dans la région entre Echternach et Berdorf (vallon de l'Aesbach);
- dans la région entre Braidweiler-Pont et Berdorf (massif forestier du versant droit de l'Ernz noire).

Fig. 224: Evolution du taux de boisement (Annuaire statist. Luxemb., 1990, et autres sources).



(\*) Le taux de boisement s'est stabilisé depuis 1975. L'augmentation du taux de boisement à partir de 1984 est due essentiellement à une révision des calculs de la surface de la forêt publique et privée; elle ne correspond donc guère à une variation réelle de la surface boisée.

Fig. 225: Evolution du mode de traitement de 1888 à 1980 avec extrapolation jusqu'en l'an 2000. (d'après: Ministère de l'Education et al., 1980)



#### 4.4.4.2. La forêt luxembourgeoise actuelle

La forêt a été reléguée aux terrains impropres au labourage et au pâturage. Le taux de boisement du pays est de l'ordre de 34 %.

#### Essences forestières et types de forêts

La forêt luxembourgeoise se compose d'essences indigènes et d'essences introduites.

#### Aperçu sur les principales espèces ligneuses

##### ◆ Essences indigènes:

- espèces dominantes:
  - Hêtre (*Rotbuche*)
  - Chêne pédonculé (*Stieleiche, Sommereiche*)
  - Chêne rouvre (*Traubeneiche*)
  - Charme (*Hainbuche*)
- espèces compagnes:
  - Sycomore, Érable sycomore (*Bergahorn*)
  - Frêne (*Esche*)
  - Bouleau (*Birke*)
  - Tremble (*Espe*)
  - Merisier (*Vogelkirsche*)
  - Orme (*Ulme*)
  - Aulne, Aune (*Erle*)
  - Plane, Érable plane (*Spitzahorn*)
  - Érable champêtre (*Feldahorn*)
  - Tilleul (*Linde*)

##### ◆ Essences introduites:

- résineux:
  - Sapin des Vosges (*Edeltanne, Weißtanne*),
  - Épicéa (*Fichte*),
  - Pin sylvestre (*Kiefer*), probablement naturel dans certaines stations,
  - Mélèze d'Europe (*Lärche*),
  - Douglasie, Douglas vert (*Douglastanne*), originaire d'Amérique du Nord,
  - Pin de Weymouth (*Weymouthskiefer*), originaire d'Amérique du Nord,
- feuillus:
  - Chêne d'Amérique (*Roteiche*),
  - Robinier faux-acacia (*Gemeine Robinie*), originaire d'Amérique du Nord.

Alphonse de la Fontaine (1862) nous apprend qu'un Robinier faux-acacia, peut-être le premier de son espèce au Luxembourg, «fut planté vers 1787 par le baron Maréchal, receveur-général du duché et seigneur de Stadtbredimus, dans les jardins dépendants du château de ce nom. Cet arbre était encore debout au commencement de l'année 1859. Il occupait l'angle d'une terrasse longeant le chemin de halage de la Moselle. Des travaux de voirie, exécutés sur ce point, le firent disparaître.»

Fig. 226: Répartition des bois et forêts au Luxembourg.

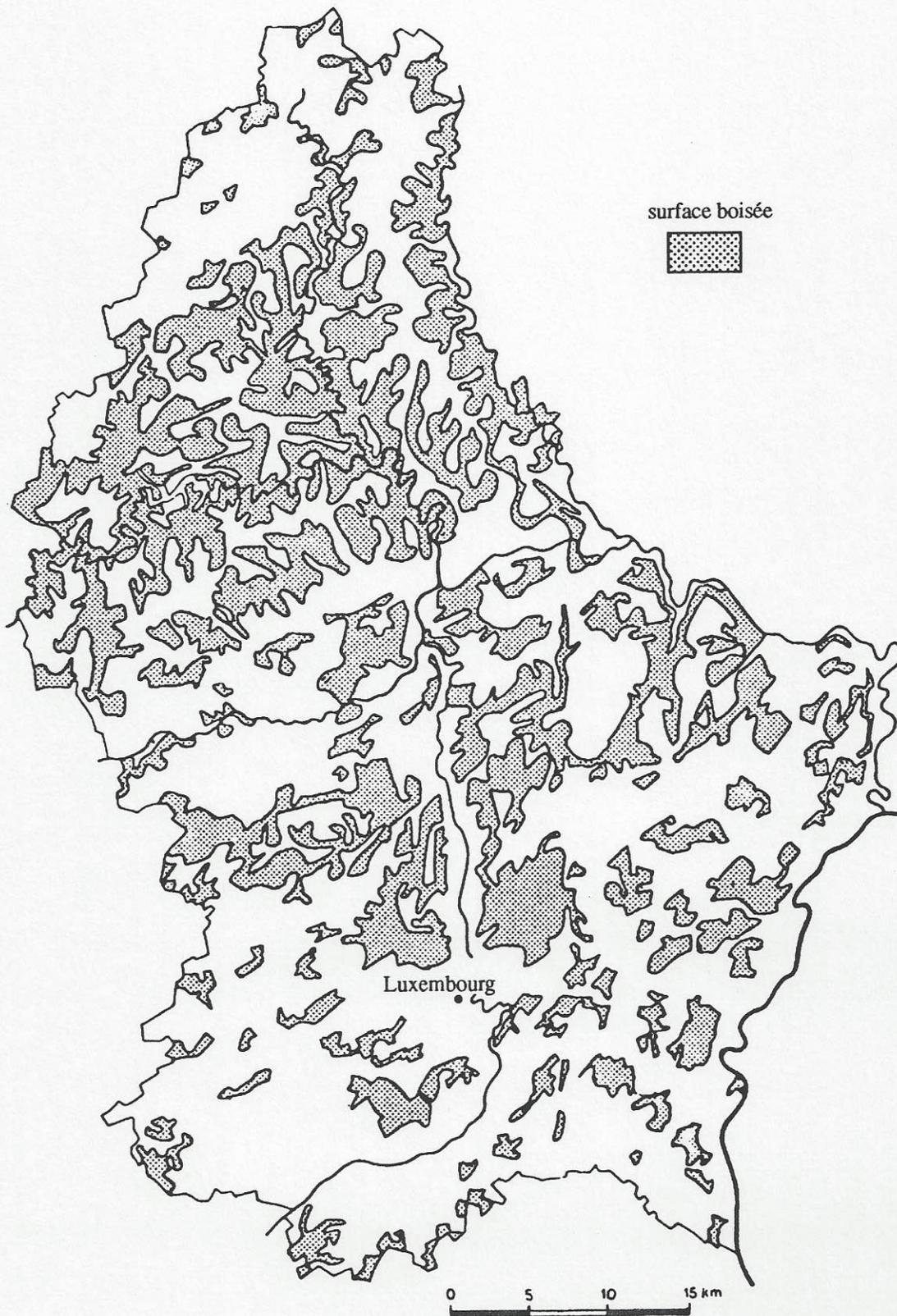
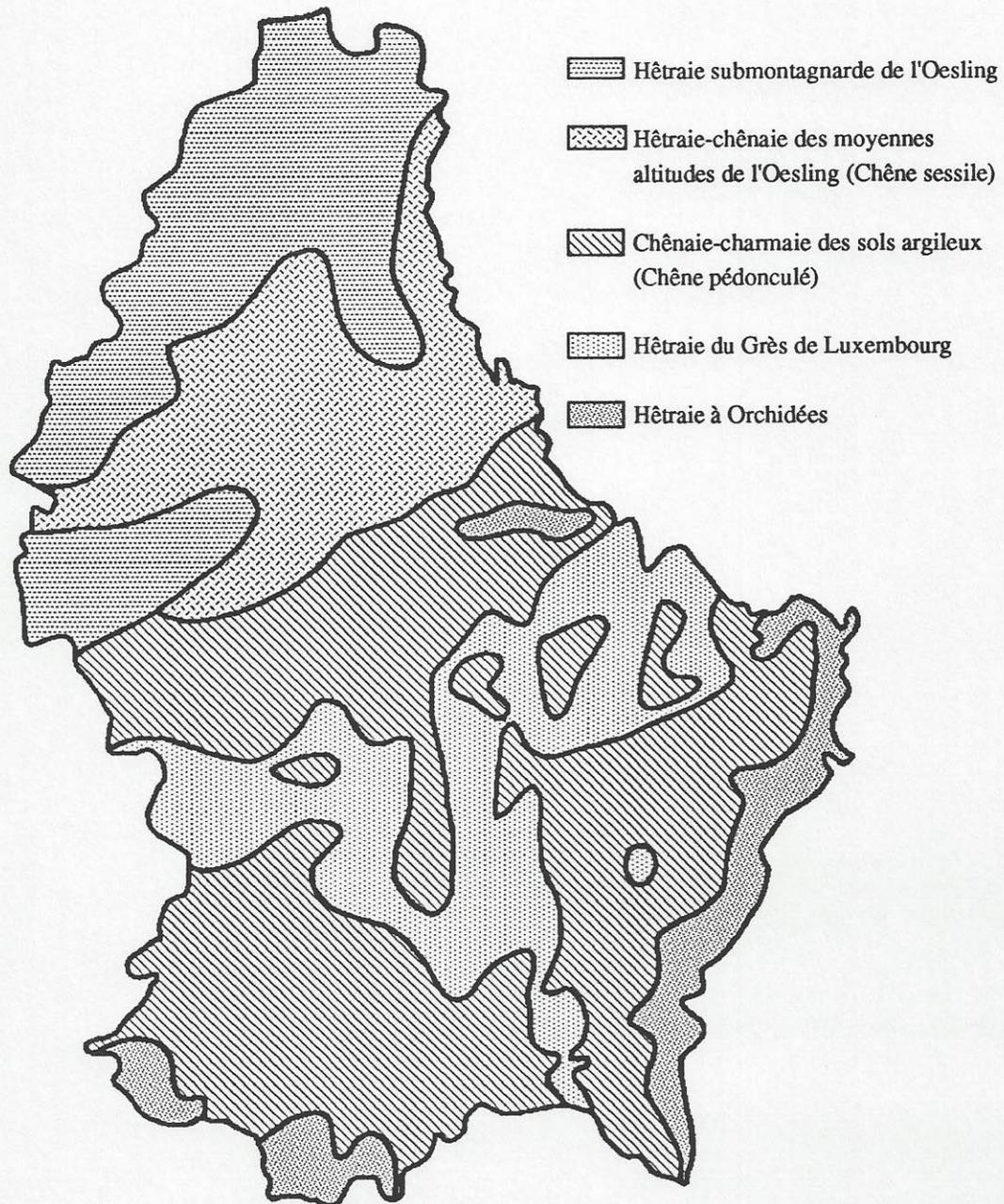


Fig. 227: Schéma très simplifié de la répartition des différents types de forêts naturelles au Luxembourg.



Sur les pentes ensoleillées, notamment celles des calcaires dolomitiques, la hêtraie à Orchidées est remplacée localement par une *chênaie xéro-thermophile* à *Chêne pubescent* (région de la Moselle). Au Palmberg près d'Ahn, on trouve dans cette chênaie du Buis (all.: *Buchsbaum*, lux.: *Pällem*), d'où le nom de la colline.

L'*érablière de ravin* (*Schluchtwald*) à Erable, Tilleul et Orme trouve des conditions écologiques favorables sur les pentes nord à éboulements rocheux du Grès de Luxembourg, du Dogger et du Calcaire coquillier. Un bel échantillon d'un fragment d'érablière peut être vu près de l'entrée de la Gorge du Loup à Echternach.

Pour plus de détails, le lecteur consultera l'article de Jean-Claude Kirpach (1982) qui fournit une vue d'ensemble sur les associations forestières naturelles du Grand-Duché.

Fig. 228: Composition de la forêt luxembourgeoise en 1984.  
(source: Exposé budg. Minist. Environn., 1984)

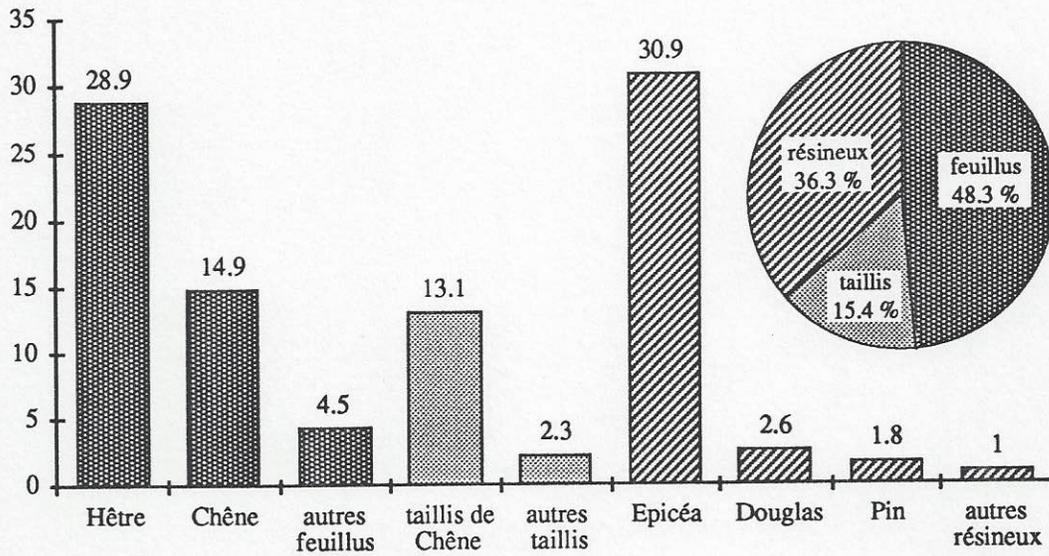
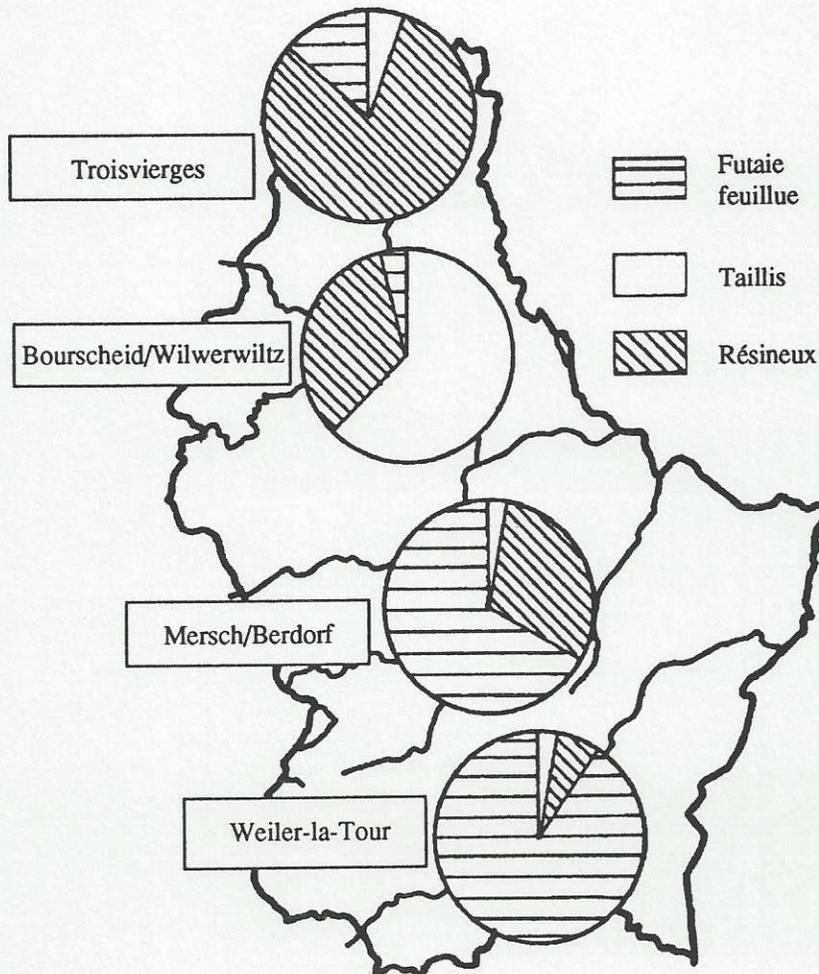


Fig. 229: Variations régionales de la composition de la forêt (situation 1972) avec distinction de quatre paysages forestiers typiques (d'après R. Faber, 1976).



## La productivité forestière

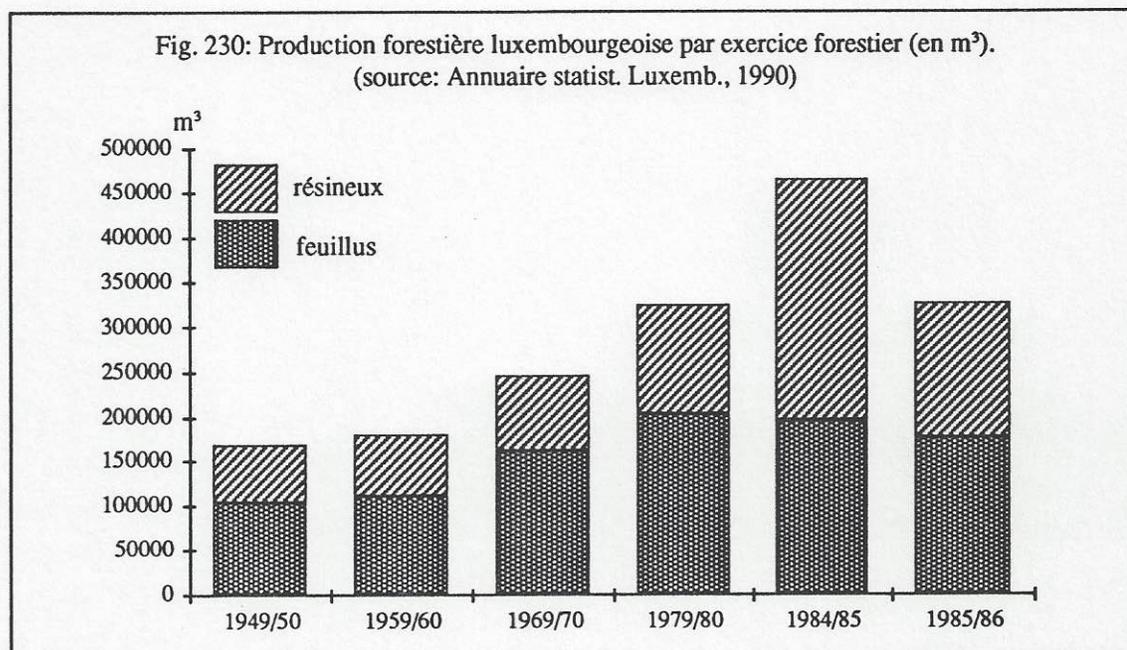
Les résineux fabriquent plus de bois que les feuillus. Ainsi, le Hêtre met 150 années pour produire une quantité de bois identique à celle fournie par l'Epicéa en 50 ans. Plus attrayants du point de vue économique, les résineux, cultivés en monoculture, n'en posent pas moins des problèmes du point de vue écologique.

Tab. 11: Productivité de bois (en m<sup>3</sup>/ha · an).

Chênaie	Hêtraie	Pessière	Sapinière
3 - 5	5 - 7	6 - 8	6 - 10

La forêt joue un rôle économique non négligeable. Sa valeur marchande varie entre 1.000 et 10.000 francs l'are (chiffres datant de 1988) selon qu'il s'agit d'un parterre de coupe rase ou d'une chênaie soignée venue à terme.

Au Luxembourg, les familles de plusieurs centaines d'ouvriers forestiers vivent du travail en forêt. Il faut y ajouter les exploitants forestiers, les marchands de bois, les transporteurs, les scieurs et autres profession de la filière du bois. Enfin, la forêt rapporte à son propriétaire des revenus qui peuvent être importants.

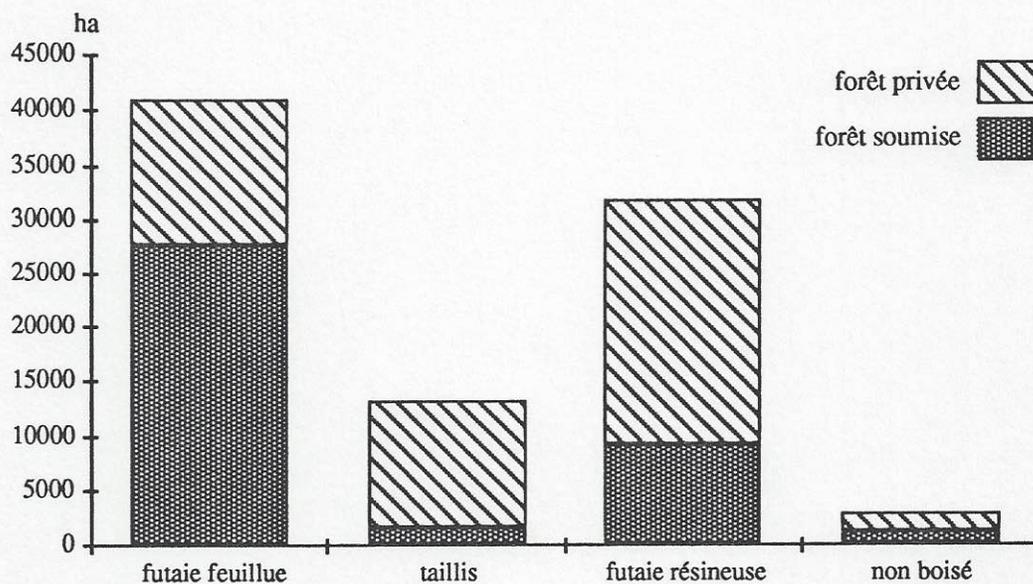


## Le régime de propriété de la forêt

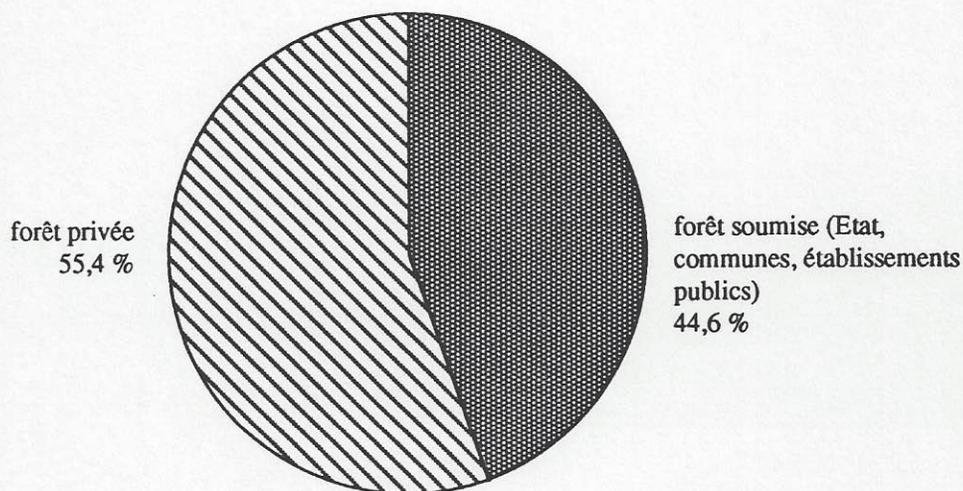
On distingue: • *les forêts soumises au régime forestier*, qui comprennent les forêts appartenant à l'Etat (*forêt domaniale*), aux communes (*forêt communale*) et aux établissements publics. Elles sont gérées par l'Administration des Eaux et Forêts;

• *les forêts privées*, qui correspondent à toutes les forêts non comprises dans la catégorie précédente et qui appartiennent à des particuliers.

Fig. 231: Superficie forestière luxembourgeoise (en ha) par catégorie de propriétaire.  
(exercice forestier 1985/1986, source: Annuaire statist. Luxemb., 1990)



La futaie mélangée est incluse dans la colonne de la futaie résineuse. Pour la forêt soumise, elle représente en 1985/86 une valeur de 455 ha; les statistiques relatives à la forêt privée ne font pas de distinction entre la futaie résineuse et la futaie mélangée.



Avec 1.200 hectares, le Grunewald est la forêt domaniale la plus étendue.

La propriété forestière privée constitue le problème primordial de la forêt luxembourgeoise. Elle se répartit entre quelque 12.000 propriétaires dont 70 % possèdent moins de 2 hectares. Extrêmement morcelée, elle manque d'infrastructures. La production est quantitativement et qualitativement insuffisante.

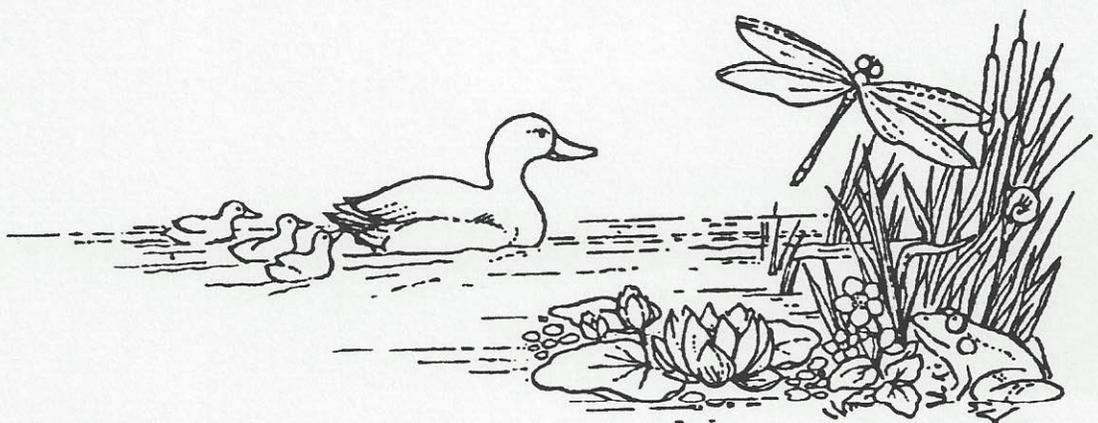
---

---

## 4.5. Les écosystèmes des eaux douces

---

---



### 4.5.1. Généralités

L'étude écologique des eaux douces est du ressort de la *limnologie*, science de l'eau douce.

Elle porte sur:

- ◆ les *eaux stagnantes* (*stehende Gewässer*): lacs, étangs, mares;
- ◆ les *eaux courantes* (*Fließgewässer*): fleuves, rivières, torrents.

#### Subdivision des eaux stagnantes

On distingue parmi les eaux stagnantes:

- ◆ les eaux stagnantes se desséchant périodiquement:
  - mare (*Tümpel*);
- ◆ les eaux stagnantes pérennes:
  - étang,
  - lac.

Tab. 12: Aperçu sur les eaux stagnantes.

eau stagnante	d'origine naturelle sans possibilité de vidange	d'origine artificielle avec possibilité de vidange
peu profonde	étang (Weiher)	étang artificiel (Teich)
profonde (profondeur > 5 m)	lac (See)	lac de barrage (Stausee)

L'étang artificiel qui sert à la pisciculture est encore appelé: un *vivier*.

L'étang a été défini comme un lac sans profondeur. La flore qui le colonise sur une grande étendue correspond à celle qui dans le cas des lacs reste limitée à la zone littorale.

Il n'existe pas de lac naturel dans notre pays, seulement des lacs de barrage. Le lac de barrage de la Haute-Sûre (Esch-sur-Sûre), construit au cours des années 1955-1956, a une superficie de 3,8 km<sup>2</sup>, une longueur de 20 km et une profondeur maximale de 47 m. Les travaux de construction du barrage de Rosport ont débuté en 1957; la retenue s'étend sur 5,8 km et atteint une profondeur maximale de 9 m. La construction du barrage de l'Our (Vianden) a débuté en 1959; le lac de barrage a une longueur de 8 km.

Le «lac d'Echternach» ainsi que le «lac de Weiswampach», tous les deux d'origine artificielle, n'ont qu'une faible profondeur et correspondent en fait à des étangs artificiels construits à des fins touristiques. Les étangs de gravières de la région de Wintrange/Remerschen, bien qu'également d'origine artificielle, constituent des biotopes d'une grande importance écologique.

## 4.5.2. L'adaptation des êtres vivants à la vie aquatique

### Cas des végétaux

#### 1) La résistance mécanique.

La plante est portée par la poussée de l'eau, qui est encore augmentée par des lacunes aérifères; les tissus de soutien sont devenus superflus. La plante est très flexible, ce qui lui permet de résister à la traction du courant.

#### 2) L'absorption de l'eau et des sels minéraux.

L'eau et les sels minéraux sont absorbés par toute la surface, qui est augmentée par la forme souvent rubanée ou laciniée des feuilles.

Les racines ne servent plus qu'à la fixation ou sont même absentes.

#### 3) L'absorption du gaz carbonique.

Le gaz carbonique dissous dans l'eau est absorbé par les feuilles qui sont dépourvues de stomates. En outre, un certain nombre de végétaux utilisent comme source de  $\text{CO}_2$  le bicarbonate de Ca dissous dans l'eau. Il est décomposé en  $\text{CO}_2$  et en calcaire insoluble qui forme un dépôt sur les feuilles.

#### 4) La respiration.

L'oxygène étant peu soluble dans l'eau, la respiration s'effectue dans des conditions assez défavorables. Beaucoup de végétaux ont adopté comme solution au problème la mise en réserve d'air dans les lacunes aérifères.

#### 5) La reproduction.

Elle est souvent essentiellement végétative. Représentée en Europe par des individus femelles seulement, l'Elodée du Canada ne peut s'y reproduire que par la seule voie végétative. C'est une plante aquatique originaire d'Amérique du Nord, naturalisée en Europe depuis 1835 environ. D'après Fischer (1882), elle a été introduite au Luxembourg vers 1876 dans deux pièces d'eau situées dans le triangle délimité par les localités de Scheidhof, Contern et Itzig.

Fig. 232: Coupe transversale d'une tige d'Elodée du Canada.

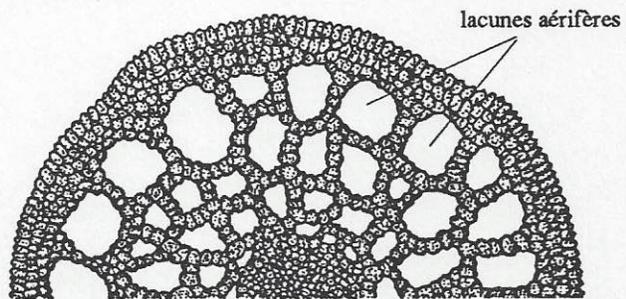
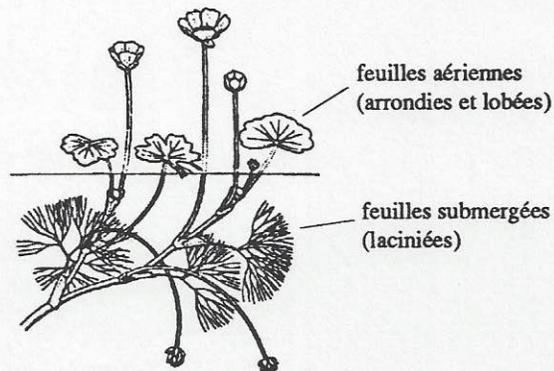


Fig. 233: Influence de l'eau sur les feuilles submergées de la Renoncule aquatique (*Wasserhahnenfuß*).



## Cas des animaux

### 1) La forme du corps.

Le corps est souvent aplati latéralement ou dorso-ventralement, afin d'offrir le moins de résistance possible au courant.

### 2) La locomotion.

On peut distinguer:

- des glisseurs de surface (Gerris);
- des nageurs (Grenouilles, Poissons, Dytique);
- des marcheurs (larves de Libellules);
- des rampants (Mollusques);
- des sédentaires (Vers de vase, Bryozoaires, Hydre).

### 3) La respiration.

Certains animaux aquatiques respirent l'air libre, p.ex. à l'aide de *poumons* (Grenouille), ou à l'aide d'un *siphon respiratoire* allongé (Nèpe, Ranatre).

D'autres absorbent l'oxygène dissous, grâce à leurs *branchies* (Poissons, Ecrevisses) ou grâce à leurs *trachéobranchies* (larves d'Insectes).

Fig. 234: Adaptation chez les larves d'Ephémères: aplatissement du corps et orientation adaptée au sens et à la force du courant (d'après Schua, 1970).

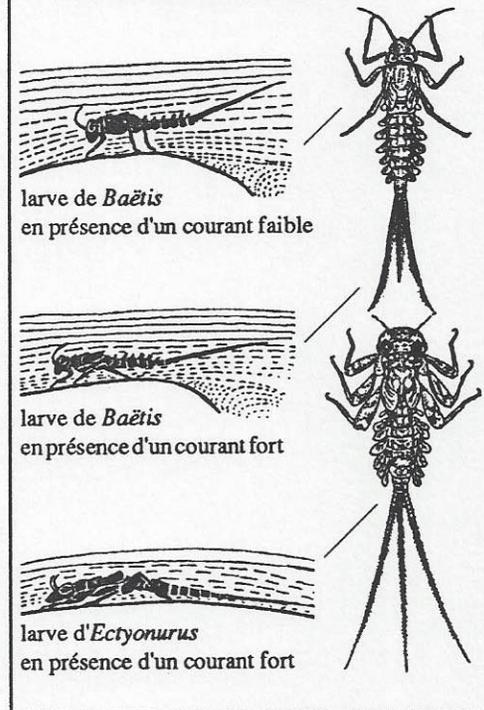


Fig. 235: Adaptations locomotrices des animaux aquatiques.

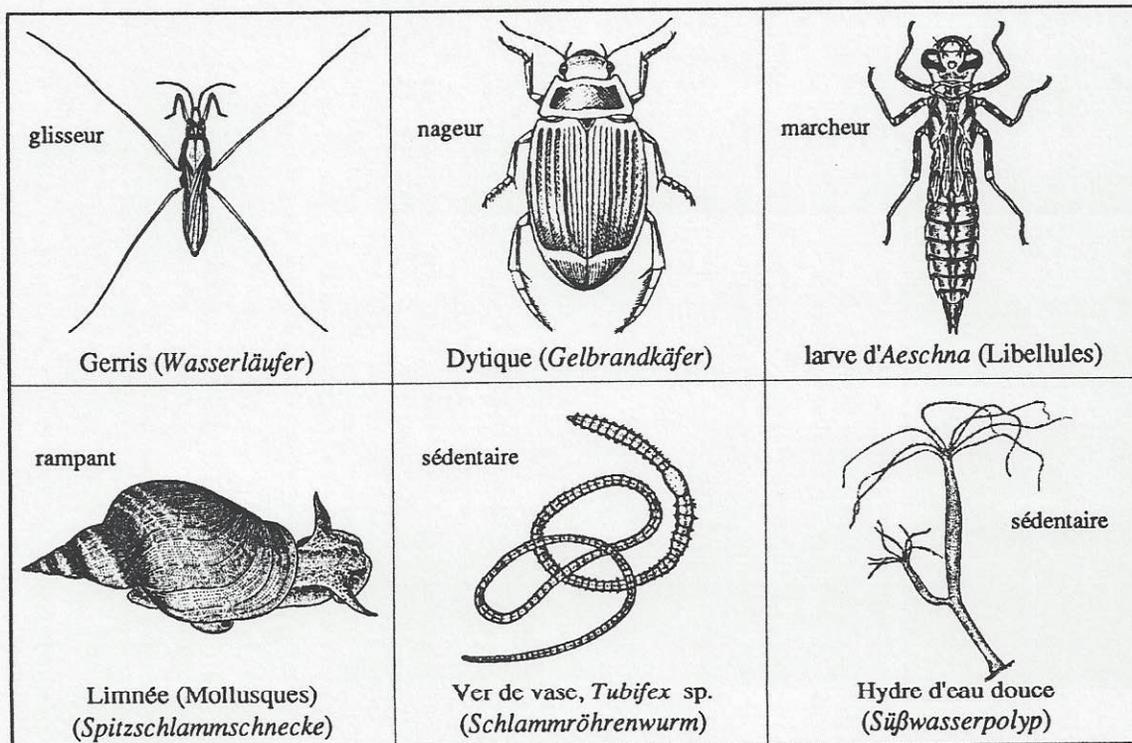
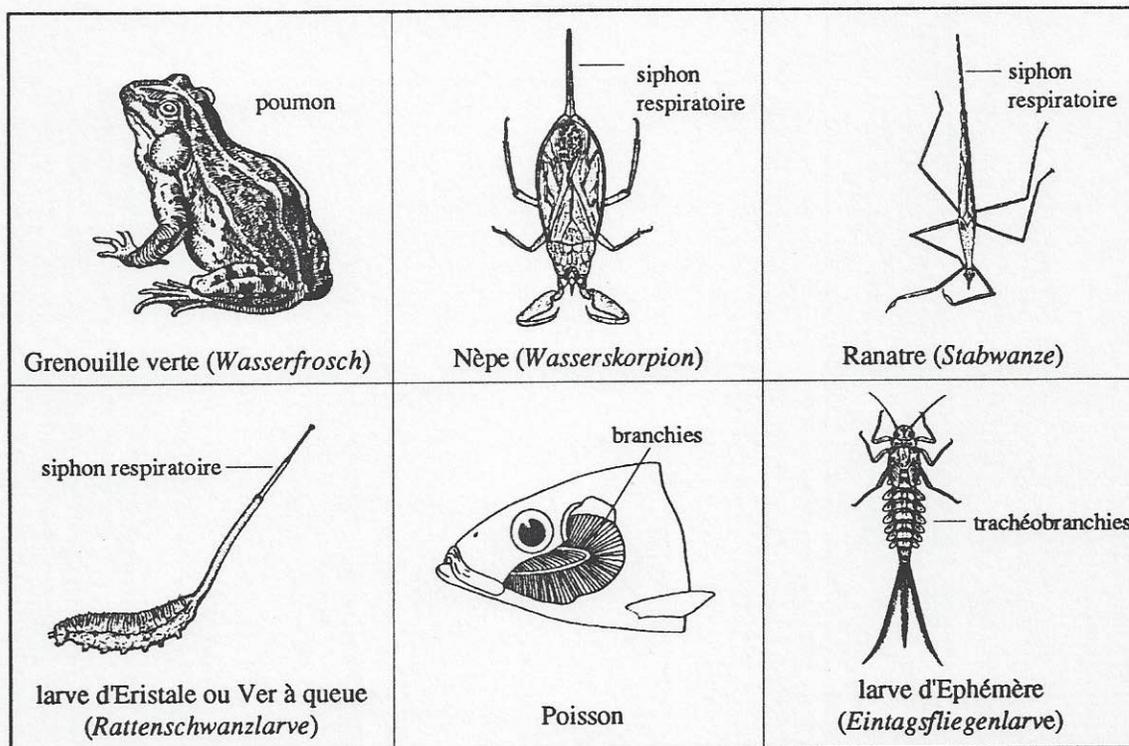


Fig. 236: Adaptations respiratoires des animaux aquatiques.



### 4.5.3. L'écosystème étang

#### La zonation horizontale de l'étang

A partir du bord de l'étang, les plantes enracinées forment plusieurs *zones* successives déterminées par l'augmentation de la profondeur de l'eau. Chaque zone a une composition floristique caractéristique et héberge une faune particulière. On distingue du bord jusqu'à l'eau libre:

- *la zone des Carex (Seggengürtel):*

C'est la zone bordière de l'étang où croissent des *plantes des lieux humides* (Carex, Saules, Peupliers, Aulnes, etc.)

- *la zone des Roseaux et des Joncs (Röhricht- und Binsengürtel):*

Elle comprend des *plantes semi-aquatiques*, notamment des Roseaux, qui forment la roselière, et les Joncs. Elle héberge de nombreux oiseaux aquatiques qui y trouvent de la nourriture et des possibilités de nidification.

- *la zone des Nénuphars (Seerosengürtel):*

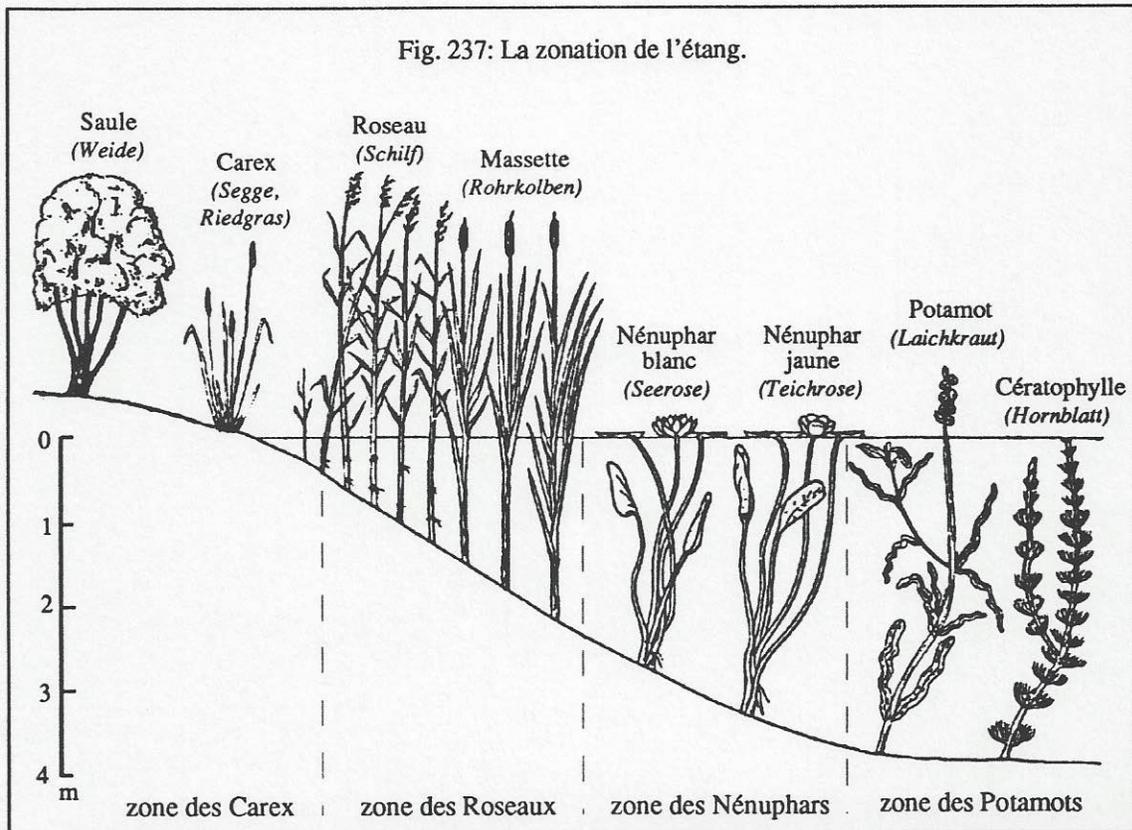
On y trouve des *plantes aquatiques à feuilles flottantes*, comme le Nénuphar blanc (*Seerose*) ou le Nénuphar jaune (*Teichrose*). Il y a également des *plantes flottantes*: Lentilles d'eau, Algues filamenteuses. La faune comprend, par exemple, les Poules d'eau et de nombreux Insectes.

- *la zone des Potamots (Laichkrautgürtel, Tauchpflanzengürtel):*

C'est le domaine des *plantes aquatiques immergées*. A côté des Potamots, on peut citer l'Elodée du Canada, dont la multiplication végétative excessive lui a valu le nom de «peste d'eau».

Généralement les plantes immergées développent des fleurs aériennes, ce qui permet la pollinisation par le vent ou par les Insectes. Certaines ont des fleurs immergées. Chez le Cératophylle, le pollen flotte dans l'eau après sa libération et est amené au stigmate de la fleur femelle par le courant.

La zone des Potamots fait la transition à l'eau libre.



### La répartition verticale des êtres vivants aquatiques

Les organismes aquatiques peuvent se rencontrer à différentes profondeurs. On distingue ainsi :

- *le benthos (gr.: benthos = profondeur):*

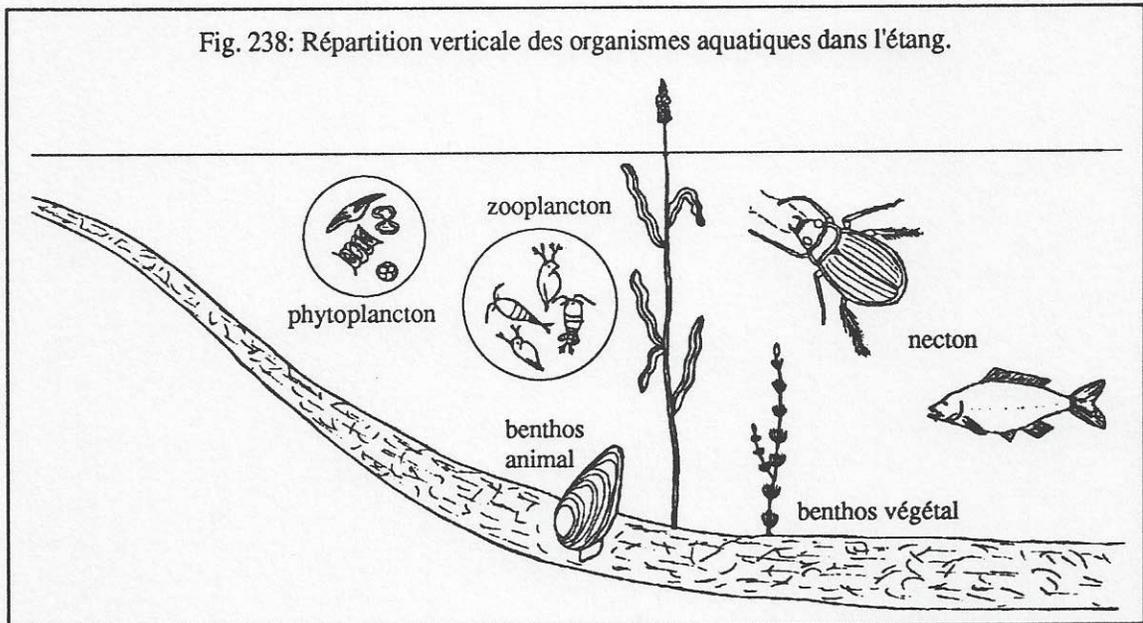
Il comprend les végétaux et les animaux vivant au fond de l'eau ou sur les végétaux.

- *le plancton (gr.: planktos = errant):*

Il est formé par des organismes très petits qui flottent en suspension dans l'eau, passivement ou non. On distingue le *phytoplancton* (plancton végétal) et le *zooplancton* (plancton animal). Le plancton, peu abondant dans les cours d'eau, est bien développé dans les étangs et les lacs.

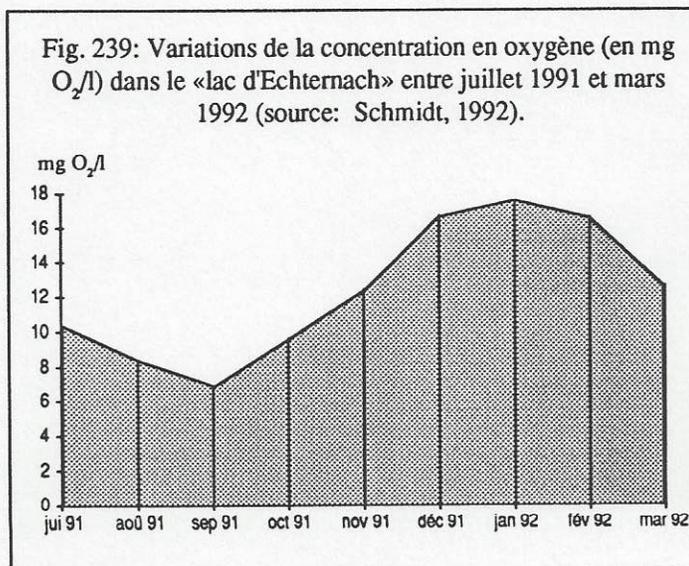
- le *necton* (gr.: *nektein* = nager):

C'est l'ensemble des organismes animaux qui se déplacent activement dans l'eau.



### Les conditions de vie dans l'étang

Le fond de l'étang est recouvert de vase qui est constamment réapprovisionnée par les détritiques végétaux très abondants. Elle loge des détritivores comme les larves de Chironome, les Tubifex, l'Anodonte. Les Bactéries y sont particulièrement nombreuses. Grâce à la température élevée de l'eau du fond (jusqu'à 20°C en été), la dégradation du détritiques est très rapide. L'étang est toujours *eutrophe*, c.-à-d. riche en substances minérales fertilisantes pouvant être utilisées par les autotrophes. Comme l'eau se refroidit pendant la nuit et se réchauffe pendant le jour, la circulation thermique de l'eau est intense. Il y a un brassage rapide des substances minérales qui se dispersent dans toute la masse d'eau de l'étang, favorisant ainsi une *vie végétale et animale intense*.



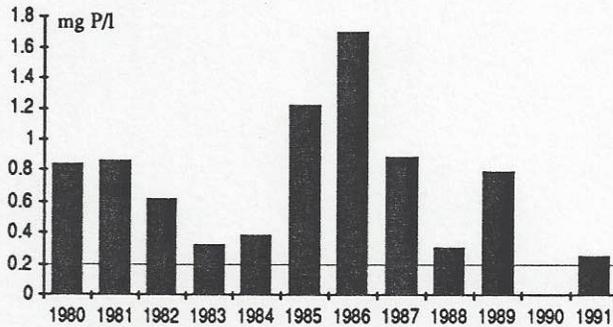
Celle-ci est, entre autres, attestée par la présence d'un très abondant *phyto-* et *zooplancton*: on a compté 10.000 Algues planctoniques par cm<sup>3</sup> d'eau et 20 g de Daphnies par m<sup>3</sup>.

La production d'oxygène par les plantes aquatiques, notamment les Algues, maintient une bonne saturation en oxygène de l'eau, élément favorable à la vie des animaux aquatiques.

La *productivité* primaire moyenne de l'étang est relativement forte pour un écosystème aquatique: 6 t/ha · an. La productivité secondaire peut atteindre 150 kg/ha · an pour les Poissons, ceci pour une biomasse de 200 kg de Poisson par hectare.

### Documentation: Le «lac d'Echternach», un étang eutrophe.

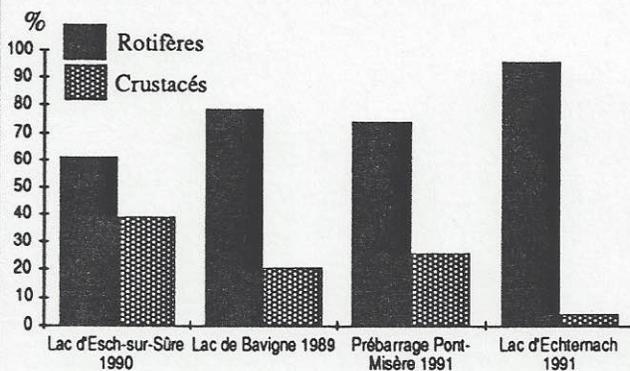
Fig. 240: Variations de la concentration en phosphates (en mg P/l) dans le «lac d'Echternach». Le seuil d'eutrophisation est situé à 0,2 mg P/l. (source: Schmidt, 1992).



La mise en fonction du «lac d'Echternach» a eu lieu en 1977. La teneur en phosphates, qui a été suivie attentivement à partir de 1980, a été très variable au cours des années; elle a longtemps dépassé le seuil d'eutrophisation qui est de 0,2 mg P/l. Ce n'est qu'après la dernière vidange, effectuée en mars 1990, que la situation s'est améliorée du point de vue des phosphates.

Le caractère fortement eutrophe du «lac d'Echternach» est confirmé par l'étude des concentrations en chlorophylle A. La détermination de la concentration en chlorophylle permet de se faire une idée sur la densité du phytoplancton présent dans une eau; ce phytoplancton se développe d'autant mieux que l'eau est plus eutrophe. Avec une concentration moyenne en chlorophylle A de 71 µg/l et une valeur maximale de 343,7 µg/l, le «lac d'Echternach» doit être considéré comme une eau hyper-eutrophe.

Fig. 241: Proportions Rotifères - Crustacés planctoniques dans le «lac d'Echternach» et différentes parties du lac de barrage de la Haute-Sûre (source: Dohet & Hoffmann, 1991 in Schmidt, 1992).



Cette analyse est confirmée par l'étude quantitative des espèces de Rotifères (zooplancton) indicatrices de conditions eutrophes qui sont fortement représentées dans le «lac d'Echternach». Enfin, la très forte prédominance des Rotifères par rapport aux Crustacés planctoniques peut également être interprétée comme un signe d'eutrophisation.

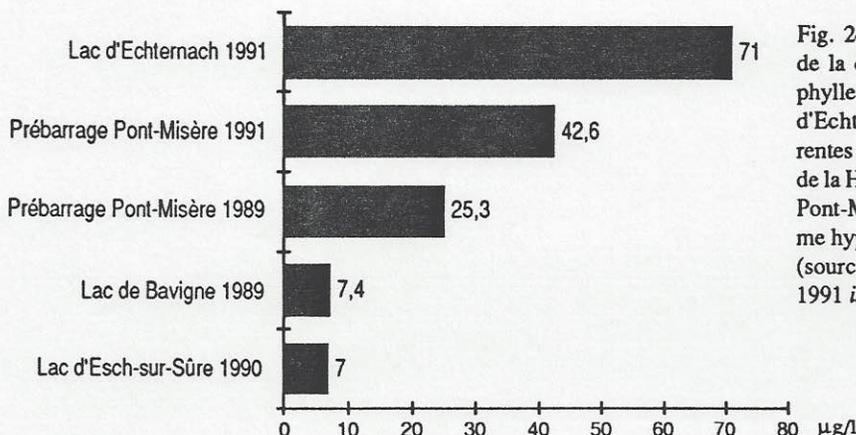


Fig. 242: Moyennes annuelles de la concentration en chlorophylle A (en µg/l) dans le «lac d'Echternach» et dans différentes parties du lac de barrage de la Haute-Sûre. Echternach et Pont-Misère apparaissent comme hyper-eutrophes. (source: Dohet & Hoffmann, 1991 in Schmidt, 1992).

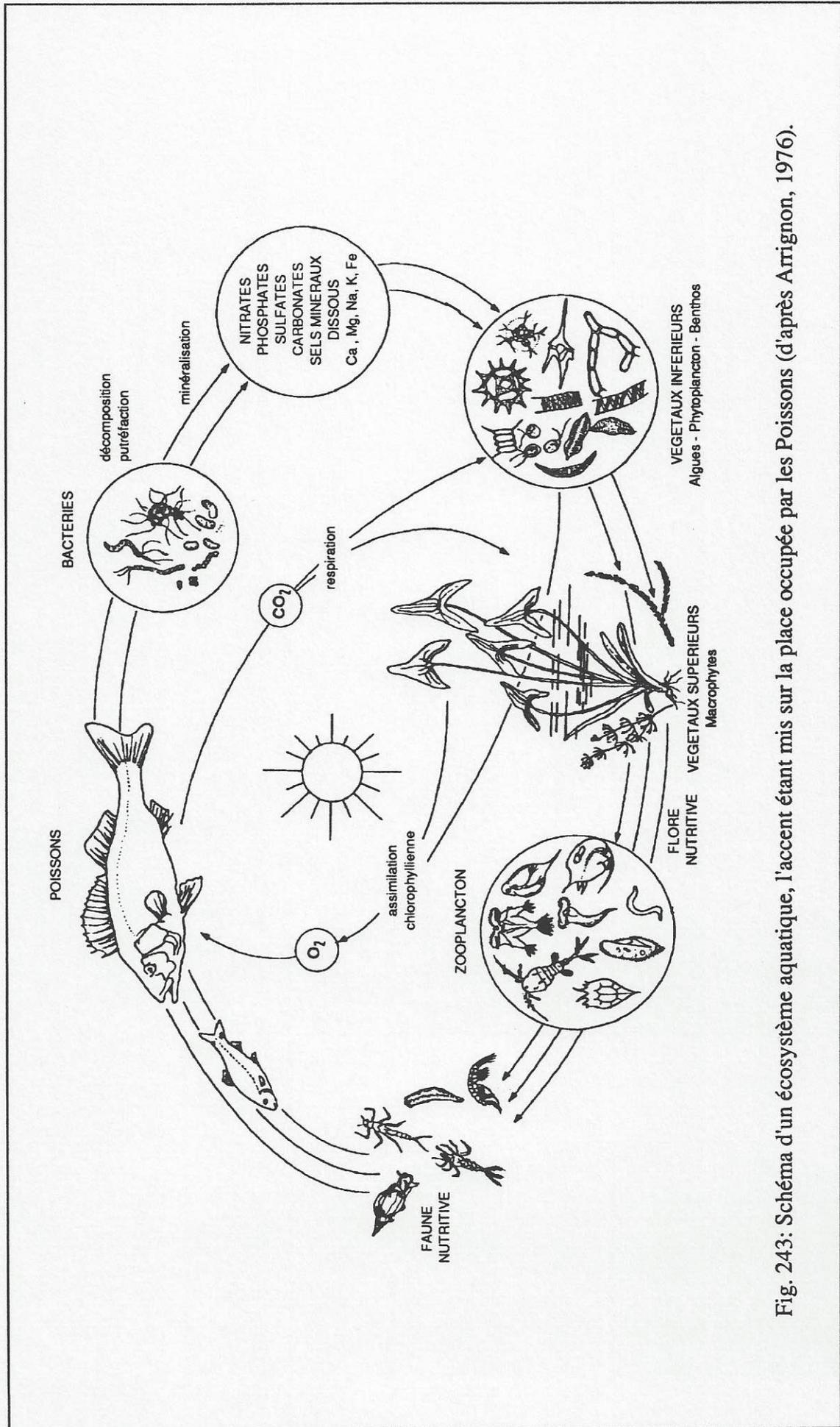


Fig. 243: Schéma d'un écosystème aquatique, l'accent étant mis sur la place occupée par les Poissons (d'après Arrignon, 1976).

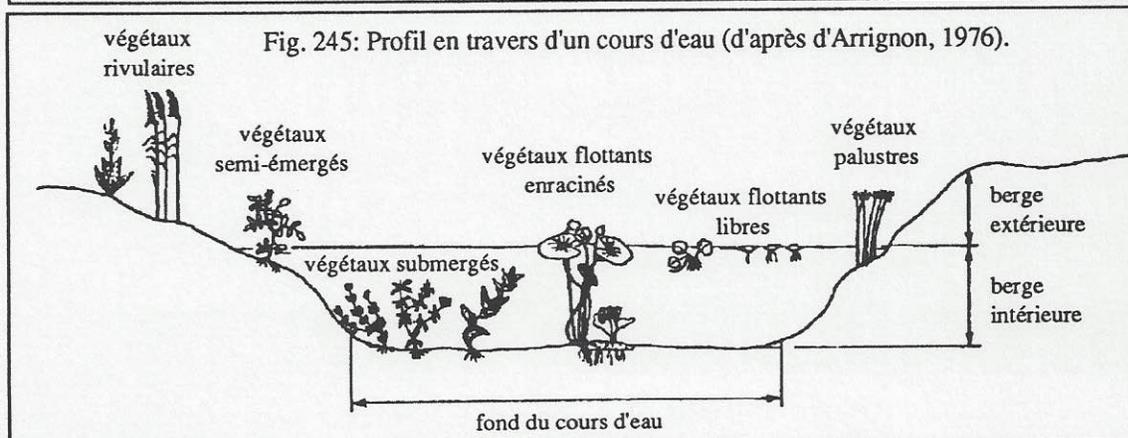
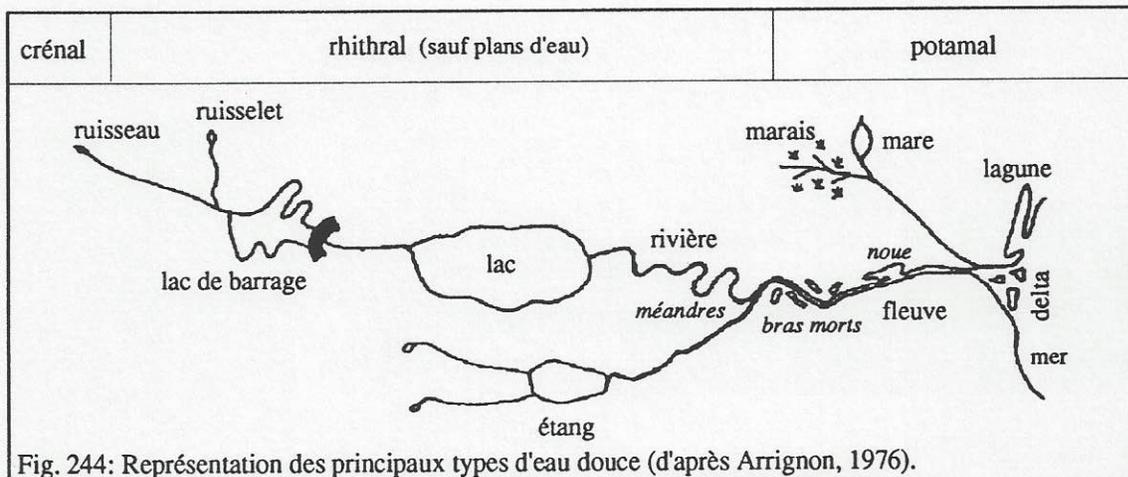
#### 4.5.4. Les cours d'eau

Le courant constitue le facteur écologique dominant auquel les organismes vivants des cours d'eau ont dû s'adapter. Ainsi, les larves d'Ephémères ou de Perlides sont aplaties, ce qui leur permet de se tenir sur ou sous les pierres et de résister au courant (voir p. 176).

La vitesse du courant diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source. Parallèlement, d'autres facteurs changent (température, teneur en oxygène dissous, etc.). Le biotope se modifie progressivement, la biocénose change.

En fonction de l'amplitude de la température annuelle et de la structure du fond de son lit, un cours d'eau peut être subdivisé en trois régions:

- la région de la source, appelée le *crénal*, milieu peu variable, bien oxygéné, à température relativement constante. La biocénose correspondant à ce biotope est le *crénon*, le peuplement des sources, caractérisé par la présence d'espèces sténothermes. Les espèces habitant les sources sont encore appelées: les *crénobiontes* (gr.: *krene* = source).
- le tronçon supérieur, appelé le *rhithral*, où le courant est rapide et l'oxygénation excellente. La biocénose correspondant à ce biotope est le *rhithron*, la biocénose des ruisseaux (gr.: *rheithron* = ruisseau).
- le tronçon inférieur, appelé le *potamal*, où le courant est lent et l'oxygénation mauvaise. La biocénose correspondante est le *potamon*, la biocénose des rivières et des fleuves (gr.: *potamos* = fleuve).



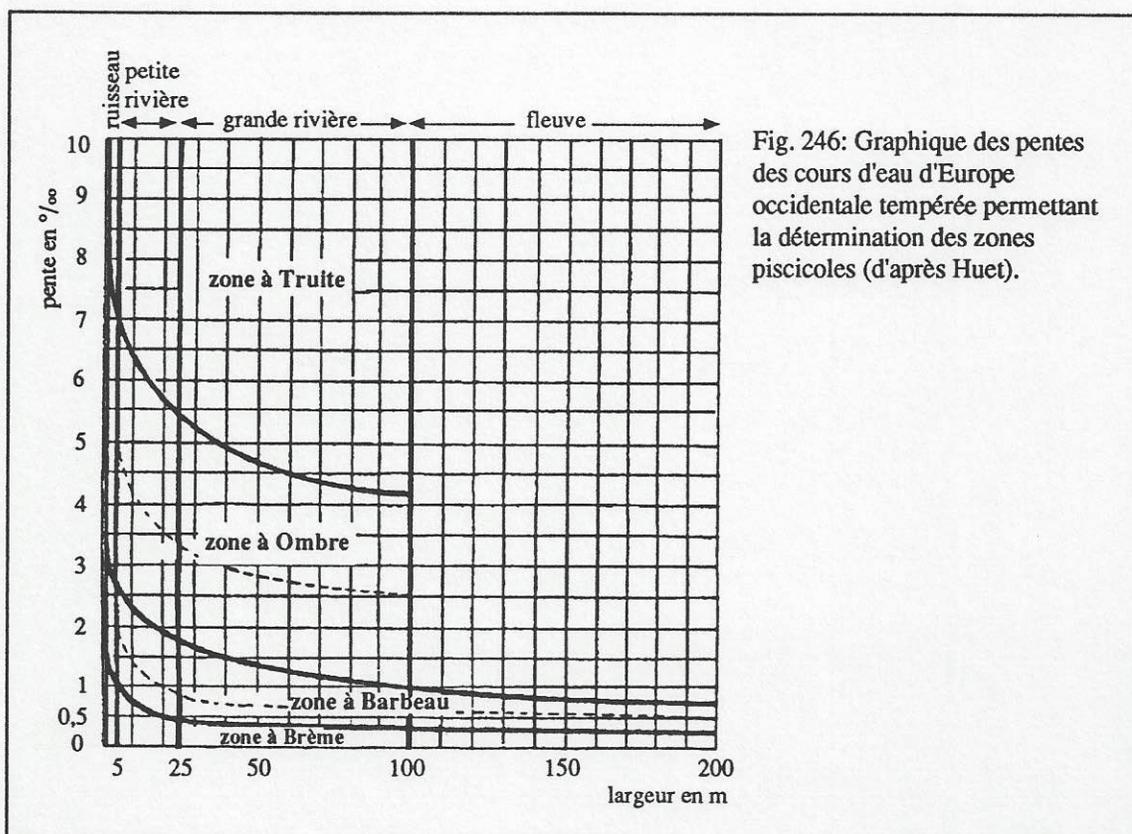
Une autre classification se base sur la pente et la largeur du lit. Elle distingue plusieurs *zones piscicoles* qui se succèdent le long du profil longitudinal d'un cours d'eau et dont chacune est caractérisée par un poisson dominant. Elles sont regroupées de la manière suivante:

□ *région des Salmonidés*; elle se superpose au *rhithral* et se subdivise en:

- zone à Truite (*Forellenregion*),
- zone à Ombre (*Äschenregion*);

□ *région des Cyprinidés*, elle se superpose au *potamal* et se subdivise en:

- zone à Barbeau (*Barbenregion*),
- zone à Brème (*Brachsenregion*).



Tab. 13: Les zones piscicoles au Luxembourg (d'après les données de M. Molitor, 1976; Metz, 1986; Krier 1989a).

zone à Truite	zone à Ombre	zone à Barbeau	zone à Brème
la plupart des ruisseaux et des petites rivières: •Blees, Syre, etc.	•Attert •Eisch •Wark •Mamer •Sûre supérieure	•Alzette (*) •Sûre inférieure	•Moselle
région des Salmonidés (rhithral)		région des Cyprinidés (potamal)	

(\*) avant la pollution

Fig. 247: Les différentes régions d'un cours d'eau (d'après divers auteurs).

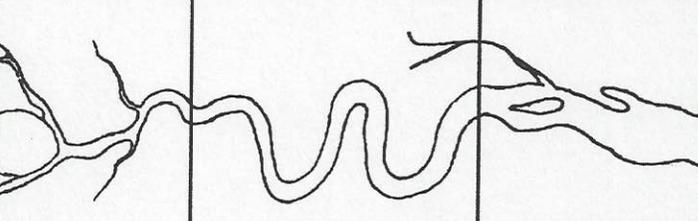
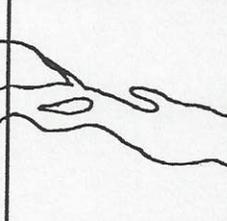
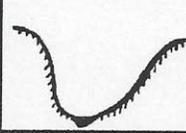
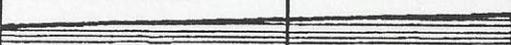
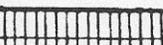
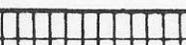
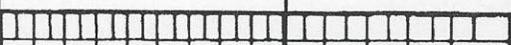
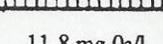
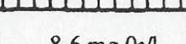
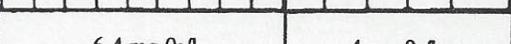
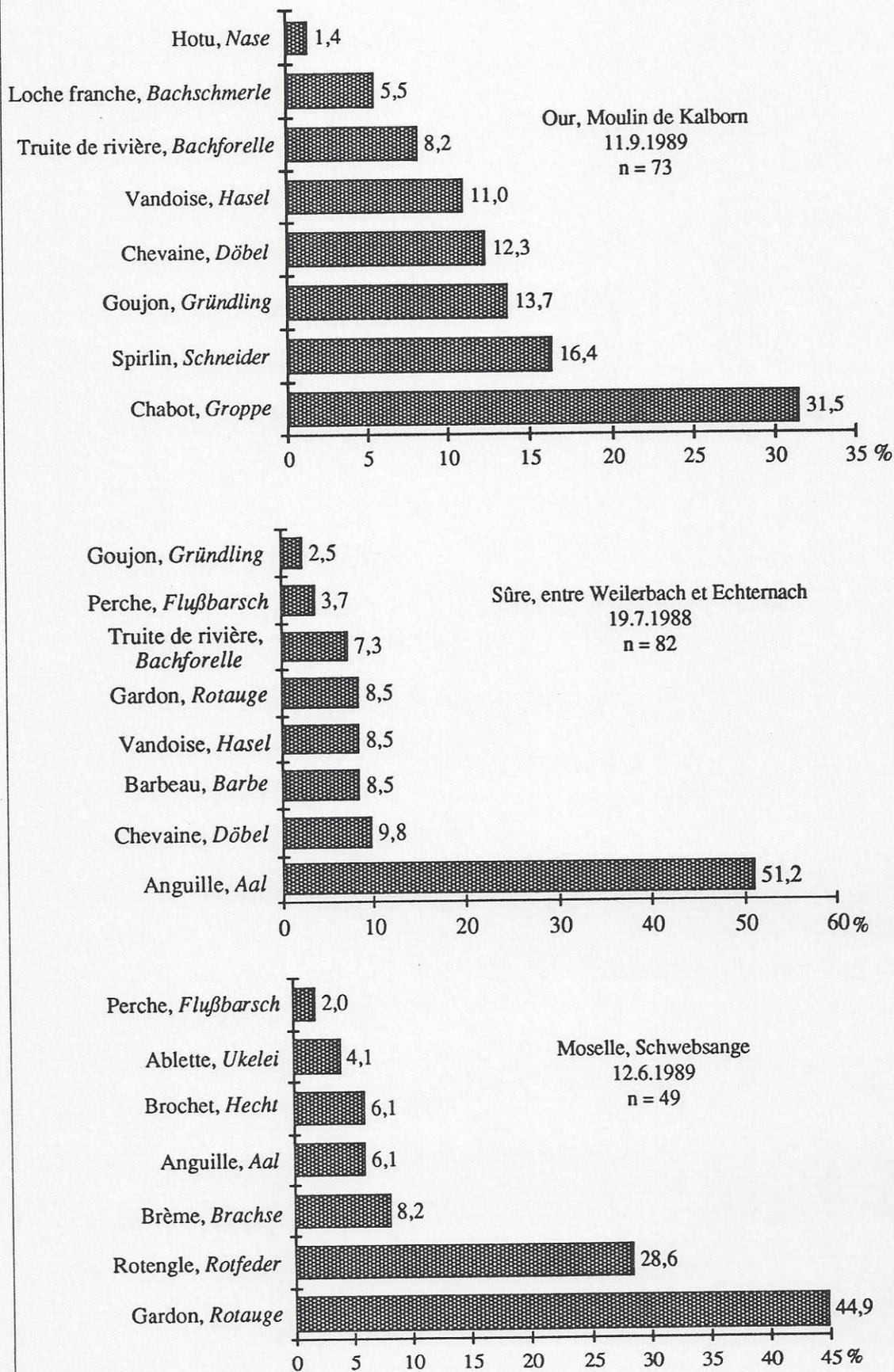
	RHITHRON (région des Salmonidés)		POTAMON (région des Cyprinidés)	
	zone à Truite (Forellenregion)	zone à Ombre (Äschenregion)	zone à Barbeau (Barbenregion)	zone à Brème (Brachsenregion)
zones piscicoles				
profil longitudinal	cours supérieur	cours moyen		cours inférieur
				
plan du cours d'eau				
profil en travers de la vallée				
vitesse du courant				
	100 cm/s	50 cm/s	< 50 cm/s	
volume de l'eau				
nature du fond				
	grosses pierres	pierres/cailloux	gravier/sable	limon/vase
oxygène en surface				
oxygène au fond				
	11-8 mg O <sub>2</sub> /l	8-6 mg O <sub>2</sub> /l	6-4 mg O <sub>2</sub> /l	4 mg O <sub>2</sub> /l
température en été	rarement > 10°C	rarement > 15°C	souvent > 15°C	≥ 20°C
faune invertébrée	larves de Trichoptères à étui constitué de pierres		Gastéropodes + Crustacés	Sangsues + Vers

Fig. 248: Faune ichthyologique de certains tronçons des rivières frontalières luxembourgeoises (Our, Sûre, Moselle). Inventaire basé sur la pêche électrique (n = nombre total des poissons capturés). Diagrammes réalisés à partir des données publiées par Pelz (1991).

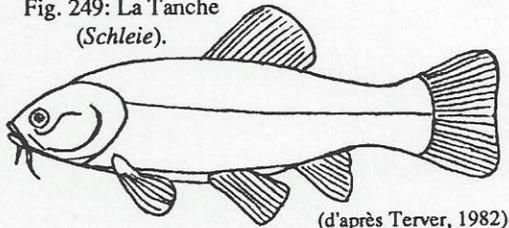


### Documentation: Les cours d'eau luxembourgeois vers 1893

Dans son guide touristique «*Diekirch et ses environs*» le Dr J.-P. Glaesener (1893) décrit les cours d'eau luxembourgeois du point de vue de leur intérêt piscicole. La situation ichthyologique qui se dégage de son analyse est la suivante:

**L'Alzette:** «*Ses eaux lentes et paresseuses, chargées d'un limon fertile, nourrissent beaucoup de poissons, mais de mauvaise qualité. On y rencontre la tanche (Tinca vulgaris).*»

Fig. 249: La Tanche (Schleie).



(d'après Terver, 1982)

**L'Attert:** «*L'eau de l'Attert est extrêmement limpide. Le poisson y est de qualité supérieure. Sans avoir acquis la prédominance sur les autres poissons, la truite n'y est pas rare. En 1799, un saumon de 8 kilogr fut tué d'un coup de fusil sous le pont qui reliait Berg et Colmar.*»

**La Bles:** «*Elle est riche en truites.*»

**La Clerf:** «*Truites et écrevisses de qualité supérieure.*»

**L'Eisch:** «*riche en ombres, brochets et gardons.*»

**L'Ernz blanche:** «*Ombres, truites, écrevisses.*»

**L'Our** «*est très poissonneuse: la truite y abonde. Tous les poissons y surpassent en qualité leurs congénères de la Sûre et de la Moselle.*»

**La Wark:** «*On y trouve des truites et beaucoup d'écrevisses, qui atteignent une grande taille et sont de qualité supérieure.*»

**La Wiltz:** «*Truites.*»

«*Depuis une dizaine d'années, dans tous ces cours d'eau, l'écrevisse a disparu à la suite d'une maladie. Dans la Clerf seule le précieux crustacé commence à réparaître; mais il est encore de petite taille.*»

En ce qui concerne la Sûre, Glaesener signale qu'elle souffre de la dégradation de son milieu par suite de l'activité humaine. Au «bon vieux temps» notre environnement naturel n'était donc pas non plus à l'abri des menaces qui aujourd'hui nous sont si familières!

«*La Sûre était jadis très poissonneuse; mais depuis la construction de la ligne du Nord [ligne de chemin de fer Luxembourg-Gouvy, n.d.a.] et depuis l'établissement d'usines diverses sur son cours, le nombre de poissons a diminué. Dans la Basse-Sûre on rencontre tous les poissons qui existent dans le Grand-Duché, sauf la tanche. La carpe y est rare, mais de qualité supérieure. Depuis quelques années le brochet, auparavant rare, commence à pulluler. On y rencontre beaucoup d'anguilles, assez souvent la perche qui acquiert un poids de un à deux kilogr, rarement la truite. Le saumon monte dans la Sûre pour y frayer.*»

### Documentation: Le Saumon au Luxembourg

Le Saumon est un poisson migrateur des mers nordiques qui doit remonter les fleuves et les rivières pour s'y reproduire; c'est donc un poisson anadrome. L'âge de deux ans environ atteint, les jeunes rejoignent l'océan. Ils reviendront frayer plus tard dans les eaux qui les ont vus naître. Les saumons luxembourgeois sont venus dans nos régions par le Rhin et la Moselle. Dans l'ouvrage cité plus haut, Glaesener (1893) décrit la remontée du Saumon dans la Sûre et ses affluents: «*Si les eaux sont assez abondantes, il commence à monter au mois de septembre pour redescendre à la fin de novembre ou en décembre, après avoir déposé son frai. Il se montre surtout en grande quantité dans la Haute-Sûre à Erpeldange et dans l'Our à Vianden. Il n'entre pas dans l'Alzette, ni dans les deux Ernz, ce qui tendrait à confirmer le fait singulier qu'on croit avoir remarqué, savoir, que le saumon ne monte que dans les affluents gauches du Rhin et dans les*

*affluents gauches de ces affluents. Le plus grand saumon pris, il y a environ 50 ans, au confluent de la Sûre et de l'Alzette, pesait 22 kilogr; des poissons de 12 à 15 kilogr ne sont pas rares.*»



Fig. 250: Saumon (*Salmo salar*, all.: Lachs, Salm). (d'après Hoffmann et al., 1957)

Fig. 251: Nombre des Saumons pêchés dans la Sûre et dans l'Our à la fin du 19<sup>e</sup> siècle (chiffres d'après Blum, 1898).

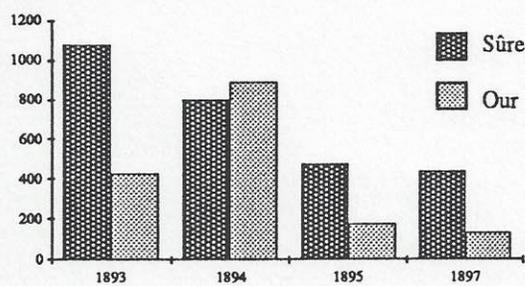
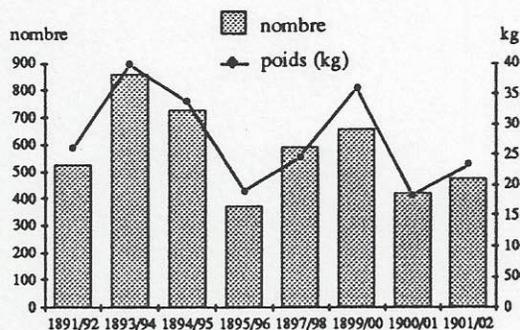


Fig. 252: Bilan des Saumons pêchés dans la Sûre (Grundhof à Erpeldange) et dans l'Alzette (cours sup. jusqu'au barrage du moulin Dagois à Ettelbruck) à la fin du 19<sup>e</sup> siècle (chiffres d'après Badu in Feltgen, 1902).



Contrairement à Glaesener, Feltgen (1902) affirme que les saumons remontaient bien l'Alzette, ceci jusqu'au barrage Godchaux. Feltgen poursuit qu'en cas de crue suffisante de la Sûre ils pouvaient dépasser le barrage d'Erpeldange et même arriver jusqu'à la Wiltz. Il nous informe de plus que dans le temps certains pénétraient dans la Blees et qu'avant le rehaussement du barrage à l'entrée de la Wark, cette dernière était régulièrement rejointe par des saumons qui remontaient jusqu'à l'infranchissable barrage de la Wark. Une vue d'ensemble de la distribution des saumons est donnée par la carte dressée par J. Hoffmann (fig. 252), à laquelle il faudrait ajouter la Chiers qui selon A. de la Fontaine (1873) était également fréquentée par le Saumon, celui-là remontant alors non pas par le Rhin, mais par la Meuse, la Chiers appartenant au système fluvial de cette dernière!

D'après Hoffmann et al. (1957), le plus gros saumon fut capturé en 1902 par H. Jacoby d'Ettelbruck. Il pesait 52 livres et avait une longueur de 1,52 m.

Dans l'Our, le dernier saumon a été pris à Vianden en 1949 (Kitschener, 1984); dans la Prüm ce fut en 1951 (Bores, 1989).

Le dernier saumon luxembourgeois aurait été pêché en 1954 dans la Moselle près de Mertert (W., 1981). A partir de 1956, au plus tard, le Saumon peut être considéré comme n'étant plus apparu dans les eaux

luxembourgeoises. L'espoir de voir réapparaître le Saumon dans nos rivières n'est cependant pas abandonné. Cela pourrait se faire dans le cadre du projet international pour la réintroduction des grands migrateurs dans le système fluvial du Rhin lancé en 1987 par la *Commission internationale pour la Protection du Rhin* (CIPR) et dont l'objectif est la réalisation des conditions nécessaires à la réintroduction du Saumon et de la Truite de mer, puis d'autres migrateurs, en rendant les barrages franchissables et les passes à poissons fonctionnelles (Krier, 1989b). A titre d'essai, des alevins de Saumon ont été déversés en 1992 dans l'Our et la Sûre.

Notice parue dans le «*Echternacher Anzeiger*» du 27 novembre 1887 (N° 94, p. 1):

«*Echternach, 25. Nov. Der Salmenfang scheint dieses Jahr sehr ergiebig zu sein. Die meisten Salme fangen jedoch nicht die Echternacher Fischer in der Sauer, sondern die Irreler in dem Primflusse. Eine Frau von Irrel, welche heute Morgen mit schweren Salmen nach Echternach kam und gleich einen 16-pfündigen zu 10 Franken verkaufte, erzählte, daß ihr Mann diese Woche schon 12 Stück Salme von 12-20 Pfd. mit dem "Wurf" gefangen habe. — Wie man sagt, soll auch die Sauer viele Prachtexemplare bergen, doch waren unsere Fischer bis heute noch nicht so glücklich und mußten sich mit etlichen kleinen Salmen begnügen. Am Donnerstag Abend sahen wir unsere Fischer in einem Nachen auf der Sauer fahren, wie dieselben auf den mühsamen Salmfang mit Fackel und Stecheisen nächst der Brücke ausgingen.*»

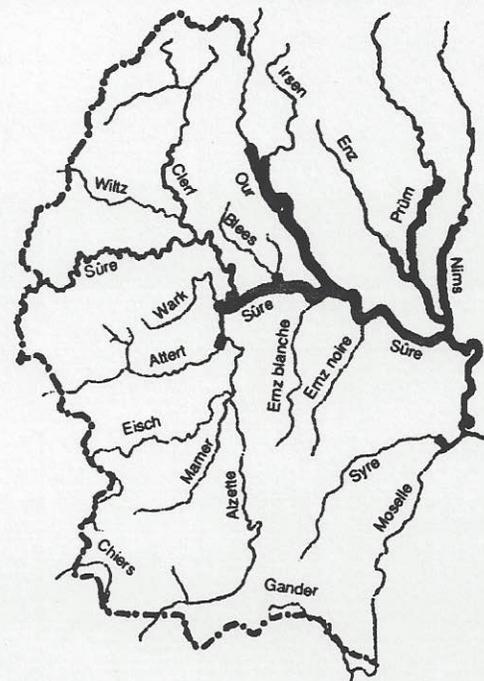


Fig. 253: Répartition des Saumons au Luxembourg (cours d'eau remontés par les poissons figurés par un trait large ou très large) (d'après Hoffmann et al., 1957).

## Documentation: Ausone et l'Esturgeon

Les plus anciennes informations concernant la faune ichtyologique de nos régions, et plus particulièrement de la Moselle, sont incluses dans l'ouvrage poétique «*Mosella*» écrit par le poète gallo-romain Decimus Magnus Ausonius (310-394 ou 395), appelé Ausone en français. Né à Bordeaux, Ausone a été appelé vers 367 à Trèves par l'empereur Valentinien I<sup>er</sup> pour servir de précepteur au jeune prince Gratien. Dans son ouvrage rédigé à Trèves quelque part entre 371 et 375, Ausone parle des poissons de la Moselle dont il cite quinze espèces différentes, parmi lesquelles une espèce qu'il désigne par le nom latin «*silurus*».

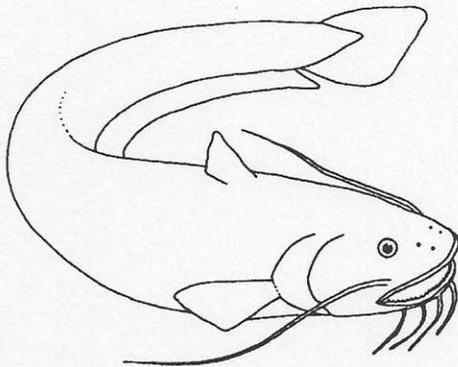


Fig. 254: Le Silure glane (*Silurus glanis*): taille de 1 à 2 m en moyenne; poids d'une centaine de kg. Peut atteindre 3 à 4 mètres et un poids de 250 kg! Voir au sujet du Silure: Kinzelbach (1992).

Les latinistes modernes ont assimilé ce poisson au Silure (*Silurus glanis* L., all.: *Wels*). Du côté luxembourgeois cette interprétation a été adoptée par Sprunck (1958), Bruch (1959) et Ternes (1972, 1983), alors que dans sa «*Kulturgeschichte des Luxemburger Landes*» Nicolas van Werveke (1923-1926) parle dans ce contexte de l'Esturgeon. De même, dans «*Ons Fëschan hiere Liewensraum*» (M. Molitor et al., 1985), les auteurs se demandent si le Silure de la liste d'Ausone ne correspond pas plutôt à l'Esturgeon, un ancien habitant de la Moselle qui n'aurait pas pu échapper à Ausone.

En fait, Alphonse de la Fontaine a écrit en 1873

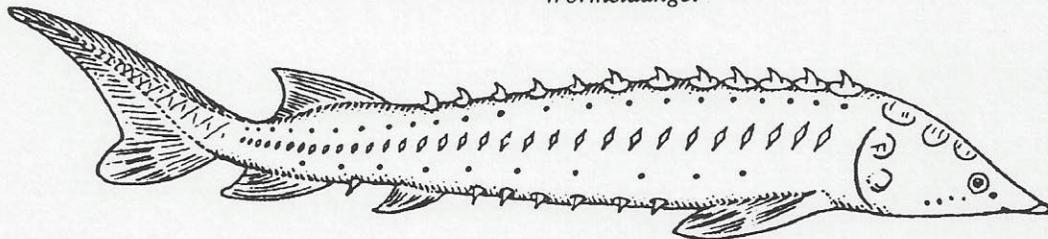


Fig. 255: L'Esturgeon (*Acipenser sturio*): taille moyenne 2 à 3 m; poids moyen 100 à 200 kg. Le poisson peut atteindre 4 à 5 m et un poids de plusieurs centaines de kg. Ses oeufs fournissent le caviar. L'exemplaire pris à Sierck en 1835 mesurait 2,5 m et pesait 100 kg.

déjà que «*c'est à l'esturgeon qu'il faut appliquer les vers suivants d'Ausone:*

*Nunc, pecus aequoreum celebrare, magne Silure;  
Quem velut Actaeo perductum tergora olivo  
Amnicolam Delphina reor (...)*»

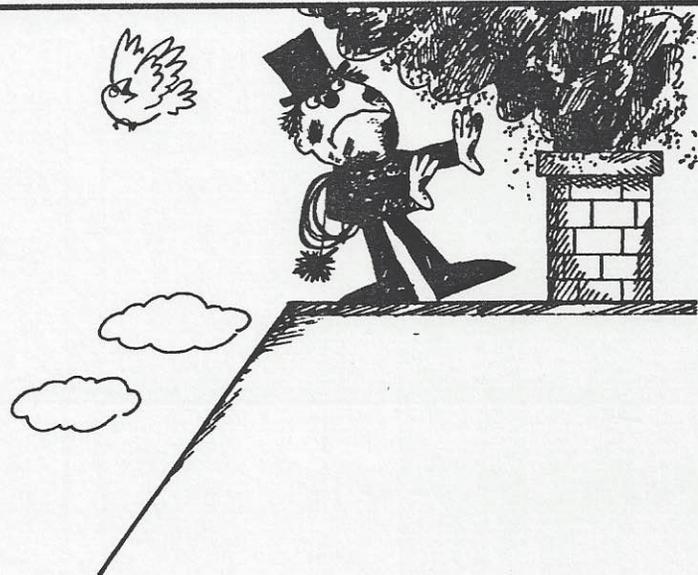
(Maintenant, ô animal aquatique, ô grand esturgeon, c'est ton tour d'être glorifié, toi qui me sembles pareil à un dauphin habitant les flots d'une rivière et dont le dos serait enduit d'huile attique.)

A. de la Fontaine a sans aucun doute connu le travail de Michael Schäfer (1844), professeur de gymnase à Trèves, peut-être aussi celui de Oken (1854), qui tous les deux ont identifié le «*silurus*» d'Ausone comme étant l'Esturgeon. Parmi les articles récents plaidant en faveur de l'Esturgeon citons ceux de Herzhoff (1984) et surtout de Kinzelbach (1985, 1987); ce dernier auteur démontre à l'aide d'arguments linguistiques et zoogéographiques convaincants que le «*silurus*» d'Ausone ne peut être que l'Esturgeon (*Acipenser sturio*, all.: *Stör*, lux.: *Mierstéier*, *Mierstär*) et non point le Silure.

La présence de l'Esturgeon dans la Moselle est attestée par de nombreux témoignages. Dans le temps, ce poisson remontait le Rhin et ses affluents pour y frayer. Cela se passait au printemps, de mars en mai. Il fut à différentes reprises capturé dans la Moselle et la Sûre. En 1776, un Esturgeon de 2,1 m fut pris dans la vanne de Langsur. D'autres furent pris près de Sierck en 1835, sur la vanne de Moersdorf en 1852 (A. de la Fontaine, 1873, J. Hoffmann, 1956). Au sujet des captures, de la Fontaine (1873) précisait: «*Tous les esturgeons qui pénètrent dans la Moselle et la Sûre, ne deviennent pas la proie de nos pêcheurs; il se passe rarement une année, sans qu'on signale la présence d'un de ces gros poissons dans l'un ou l'autre des nombreux bas-fonds qui sillonnent le cours de ces rivières.*» Un esturgeon de taille particulièrement impressionnante fut observé à Remich en 1895 (Feltgen, 1902). L'un des derniers signalements de la présence de l'Esturgeon est donné dans un article que Pierre Weinachter a publié en 1937: «*L'année dernière encore (1936), on a observé le passage d'un esturgeon près de Wormeldange.*»

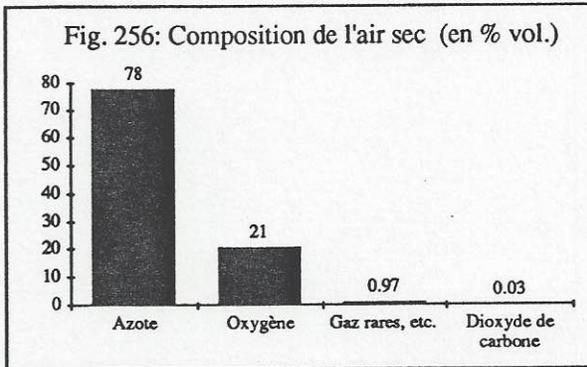
# 5. POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT AU LUXEMBOURG

## 5.1. La pollution de l'air



### 5.1.1. Généralités

Nous respirons environ 26.000 fois par jour, ce qui fait passer de l'ordre de 13.000 litres d'air par nos voies respiratoires. On conçoit l'influence primordiale que la pollution de l'air peut avoir sur notre santé.



La composition chimique de l'air varie peu, abstraction faite de la concentration en vapeur d'eau qui, selon les cas, peut s'élever à 1-4 %.

#### Polluants naturels

Des incendies de forêts ou de steppes provoqués par des causes naturelles produisent des fumées qui polluent l'air. Les éruptions volcaniques (cendres, gaz) et les tempêtes de sable sont d'autres sources de pollution naturelle de l'air.

Des incendies de forêts ou de steppes provoqués par des causes naturelles produisent des fumées qui polluent l'air.

Par leur activité métabolique, les Bactéries et d'autres organismes vivants constituent également une source de pollution non négligeable (rejet d'ammoniac, d'hydrogène sulfuré, d'oxydes d'azote et d'autres gaz, dont même du chlorométhane).

#### Les polluants anthropogènes

Les polluants anthropogènes, c.-à-d. ceux qui sont dus à l'activité humaine, sont fournis par trois sources principales:

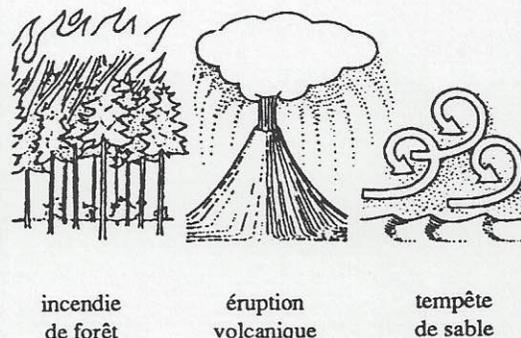
- *la production d'énergie par les procédés classiques:*

Elle se fait par la combustion de bois, charbon, fuel et essence dans les foyers, l'industrie, les centrales énergétiques, les moteurs de véhicules automobiles, de navires ou d'avions.

#### Une pluie de sable saharien sur le Luxembourg

Dans un article publié en 1947, R. Stumper et A. Willems nous parlent d'une pluie de boue qui s'est abattue le 29 mars 1947 sur le Grand-Duché de Luxembourg. Elle donnait lieu à un dépôt de poussière dont la masse était estimée à 0,3-1 g par m<sup>2</sup>, 1.000 à 1.500 tonnes en tout. Le 2 mai 1947 le même phénomène s'est répété, mais cette fois-ci il était de moindre envergure. L'analyse du dépôt a révélé qu'il s'agissait de sable emporté dans les hautes couches de l'atmosphère par une tempête de sable au Sahara et qui avait été transporté jusqu'en Europe occidentale. Des phénomènes analogues avaient par ailleurs eu lieu en 1926 et 1938.

Fig. 257: Exemples de sources naturelles de la pollution de l'air.



Les produits libérés sont les suivants: cendres, dioxyde de soufre, dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, oxydes d'azote, plomb, chlore, benzopyrène, etc.

- *la production de biens à partir de matières premières très diverses:*

Elle libère des poussières (usine sidérurgique, cimenterie), des gaz ou des vapeurs toxiques (industrie chimique), des substances nocives résultant de la métallurgie de métaux non ferreux (aluminium, plomb, zinc, etc.); elle dégage des odeurs désagréables (fabrication de pâtes de papier).

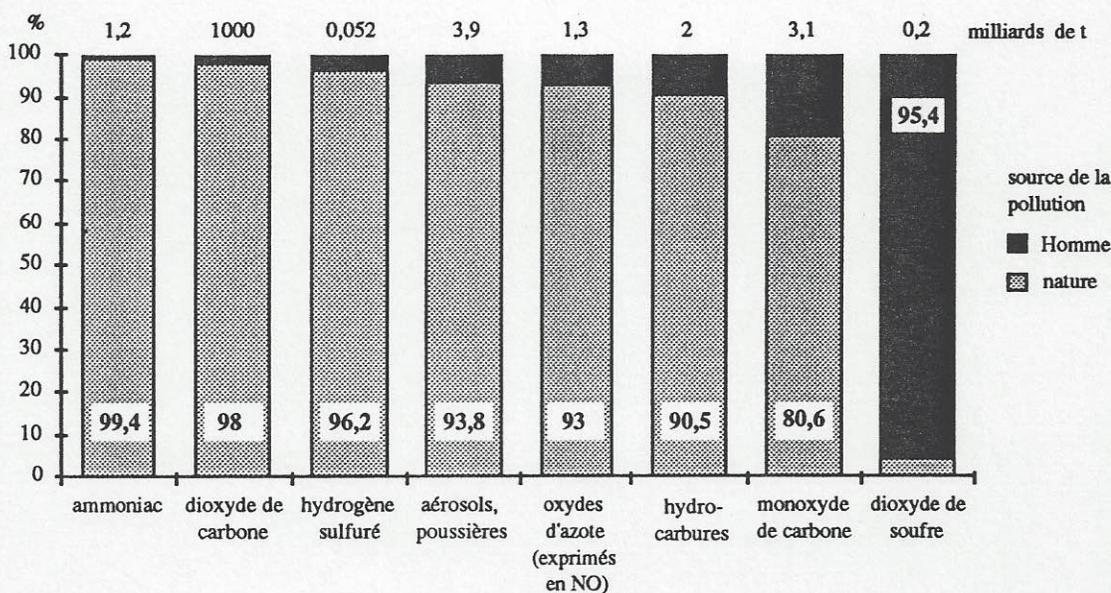
- *l'exploitation de l'énergie nucléaire à des fins militaires ou civiles:*

Elle a abouti à un nouveau type de pollution caractérisé par l'introduction dans l'air de polluants radioactifs.

On a pu identifier des centaines de polluants qui, du point de vue physique, peuvent se présenter sous les formes suivantes :

- gaz ou vapeurs de composés minéraux ou organiques;
- particules solides ou gouttelettes. Les plus fines (<1µm) forment des *aérosols* capables de rester longtemps en suspension dans l'air. Les particules qui dépassent 20 microns finissent par se déposer.

Fig. 258: Aperçu sur les quantités de gaz et d'aérosols introduits dans l'atmosphère par les processus naturels et l'activité de l'Homme (valeurs d'après Kaden, 1990).



On remarquera que le dioxyde de soufre qui parvient dans l'atmosphère est pour plus de 90 % dû à l'activité humaine. Il provient en majeure partie de la combustion de combustibles fossiles (60%); de l'ordre de 24% sont dus à des procédés industriels tels que la fabrication d'acide sulfurique. Le secteur des transports intervient dans une faible mesure. Les volcans constituent une source naturelle d'émission de dioxyde de soufre.

### Émission et immission

La libération dans l'atmosphère d'effluents gazeux, de poussières ou de particules liquides est appelée *émission*. Les valeurs d'émission sont celles qui sont mesurées à la source même de la pollution, la sortie des cheminées, les pots d'échappement, etc. Au sens large, le terme d'émission désigne aussi les substances émises elles-mêmes.

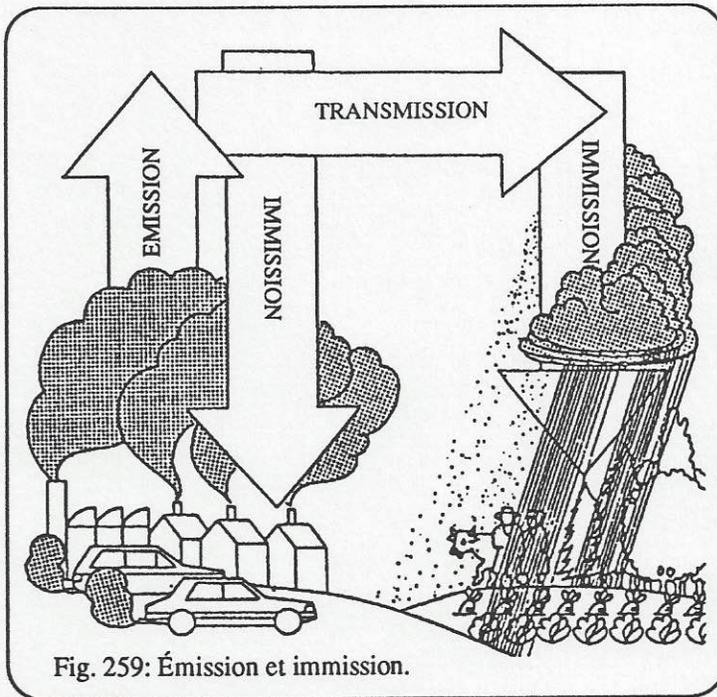
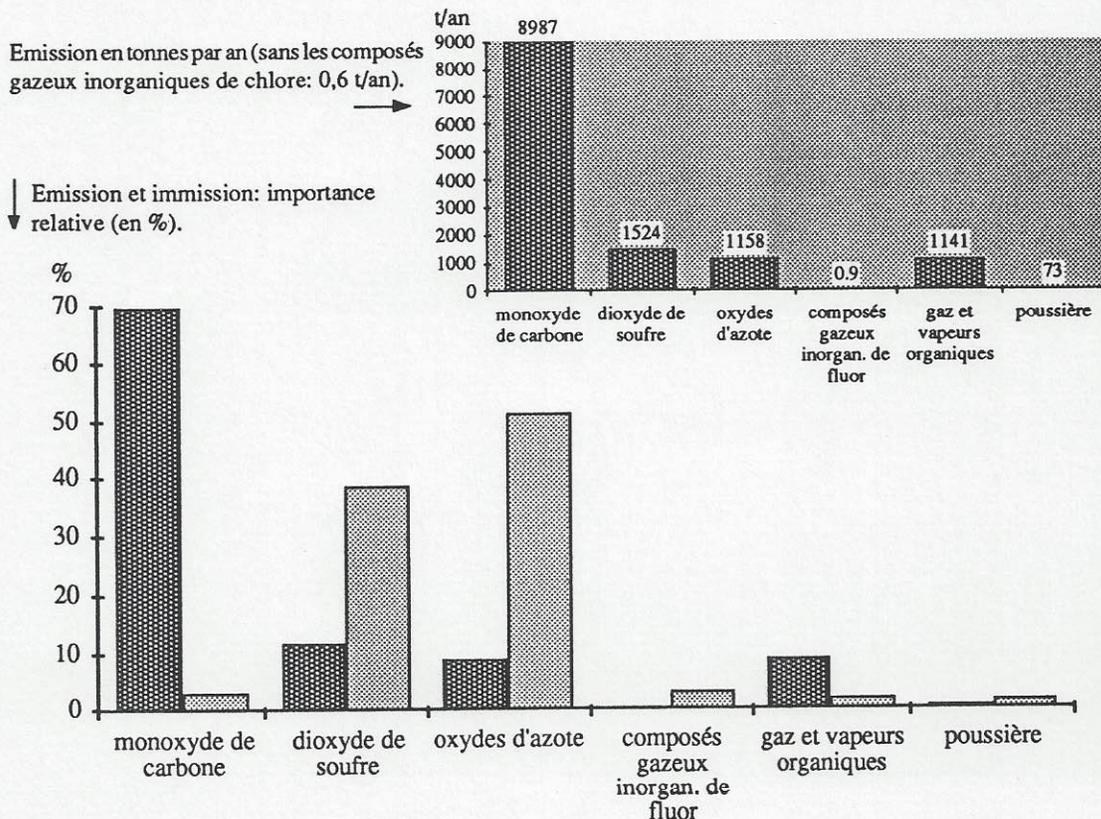


Fig. 259: Émission et immission.

Dans l'atmosphère, l'émission donne lieu à l'*immission*, qui correspond à la présence de substances normalement étrangères à l'atmosphère et capables d'atteindre une cible (organisme vivant, sol), en principe de manière négative.

Entre l'émission et l'immission se situe un transport dont l'étendue peut être très variable, de quelques mètres à des centaines ou des milliers de kilomètres. C'est la *transmission*.

Fig. 260: Emission et immission sur le territoire de la ville de Luxembourg (source: Brieda et al., 1985).



### 5.1.2. Aperçu sur les principaux polluants atmosphériques au Luxembourg

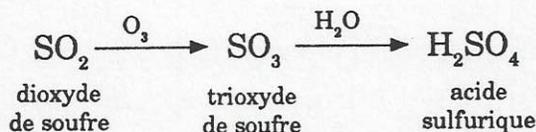
#### Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

Le dioxyde de soufre provient essentiellement de la combustion de charbons et de fuels riches en S. Les principales sources sont les foyers domestiques et industriels, et, dans une bien moindre mesure, les gaz d'échappement des voitures automobiles.

En ce qui concerne le dioxyde de soufre, la situation s'est nettement améliorée au Luxembourg depuis le début des années 1970. Les valeurs limites de la CEE sont largement respectées, ce qui n'exclut pas les fortes concentrations locales passagères. Ainsi, en mai 1980, on a mesuré à Rodange une concentration journalière moyenne maximale de 244 µg/m<sup>3</sup>. En février 1991, une concentration journalière moyenne maximale de 168 µg/m<sup>3</sup> a été constatée à Steinfort; en février 1986, elle y avait même atteint 305 µg/m<sup>3</sup>.

L'explication de ce recul est à rechercher, entre autres, dans la réduction de la consommation de combustibles fossiles, l'usage accru de gaz naturel, l'abaissement de la concentration admissible du soufre dans le fuel et le diesel, des procédés industriels nouveaux, le contrôle obligatoire des installations de chauffage.

Le dioxyde de soufre agit sur les muqueuses des yeux et des voies respiratoires. Il est particulièrement dangereux en cas de «smog» (voir: p. 200). Le dioxyde de soufre peut se transformer en acide sulfurique.



Le dioxyde de soufre devient ainsi l'une des principales sources des dépôts acides (augmentation de l'acidité des eaux et des sols; dégradation des bâtiments, notamment des monuments historiques).

#### Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)

Le trafic automobile est la principale source de production d'oxydes d'azote qui se forment lors de la combustion de l'essence par réaction chimique entre l'azote de l'air et les composés organiques de l'essence. Les foyers domestiques ne jouent qu'un rôle secondaire dans l'émission de ce polluant.

Le pot à catalyseur pourra réduire le rejet par les automobiles. En effet, le catalyseur transforme de l'ordre de 70% des rejets normaux en effluents anodins. Ainsi, les oxydes d'azote sont réduits en simple azote moléculaire (N<sub>2</sub>).

Les oxydes d'azote agissent sur les muqueuses respiratoires. Ils interviennent dans les phénomènes de pluies acides et de smog photochimique.

#### Le monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore et inodore se formant lors de la combustion de combustibles fossiles lorsque l'apport d'air est insuffisant. On a

Fig. 261: Concentrations mensuelles moyennes en dioxyde de soufre de l'air mesurées en diverses localités luxembourgeoises au cours de l'année 1989 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

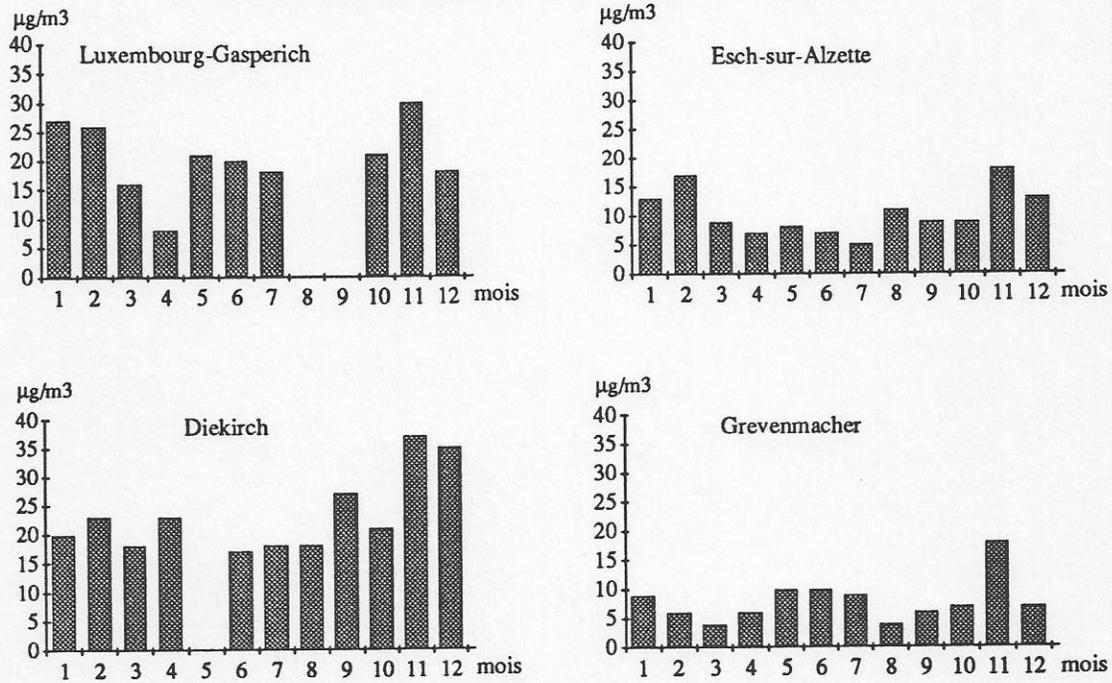
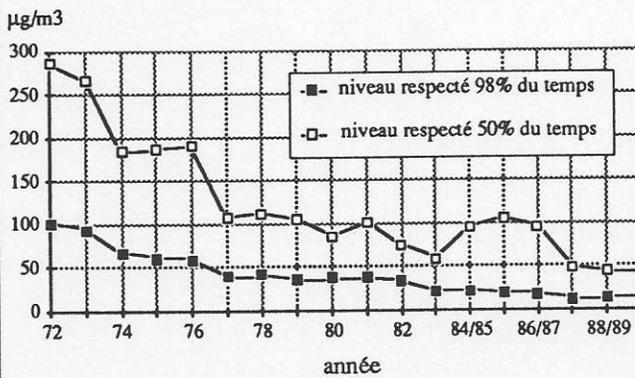


Fig. 262: Concentration en dioxyde de soufre de l'air du Grand-Duché de Luxembourg de 1972 à 1989/90 (moyennes annuelles en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

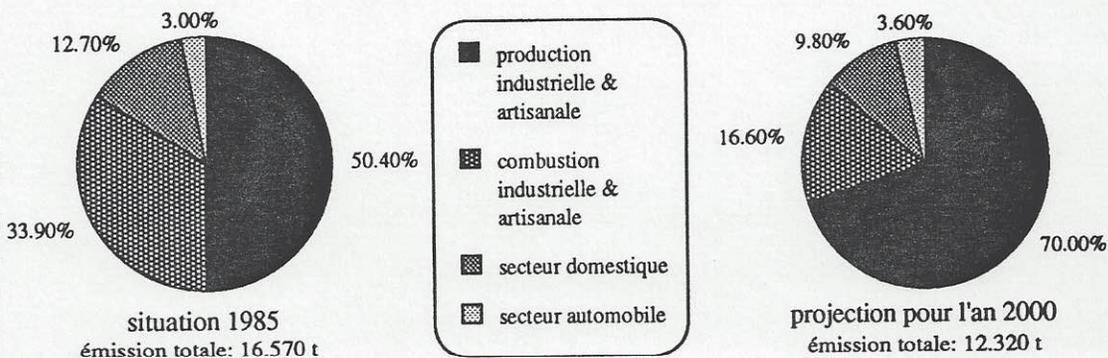


valeurs limites proposées par la CEE (en fonction de la fumée noire):  
 niveau respecté 50% du temps: 80/120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 niveau respecté 98% du temps : 250/350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tab. 14: Concentration en SO<sub>2</sub> de l'air du Grand-Duché (moyennes annuelles en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Année	Niveau respecté 50% du temps	Niveau respecté 98% du temps
1972	101	286
1973	94	267
1974	66	184
1975	61	187
1976	59	190
1977	39	107
1978	41	112
1979	35	105
1980	37	85
1981	37	101
1982	33	74
1983	21	59
84/85	22	95
85/86	19	106
86/87	17	96
87/88	12	49
88/89	13	43
89/90	13	41
90/91	13	58
91/92	13	51

Fig. 263: Emission de SO<sub>2</sub> par secteurs (situation 1985 et projection pour l'an 2000).



estimé que le Luxembourg émet annuellement quelque 100.000 tonnes de CO, dont 65 % proviendraient du trafic automobile. La fumée de cigarette contient également du monoxyde de carbone. Le sang des fumeurs montre de ce fait un taux relativement élevé de CO.

Entrant en combinaison avec l'hémoglobine du sang, le monoxyde de carbone empêche le transport de l'oxygène. Il est déjà toxique à un taux de 30 ppm (en certains carrefours parisiens, des moyennes de 2 ppm ont été mesurées, dans le temps, avec des pointes de 100 ppm).

Tab. 15: Emission de monoxyde de carbone sur le territoire de la ville de Luxembourg.  
(source: Brieda et al., 1985)

type d'émetteur	tonnes par an	%
commerce	9,4	0,1
foyers domestiques	1.128	12,6
trafic automobile	7.850	87,3
Total	8.987	100,0

### Les retombées de poussières

Les poussières sont rejetées par les industries, notamment la métallurgie et les cimenteries.

Des mesures faites en été 1956 à Differdange révélaiet de fortes retombées de poussières: en moyenne 3,1 g de poussière par mètre carré et par jour. Par contre, les valeurs relevées en 1957 sur l'un des principaux carrefours de la ville de Luxembourg (Hôtel Alfa) n'étaient que de 0,29 g/m<sup>2</sup>·jour (valeur maximale: 0,47 g/m<sup>2</sup>·jour).

Le problème des poussières se posait donc essentiellement pour le Bassin minier avec ses usines sidérurgiques. L'analyse de la fig. 267 montre que la situation s'est nettement améliorée au cours des années. A Esch-sur-Alzette et à Differdange, les retombées de poussières ont régulièrement diminué entre 1973 et 1980. Ceci était dû au remplacement, dans la production de l'acier, du procédé Thomas par le procédé LD-AC et, bien entendu, à la baisse de la production totale suscitée par la crise économique. Par la suite, il y eu une certaine reprise des retombées qui, à Esch-sur-Alzette, dépassent à nouveau les valeurs limites admises en RFA.

Les poussières agissent sur les poumons. En médecine du travail, on connaît des maladies graves provoquées par le dépôt massif de certaines poussières dans les alvéoles pulmonaires. Ce sont les *pneumoconioses* (gr.: *pneumôn*= poumon, *konis* = poussière; all.: *Staublunge*), telles que:

- la *silicose* (dépôt massif de poussière riche en quartz);
- l'*asbestose* provoquée par l'inhalation d'asbeste (amiante), un produit utilisé jusqu'à une époque récente dans la fabrication des garnitures des freins et dans l'industrie du bâtiment. L'asbeste peut en outre provoquer des *cancers broncho-pulmonaires*. La présence d'asbeste dans des bâtiments a donné lieu au cours des dernières années à des assainissements très coûteux (exemple: bâtiment ayant abrité les bureaux de l'Education nationale à Luxembourg).

Fig. 264: Concentrations de l'air en NO<sub>x</sub> (oxydes d'azote) mesurées pendant l'année 1990 dans diverses localités du Grand-Duché (mesures effectuées toutes les demi-heures, valeurs en µg/m<sup>3</sup>).

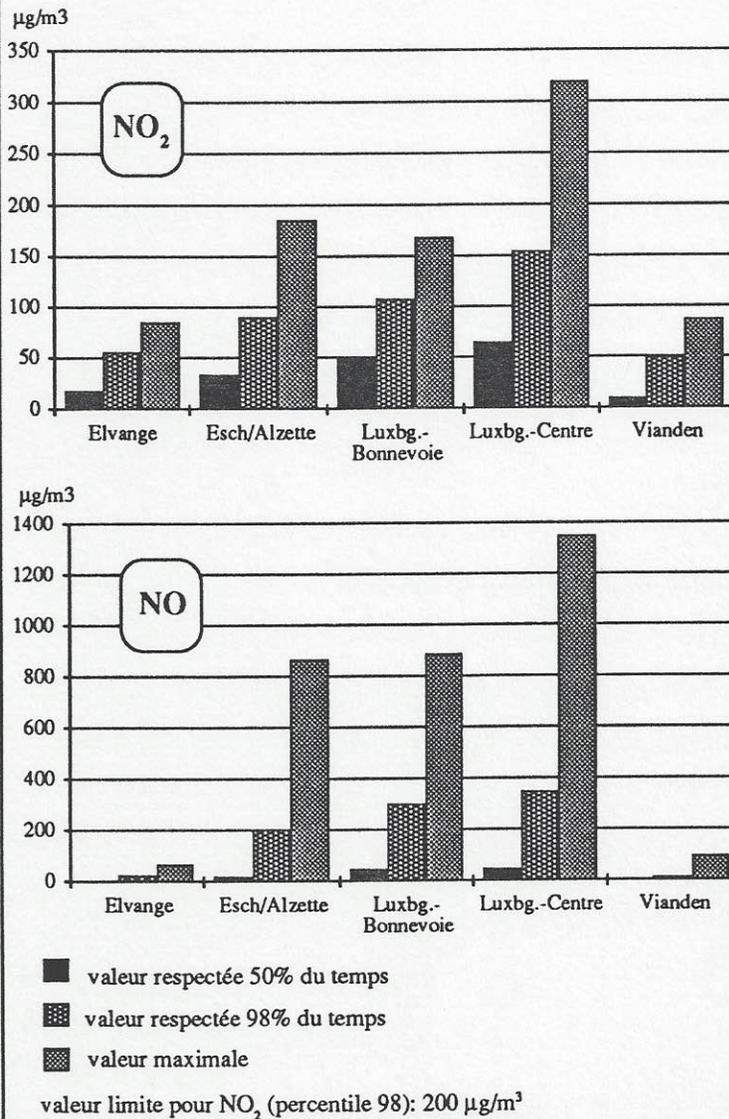


Fig. 265: Emissions de NO<sub>x</sub> au Luxembourg par secteur d'activité.

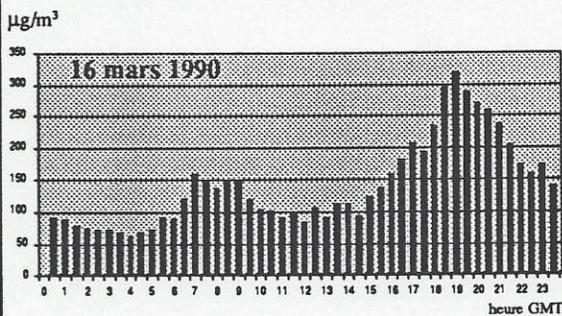
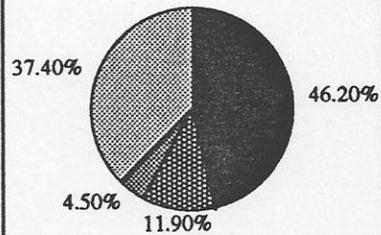
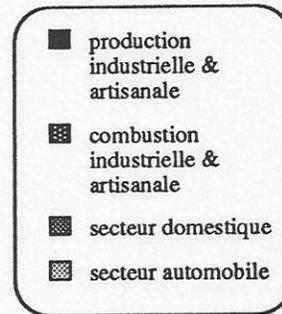
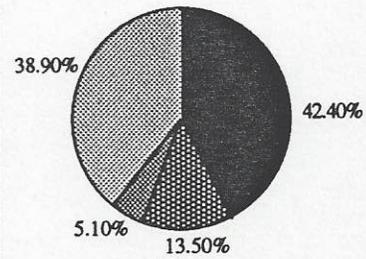
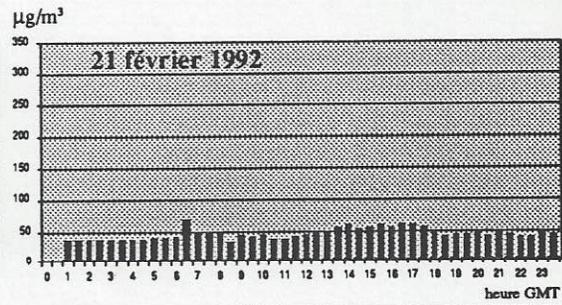
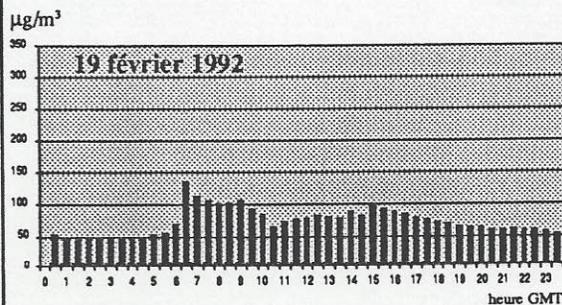


Fig. 266: Evolution de la concentration en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) au cours de la journée au centre de la ville de Luxembourg (µg/m<sup>3</sup>) (mesures effectuées toutes les demi-heures, valeurs fournies par l'Administration de l'Environnement, Division Air/Bruit).



## Le plomb

Le plomb présent dans l'atmosphère provient en très grande majorité du trafic automobile, et plus particulièrement des voitures de tourisme. Celles-ci roulent en effet à l'essence, alors que les poids lourds roulent au gasoil routier dans lequel ne se trouve aucun additif sur base de plomb. L'essence classique contient, en effet, des composés organiques de plomb qui agissent comme antidétonants (tétraéthyle resp. tétraméthyle de Pb). L'utilisation croissante de l'essence sans plomb va réduire de manière drastique l'émission de plomb. En 1985, le rejet de plomb a été estimé à 64 tonnes par an, et il a été calculé qu'en l'an 2000 il ne serait plus que de 5,8 tonnes par an. En 1992, 57,8 % de l'essence vendue au Luxembourg était de type «sans plomb», contre 22,4 % en 1989.

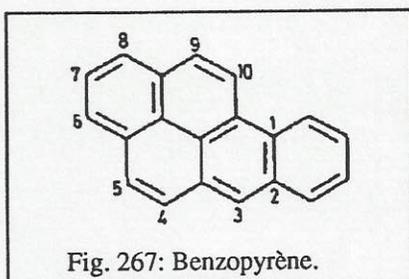
Dans le temps, la consommation de 40 l d'essence (réservoir de contenance moyenne) libérait 16 g de plomb. Depuis 1987, la teneur maximale en plomb de l'essence est limitée chez nous à 150 mg/l. L'essence dite sans plomb ne doit pas dépasser 13 mg Pb/l, les valeurs réellement mesurées au Luxembourg, en 1987, ayant été de 0,1 - 1,8 mg/l. Depuis septembre 1988, la vente d'essence normale plombée est interdite au Grand-Duché.

Le plomb agit sur le système nerveux, le foie, le système circulatoire, le squelette (troubles de la fixation du calcium), le sang (destruction des globules rouges).

A côté du plomb, d'autres métaux lourds sont rejetés dans l'atmosphère, notamment: chrome, cuivre, molybdène, vanadium, zinc.

## Les hydrocarbures

Des hydrocarbures provenant de la combustion incomplète du carburant sont contenus dans les gaz d'échappement des voitures automobiles. Une autre source de pollution par les hydrocarbures est leur évaporation au cours de l'usage de solvants qui en contiennent, ou lors de leur stockage et leur transvasement. En 1985, quelque 1.142 t d'hydrocarbures ont été émises ainsi par les stations-service luxembourgeoises.



Dans les gaz d'échappement se trouve du *benzopyrène* (*Benzopyren*). Il est également contenu dans la suie et le goudron des cigarettes. Il se forme aussi lors de la grillade, lorsque des gouttelettes de graisse tombent dans la braise. Comme bien d'autres hydrocarbures, il est fortement cancérigène.

## L'ozone (O<sub>3</sub>)

La concentration de l'air en ozone est mesurée à Vianden, Luxembourg-Centre, Bonnevoie, Elvange et Esch-sur-Alzette. En 1992, les concentrations moyennes par demi-heure ont été de 57 µg/m<sup>3</sup> à Vianden (maximum: 243 µg/m<sup>3</sup>) et de 11 µg/m<sup>3</sup> à Luxembourg (maximum: 63 µg/m<sup>3</sup>). L'ozone est un gaz toxique à action irritante sur le système respiratoire. Il intervient, en plus, dans les phénomènes de smog photochimique et de dépérissement des forêts.

Fig. 268: Evolution des retombées de poussières dans deux villes industrielles du canton d'Esch de 1973 à 1991 (en g/m<sup>2</sup>.jour).

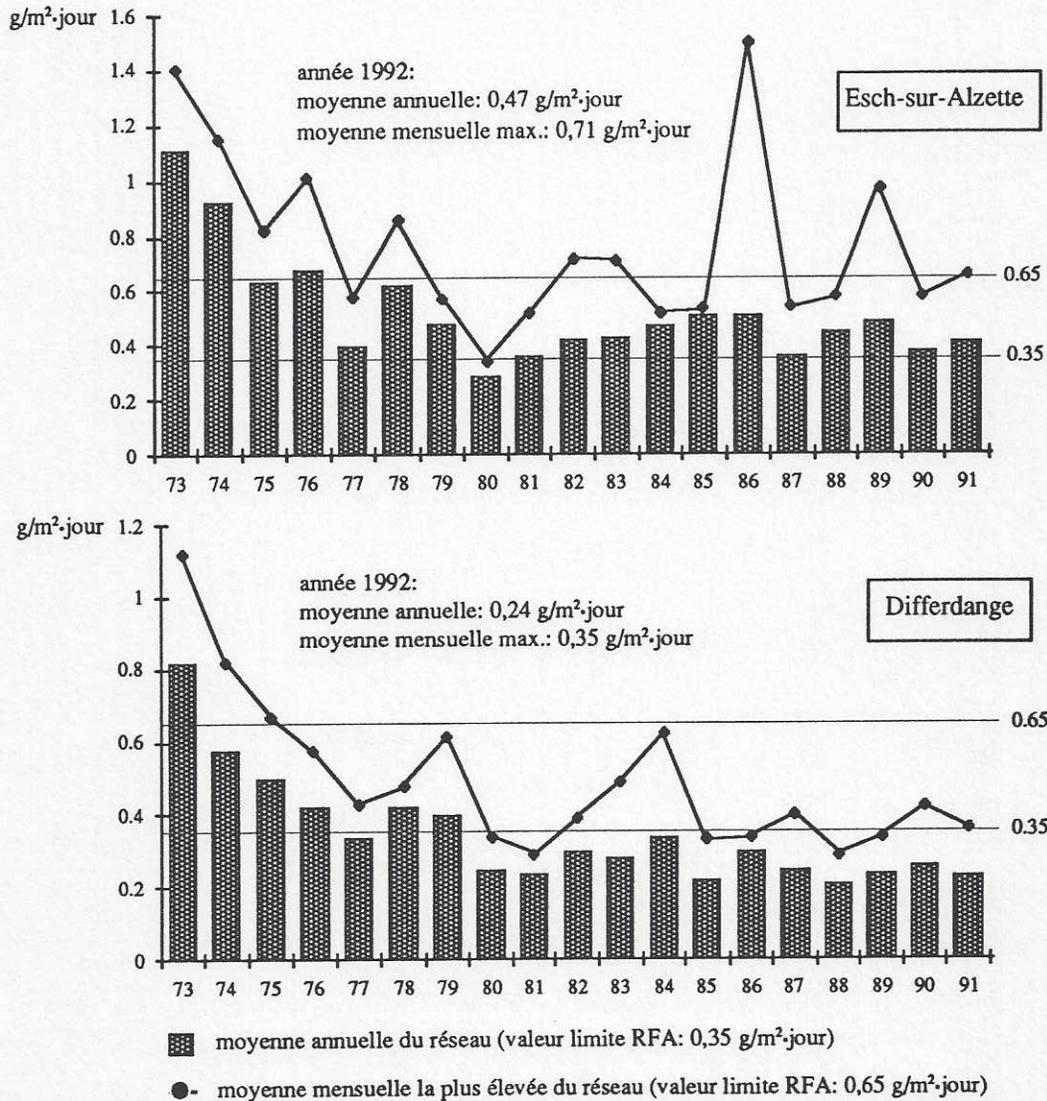


Fig. 269: Les émissions de plomb (Pb) au Grand-Duché de Luxembourg selon les secteurs d'activités.

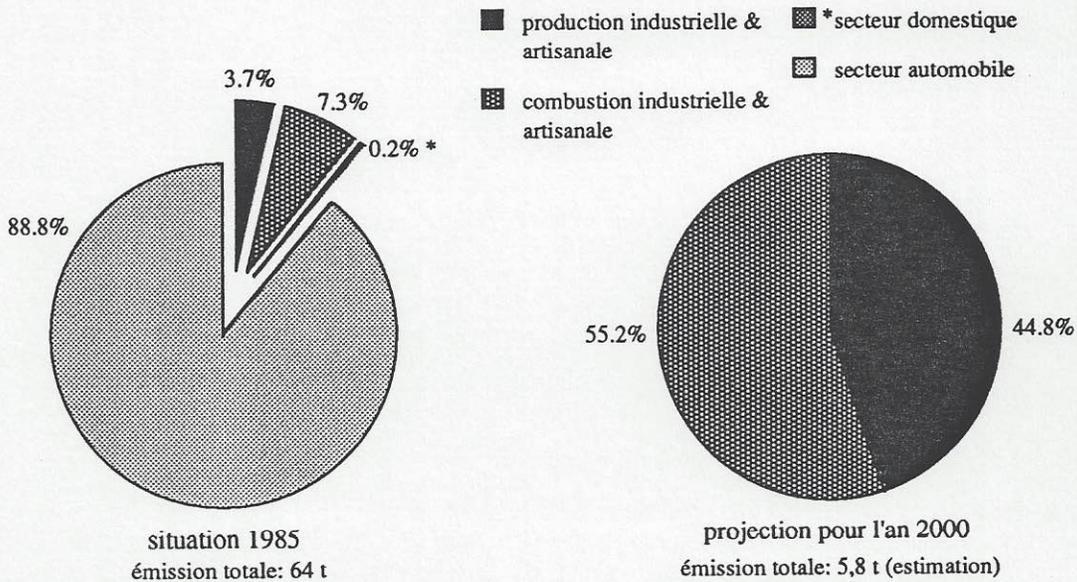


Fig. 270: Pollution atmosphérique au Grand-Duché de Luxembourg par les fumées noires.  
(source: Rapport d'activité 1992, Minist. Environ. Luxemb.)

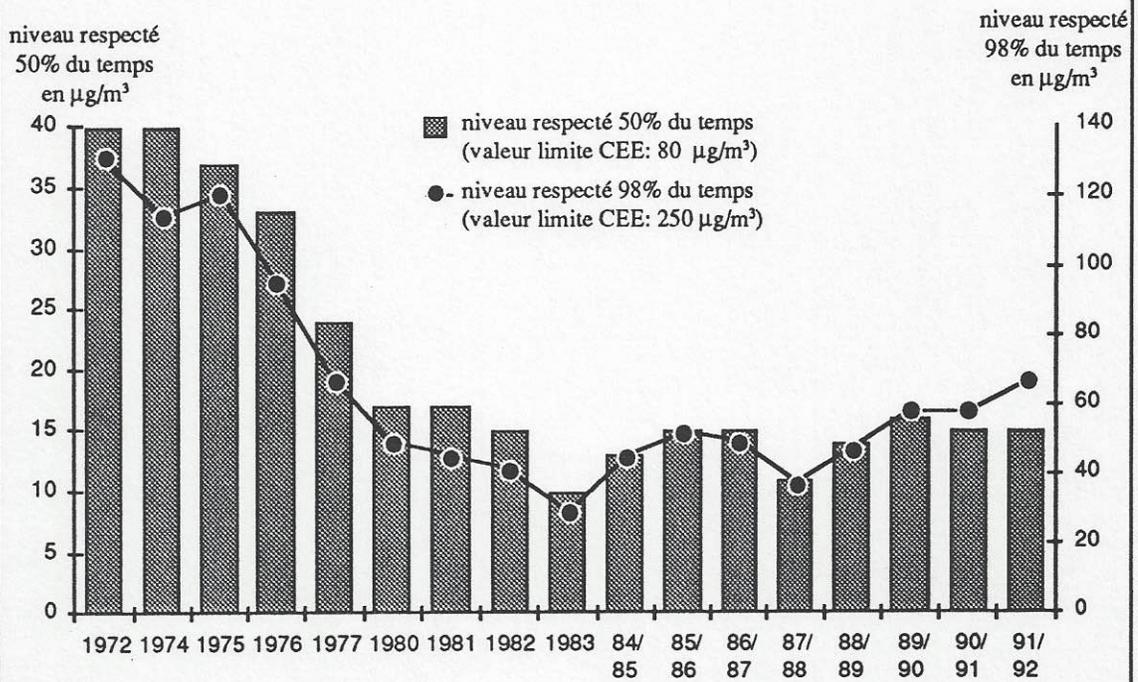
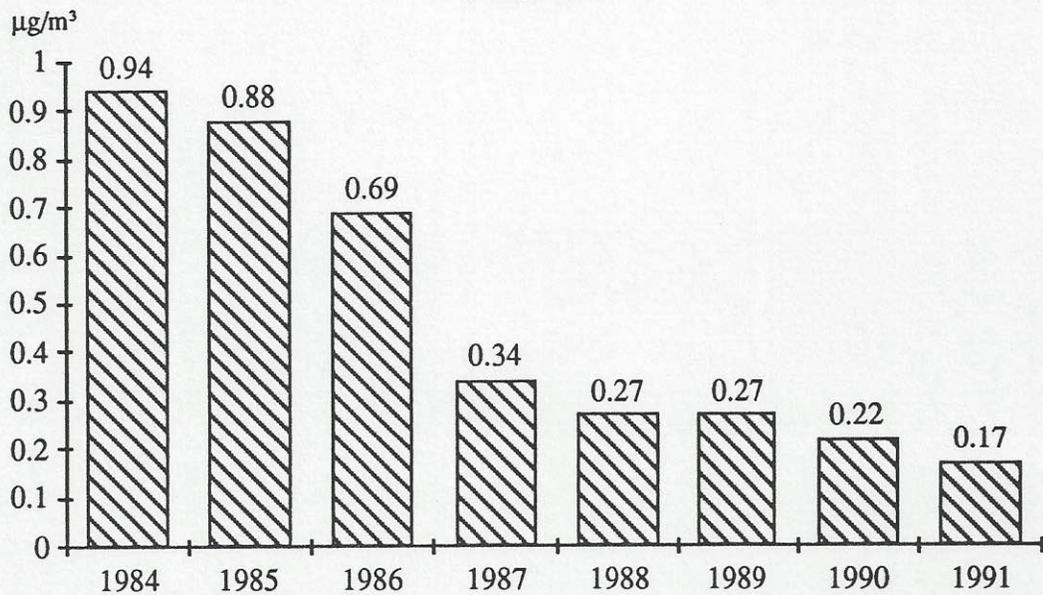


Fig. 271: Evolution de la pollution atmosphérique par le plomb au centre de la ville de Luxembourg.  
(sources: Annuaire statist. 1992, Luxemb.; Rapport d'activité 1992, Min. Environ. Luxemb.)  
(en µg/m³)



Tab. 16: Teneur moyenne en métaux lourds des retombées de poussières à Esch-sur-Alzette  
(en µg/m²·jour) (source : Rapport d'activité 1991, 1992, Minist. Environ. Luxemb.).

période	zinc	plomb	chrome	aluminium	vanadium
déc. 88 - déc. 89	1377	347	454	9240	541
déc. 89 - déc. 90	980	202	142	8415	284
déc. 90 - déc. 91	1187	259	193	8963	400
déc. 91 - sep. 92	1119	200	165	7850	320

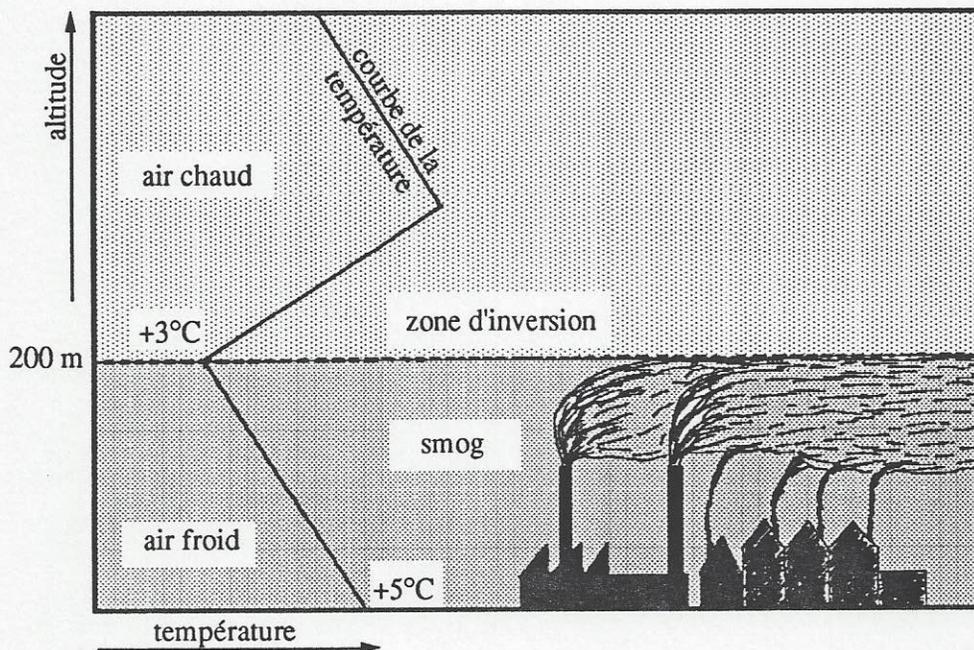
### 5.1.3. Le smog

Normalement, la température de l'air diminue avec l'altitude, du niveau du sol jusqu'à une altitude de 8 à 18 km. L'air proche du sol est plus chaud, donc plus léger que celui des couches supérieures, et il remonte vers le haut. Il entraîne les polluants et assure ainsi leur dilution et leur dispersion.

Dans certaines conditions météorologiques, une couche d'air chaud peut s'installer à faible altitude (à quelques centaines de mètres au-dessus du sol). Au niveau de cette couche, la température ne baisse plus, mais, au contraire, elle se met à augmenter. Il y a une *inversion de température*. Plus froid et donc plus lourd que celui de la *zone d'inversion*, l'air ascendant venu du sol est arrêté par cette zone, qui forme une sorte d'écran impénétrable. La dispersion normale des polluants étant inhibée, ceux-ci s'accumulent dans les couches inférieures de l'atmosphère. Ils y agissent comme noyaux de condensation favorisant la formation d'un brouillard d'autant plus épais qu'il y a plus de fumées. C'est le *smog* (contraction de *smoke* = fumée et de *fog* = brouillard).

Les conditions favorables à la formation de smog sont réalisées en hiver, et cela dans les centres d'industrie lourde et les grandes villes.

Fig. 272: Formation de smog en cas de situation d'inversion.

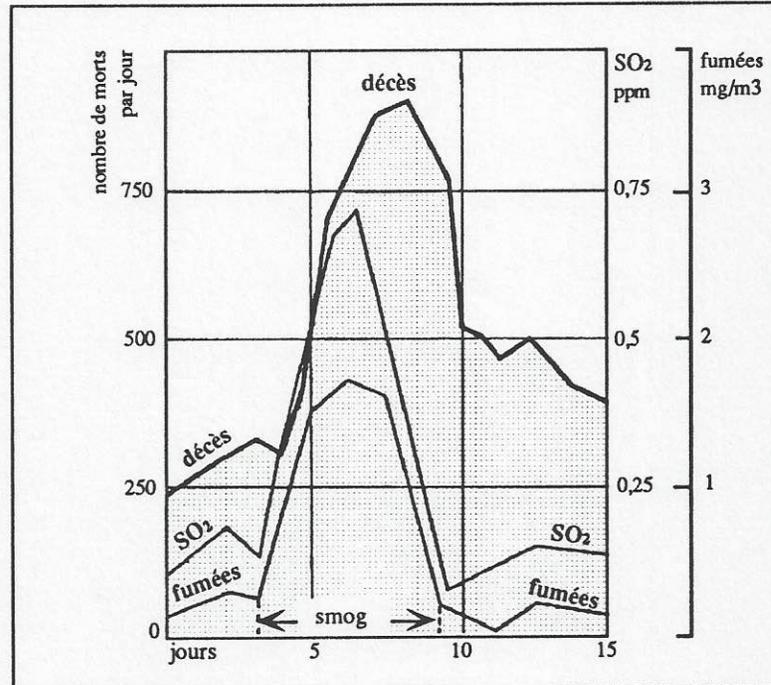


Exemples de catastrophes dues au smog:

- Vallée de la Meuse en Belgique (décembre 1930):  
60 décès (dix fois plus que normalement pendant la même période).
- Londres (du 5 au 9 décembre 1952):  
4000 victimes.

Londres a connu d'autres alertes (1956: 1.000 victimes; 1957: 800 victimes; 1962: 700 victimes). Grâce aux mesures prises depuis lors la situation s'est améliorée.

Fig. 273: Mortalité à Londres en fonction du taux des fumées et du  $\text{SO}_2$  contenus dans l'air lors du smog de décembre 1952 (d'après Ahlheim et al., 1975).



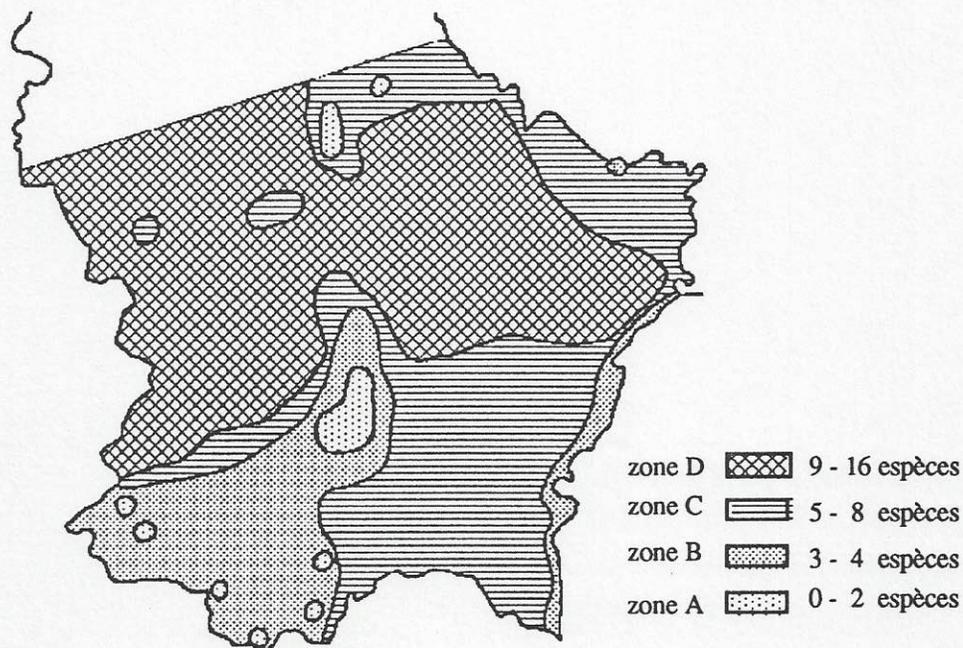
#### 5.1.4. Influence de la pollution de l'air sur la végétation

Les plantes sont surtout sensibles au dioxyde de soufre, dont l'effet est multiplié par la présence de polluants fluorés (acide fluorhydrique, fluorure de silicium). En faible concentration, le dioxyde de soufre entrave la photosynthèse et la respiration; en forte concentration, il provoque une nécrose des cellules. Les dérivés fluorés bloquent certaines enzymes des cellules végétales et perturbent ainsi leur métabolisme. Le bord des feuilles présente un brunissement, dont l'extension entraîne la chute des feuilles et, finalement, la mort de la plante. Par la chaîne alimentaire, les dérivés fluorés peuvent passer aux animaux et à l'Homme. Il peut en résulter une maladie grave, la *fluorose* (lésions des dents, des os et des articulations, troubles digestifs).

Les Lichens sont particulièrement sensibles à la pollution atmosphérique. Certains réagissent déjà à des concentrations d'à peine quelques dizaines de  $\mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2$  par mètre cube. Cette sensibilité prononcée en fait d'excellents bio-indicateurs utilisables pour la cartographie de la pollution atmosphérique.

Au Luxembourg, une première étude de ce genre a été faite en 1978. Elle montre que les Lichens épiphytiques sont nettement plus rares dans le Bassin minier, les villes de Luxembourg, d'Ettelbruck et de Diekirch que dans le reste du Gutland, preuve de la pollution atmosphérique accrue des centres industriels et urbains.

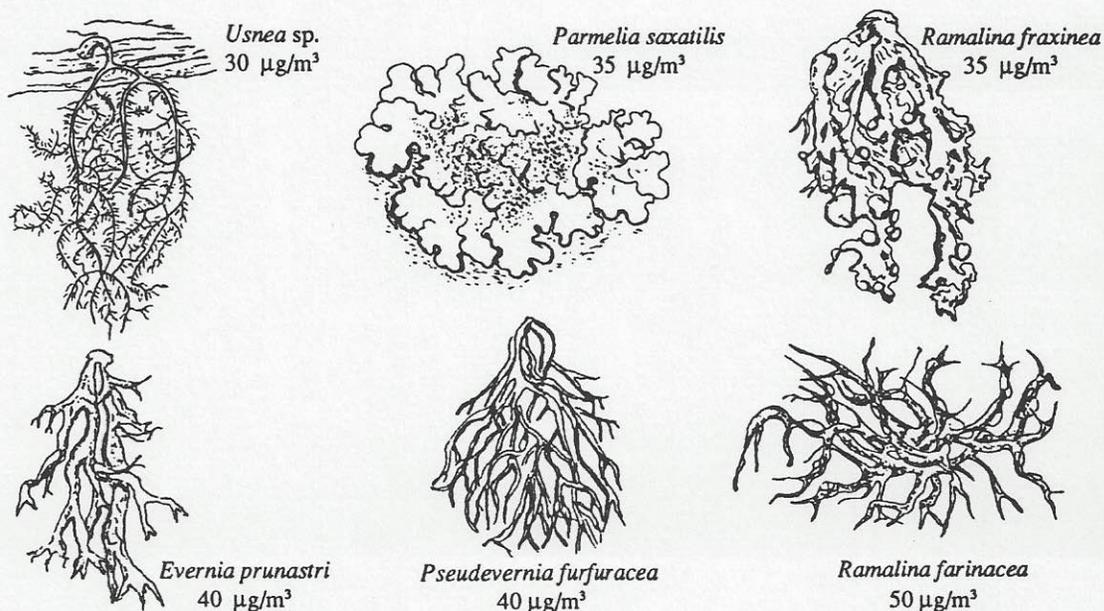
Fig. 274: Répartition des macrolichens foliacés ou fruticuleux indicateurs de la pollution atmosphérique dans le Gutland (G.-D. de Luxembourg) (carte dessinée d'après Diederich, 1981).



- Zone A:** Il s'agit des villes de Luxembourg, Pétange, Differdange, Esch-sur-Alzette, Dudelange, Rumelange, Bettembourg, Ettelbruck et Diekirch, où la pollution atmosphérique est logiquement plus forte qu'ailleurs.
- Zone B:** Elle correspond au Bassin minier, les centres urbains de la zone A exceptés, à la vallée de l'Alzette et à la ville d'Echternach.
- Zone C:** Elle englobe le sud-est du pays, la vallée de la Sûre et certaines parties de la vallée de l'Attert.
- Zone D:** C'est la zone des régions rurales où l'air est peu pollué.

Il n'est pas exclu qu'à côté de la pollution atmosphérique d'autres facteurs aient une influence sur la répartition des lichens étudiés ici. Ainsi, la frappante pauvreté en lichens de la vallée de la Moselle, pourtant peu polluée, doit être mise en relation avec ses conditions climatiques et orographiques particulières (température annuelle élevée, pluviosité faible, altitude faible) qui défavorisent les lichens (Wagner-Schaber, 1987).

Fig. 275: Exemples de lichens servant à la cartographie de la pollution de l'air, avec indication de la concentration maximale de  $\text{SO}_2$  qu'ils tolèrent (dessins d'après May-Rehlinger et al., 1988).



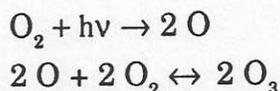
### 5.1.5. Le problème de l'ozone

Le problème de l'ozone se pose à deux niveaux tout à fait différents de l'atmosphère:

- au niveau de la stratosphère, où certains polluants atmosphériques menacent de détruire la couche d'ozone qui protège les organismes vivants contre les rayons UV néfastes du soleil;
- au niveau de la troposphère, donc des couches inférieures de l'atmosphère, où d'autres polluants atmosphériques induisent la synthèse d'ozone dont la concentration dans l'air se voit ainsi augmenter.

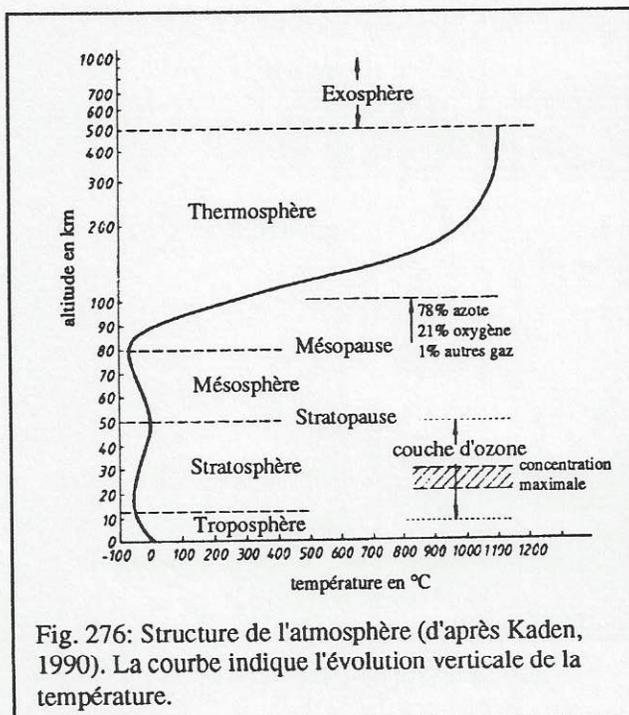
#### Le trou d'ozone

Rappelons que la couche d'ozone se trouve à une altitude de 15 à 50 km. Dans les conditions normales, il y règne un équilibre dynamique entre la production et la destruction d'ozone.



Mais, depuis la fin des années 1970 on sait que cet équilibre est rompu, la destruction prévalant sur la production d'ozone. Dès 1985 une diminution alarmante de la concentration en  $\text{O}_3$  de la couche d'ozone a été constatée au-dessus de l'Antarctique; c'est ce qu'on a appelé le *trou d'ozone*. Par après, le même phénomène s'est manifesté au-dessus des régions arctiques et actuellement il a tendance à prendre de l'ampleur.

L'origine de cette rupture de l'équilibre dans la couche d'ozone est à attribuer à des polluants tels:



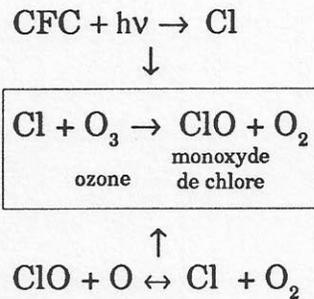
- les *chlorofluorocarbones* (CFC) (all.: *Fluorchlorkohlenwasserstoffe*, FCKW), composés du type  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  (dichlorodifluorométhane) ou  $\text{CCl}_3\text{F}$  (trichloromonofluorométhane) commercialisés sous le nom de *fréon*. Ce sont des produits utilisés comme agents de réfrigération, comme solvants, comme gaz propulseurs dans les bombes à aérosols ou dans la fabrication de certaines mousses et matières synthétiques.

- les *composés du brome*, dont les *halons* (ex.:  $\text{CBrF}_3$ ) utilisés dans les extincteurs;

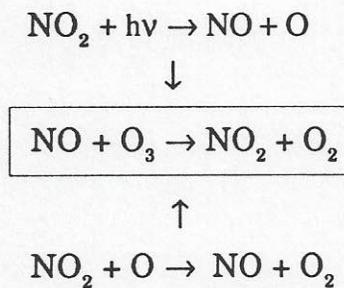
- l'hémioxyde d'azote  $N_2O$  (*Distickstoffoxid*), produit par les Bactéries dénitrifiantes à partir de nitrites et de nitrates du sol;
- le tétrachlorure de carbone ( $CCl_4$ ).

Ces polluants fournissent les radicaux HO, NO, Cl et Br qui agissent comme catalyseurs dans la destruction de l'ozone.

Un seul atome de Cl peut catalyser la destruction de 1.000-100.000 molécules d'ozone d'après le schéma de réaction ci-dessous:



Les autres réactions se déroulent selon le schéma suivant:



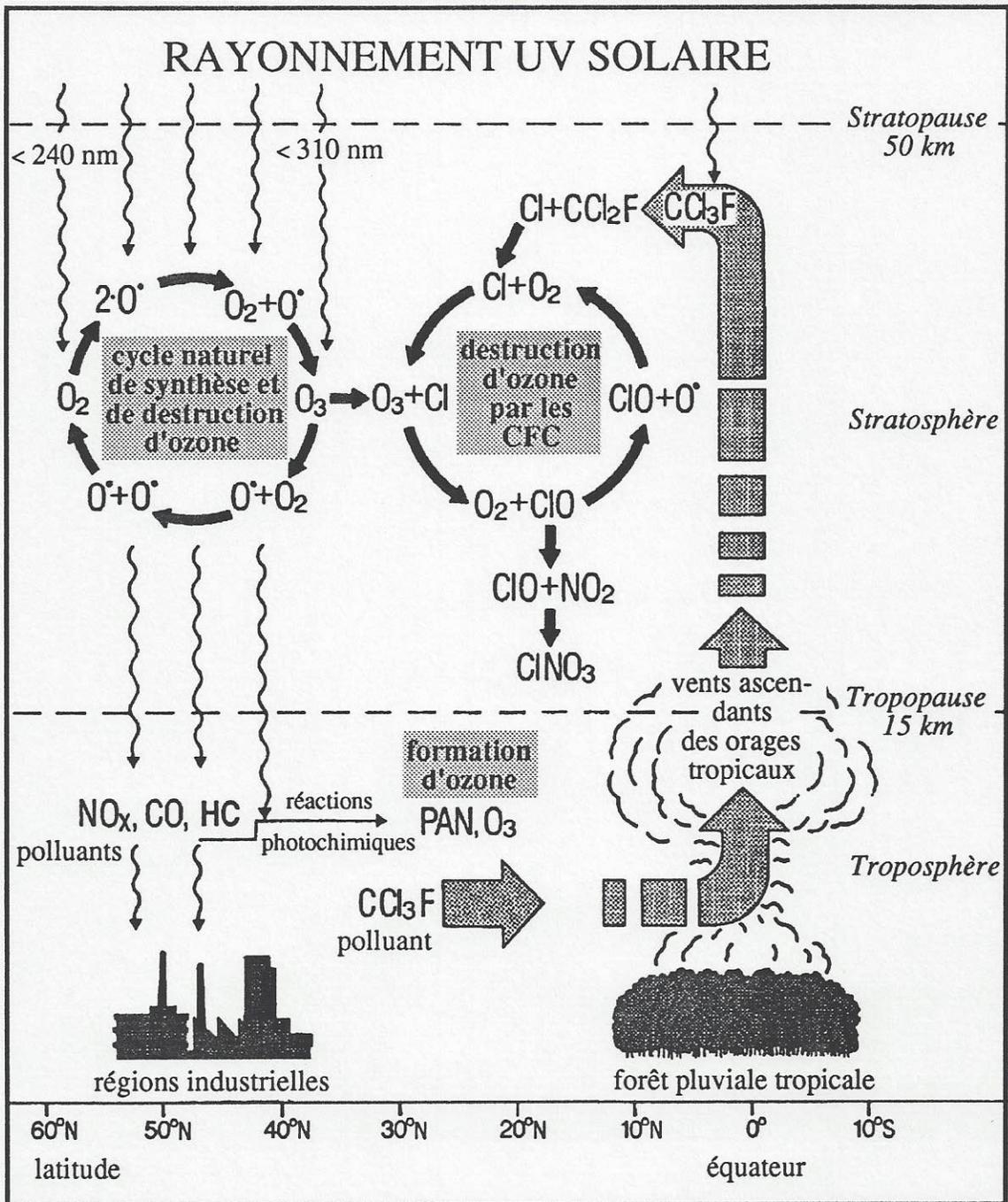
La production mondiale de CFC est de plus de 800.000 tonnes par an. En 1985, 170 tonnes de CFC, dont environ 100 tonnes ont été rejetées directement dans l'atmosphère, ont été utilisées au Luxembourg. Les importations totales de CFC et de halons ont été de 123,2 t en 1990 et de 94,1 tonnes en 1991.

Tab. 17: Utilisation des CFC au Luxembourg en 1985.

Aérosols	88 t
Réfrigération et climatisation	75 t
Autres usages	7 t
Total	170 t

Avec la mise en service de l'unité de production de Tyvek chez Du Pont de Nemours à Contern, la quantité de fréon libéré au Luxembourg a nettement augmenté. Au début, en 1988, l'usine a émis 214 t de fréon (33,7 kg/h). En 1992, l'émission a été de 32,8 t (4 kg/h).

Fig. 277: Effets des polluants atmosphériques sur l'ozone.  
(d'après Böhlmann, 1991)



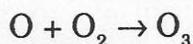
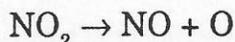
• Au niveau de la stratosphère, les CFC (et d'autres polluants) émis par l'Homme provoquent la destruction de l'ozone. Le cycle naturel de l'ozone qui se déroule dans la stratosphère est perturbé. La concentration de l'ozone diminue; c'est le trou d'ozone.

• Au niveau de la troposphère, de l'ozone se forme par suite des réactions photochimiques avec les  $\text{NO}_x$ . La concentration d'ozone augmente, et la réaction de l'ozone formé avec les hydrocarbures (HC) aboutit à la formation de PAN (peroxyacylnitrates). Le résultat de ces réactions peut être le photosmog ou smog photochimique.

## Le smog photochimique

Dans une atmosphère polluée et fortement ensoleillée, le dioxyde d'azote subit une réaction photochimique sous l'effet des rayons ultraviolets de la lumière du soleil. Il se décompose en monoxyde d'azote et en oxygène atomique qui réagit avec le dioxygène de l'air et fournit ainsi de l'ozone.

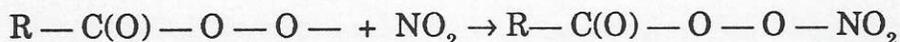
Les réactions s'écrivent de la manière suivante:



L'ozone formé est un *photooxydant*. Il peut réagir avec d'autres polluants atmosphériques, les hydrocarbures imbrûlés, pour produire des *peroxyacyles*:



Ces derniers réagissent ensuite avec le  $\text{NO}_2$  présent dans l'air pour former des *peroxyacylnitrates* (PAN):



Les PAN sont également des photooxydants.

En été, par temps très ensoleillé accompagné d'une inversion de température, ces réactions peuvent mener au *smog photochimique*, encore appelé *smog de Los Angeles*, d'après la ville californienne d'où il a été signalé en premier. Depuis, ce genre de smog estival est apparu en Amérique du Sud, au Japon et même en Europe occidentale.

L'ozone et le PAN sont très nuisibles aux végétaux. Le smog photochimique intervient de ce fait dans les phénomènes de dépérissement des forêts.

Chez l'Homme, le smog photochimique agit surtout sur les voies respiratoires, provoquant des bronchites et favorisant les maladies de type allergiques comme le rhume des foins. De plus, il irrite les muqueuses des yeux, et d'une manière générale, il perturbe le bien-être physiologique et psychique des gens.

### 5.1.6. L'effet de serre et l'effet réfrigérant

Depuis 1850, l'air a vu sa concentration en dioxyde de carbone passer de 0,028% à 0,035%, résultat de la combustion croissante de charbon et de produits pétroliers. Le processus est encore accentué par l'agriculture intensive (oxydation rapide de l'humus) et la destruction des forêts tropicales.

Si la production de  $\text{CO}_2$  anthropogène se maintient au niveau actuel, on peut prédire que le taux du  $\text{CO}_2$  atmosphérique aura doublé vers l'an 2020.

Fig. 278: Niveaux d'ozone mesurés à Vianden pendant la période du 16 au 31 juillet 1991 (mesures effectuées toutes les demi-heures) (d'après: Rapport d'activité 1991, Minist. Environ. Luxemb.).

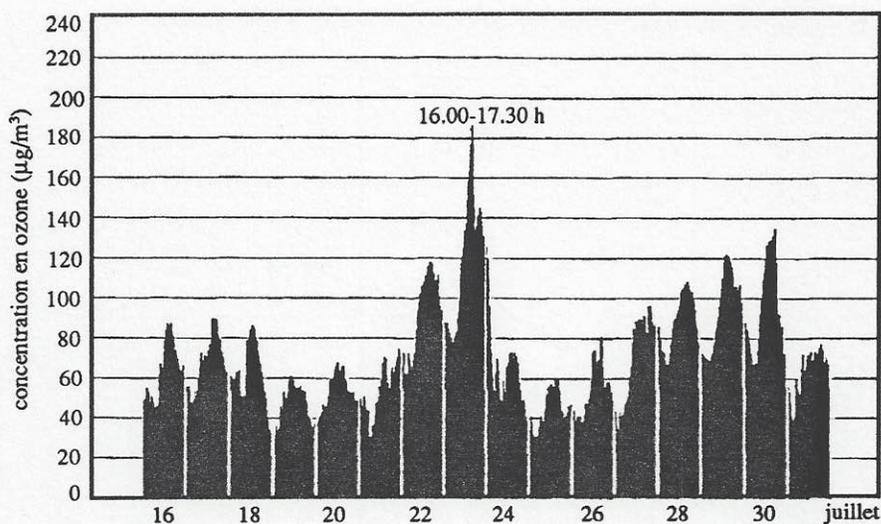
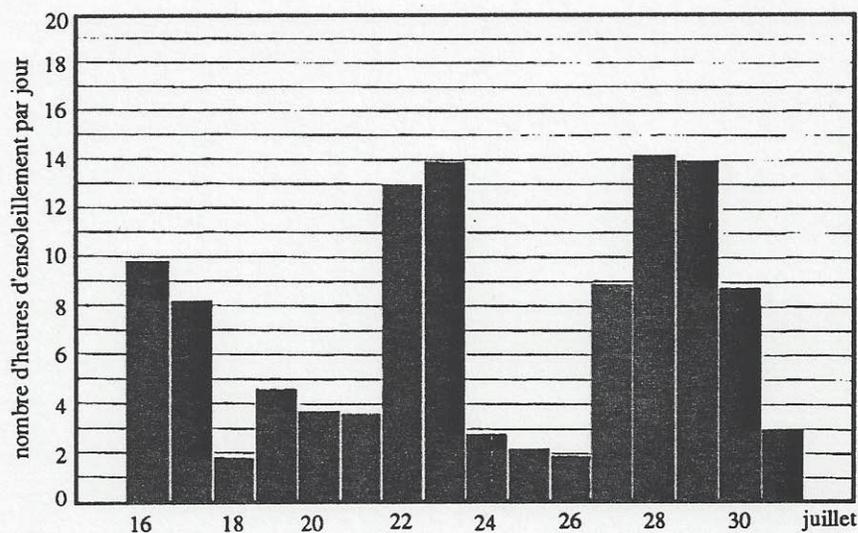
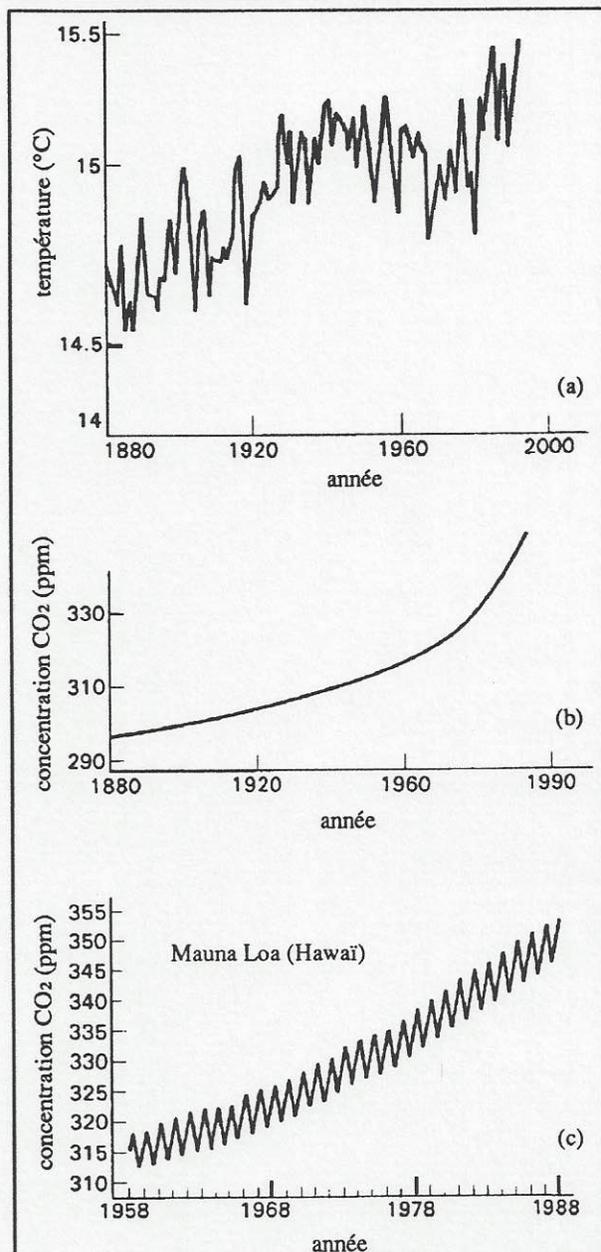
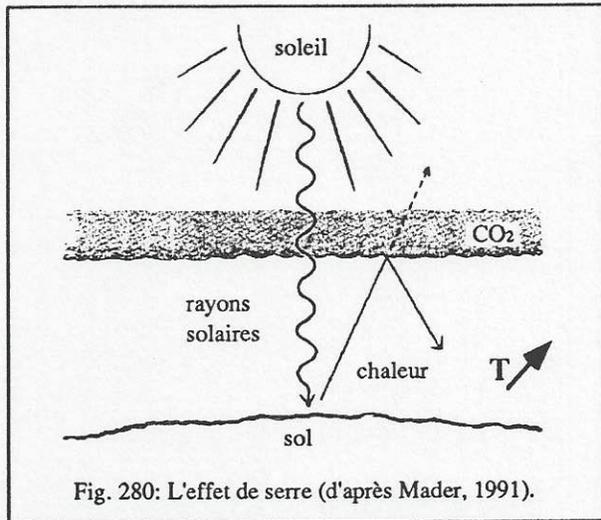


Fig. 279: Durée de l'ensoleillement mesurée à l'aéroport de Luxembourg pendant la période du 16 au 31 juillet 1991 (d'après: Rapport d'activité 1991, Minist. Environ. Luxemb.).



La concordance des pics des deux figures ci-dessus montre que la concentration d'ozone est d'autant plus élevée que la durée de l'ensoleillement est plus longue. Cette relation s'explique par la transformation d'oxygène en ozone, soit par l'action directe des rayons UV du soleil sur l'oxygène, soit par leur action sur NO et NO<sub>2</sub>. Paradoxalement, les pointes d'ozone sont plus élevées en milieu rural (Vianden) qu'en milieu urbain (Luxembourg-Ville). L'explication en est la suivante: 1° la production d'ozone augmente avec l'altitude; 2° en milieu urbain, la plus grande turbidité de l'air limite l'insolation, et de plus, cet air contient des types de polluants susceptibles de réagir avec l'ozone et de le détruire.

Les recommandations internationales pour la protection de la santé ont fixé la valeur d'alerte de la concentration en ozone de l'air à 180 µg/m<sup>3</sup> (courte durée d'exposition, valeur moyenne sur une heure). Pour une durée d'exposition plus longue, le seuil a été fixé à 110 µg/m<sup>3</sup> (valeur moyenne sur 8 heures). Au Luxembourg ces valeurs peuvent être dépassées en été.



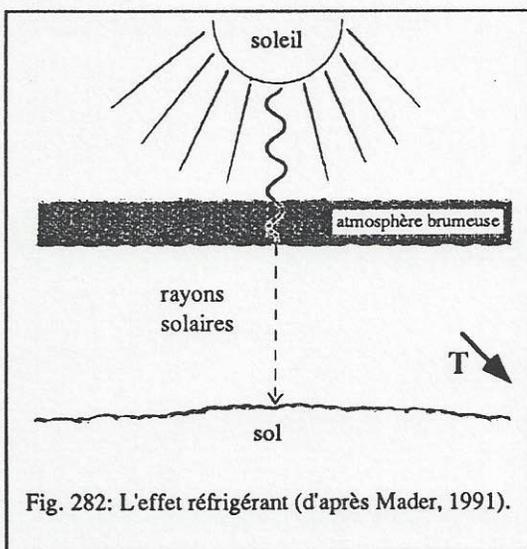
Selon l'hypothèse formulée en 1938 par le scientifique britannique CALLENDER, l'augmentation du taux de  $\text{CO}_2$  conduit à un réchauffement généralisé de l'atmosphère et à une modification du climat qui ferait fondre une partie des calottes polaires.

Normalement, la surface terrestre reflète dans l'espace, sous forme de rayons infrarouges, une grande partie de la lumière solaire reçue. Or, la molécule de  $\text{CO}_2$  absorbe ces rayons infrarouges et les transforme en chaleur. Au fur et à mesure que la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère augmente, la quantité de rayons infrarouges absorbés s'accroît, la température augmente. C'est l'«effet de serre» (*Treibhauseffekt*, *greenhouse effect*), auquel on a attribué l'échauffement progressif des derniers cent ans (augmentation de  $+0,4^\circ\text{C}$  rien qu'entre 1900 et 1945).

Au rythme actuel, le taux de  $\text{CO}_2$  atmosphérique aura doublé vers le milieu du 21<sup>e</sup> siècle. Les températures annuelles pourraient alors augmenter de  $3^\circ\text{C}$  ou même plus.

Remarquons que sans l'effet régulateur des océans qui absorbent de vastes quantités de  $\text{CO}_2$ , la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'air serait encore nettement plus élevée. De plus, on sait aujourd'hui que le  $\text{CO}_2$  n'intervient pas seul dans l'effet de serre. D'autres gaz tels le méthane ( $\text{CH}_4$ ), les CFC, les oxydes d'azote et l'ozone troposphérique renforcent considérablement l'effet du  $\text{CO}_2$ .

D'après une autre théorie, la pollution atmosphérique croissante aboutira, au contraire, à une baisse de la température; c'est l'*effet réfrigérant*. La cause en serait la



turbidité croissante de l'air due à la pollution par les fumées et les poussières. Celles-ci formeraient un écran laissant passer moins de radiations solaires.

Un tel effet réfrigérant a été invoqué pour expliquer l'hiver nucléaire qui résulterait de l'accumulation dans l'atmosphère des poussières libérées par l'explosion des bombes atomiques utilisées en cas de guerre nucléaire.

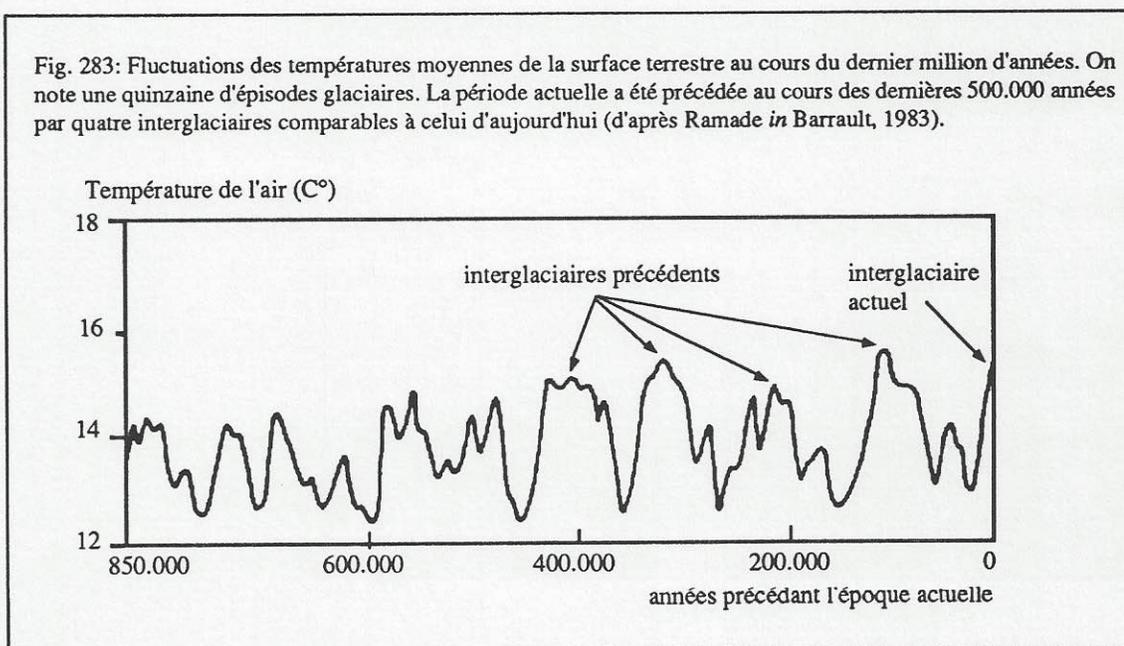
Les poussières projetées dans l'atmosphère par l'impact d'une comète ou

d'un astéroïde, qui selon une certaine théorie aurait touché notre planète vers la fin du Crétacé, auraient été responsables d'un refroidissement général de la Terre entraînant l'extinction des Dinosauriens.

Il n'est pas exclu que les deux phénomènes, effet de serre et effet réfrigérant, agissent en même temps et qu'il y ait antagonisme entre eux. Si c'est le cas, alors, de nos jours, le premier effet semble nettement prévaloir sur le second.

Remarquons enfin que certains chercheurs admettent l'existence de cycles thermiques indépendants des phénomènes cités. Ils seraient liés à l'activité solaire, à la température des océans et à l'activité volcanique.

Enfin, dans toutes ces considérations il ne faut pas oublier qu'à l'échelle géologique nous sommes actuellement dans une période interglaciaire. Un réchauffement lent mais continu se poursuit, en effet, depuis la fin de la glaciation de Würm, il y a quelque 11.000 à 12.000 ans.



### 5.1.7. Les pluies acides

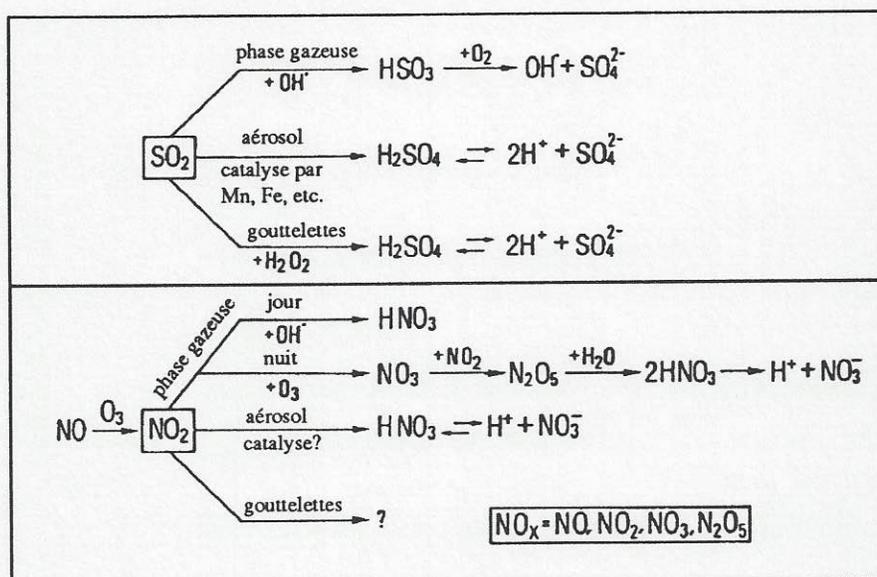
Dans l'atmosphère plusieurs types de réactions chimiques peuvent aboutir à la formation d'acides à partir des émissions primaires du type dioxyde de soufre ou oxydes d'azote.

La transformation de  $\text{SO}_2$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (acide sulfurique) est un phénomène qui prend plusieurs jours. Il peut se dérouler selon trois voies différentes faisant intervenir soit des catalyseurs (Mn, Fe, etc.), soit de l'eau oxygénée, soit des radicaux OH qui résultent de la réaction entre l'eau et des atomes d'oxygène d'origine photolytique :  $\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{OH}^\cdot$ .

La formation d'acide nitrique se fait à partir de  $\text{NO}_2$ . Celui-ci résulte lui-même de l'interaction entre l'ozone de l'air et le NO qui représente la forme d'émission primaire des  $\text{NO}_x$ .

Les acides formés, auxquels s'associe encore l'acide chlorhydrique (provenant essentiellement des usines d'incinération des ordures), sont à l'origine du phénomène connu sous le nom de *pluies acides* (*saurer Regen*, *acid rain*). On estime qu'en France l'acide sulfurique y intervient pour quelque 70 %, l'acide nitrique pour quelque 20% et l'acide chlorhydrique pour le reste.

Fig. 284: Voies de formation de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique à partir des émissions atmosphériques (d'après Böhlmann, 1991).



Les pluies acides ont une action sur :

- les constructions, notamment les monuments historiques qui sont de plus en plus rapidement dégradés;
- le pH des eaux continentales, notamment des lacs (les lacs scandinaves et les lacs canadiens ont été particulièrement touchés);
- le pH du sol;
- la végétation, notamment les forêts (dépérissement des forêts, *Waldsterben*).

### 5.1.8. Le dépérissement des forêts

En sylviculture, les dégâts dus à la pollution atmosphérique commencent à prendre des proportions alarmantes. En Allemagne, les premiers dégâts forestiers d'un type jusque-là inconnu ont été notés chez les Sapins au début des années 1970. Des dégâts comparables sont ensuite apparus chez les Epicéas. Au début des années 1980, c'était le tour des feuillus. Le spectre du dépérissement des forêts commençait à se dresser!

La cause primordiale du dépérissement est la pollution atmosphérique qui agit par:

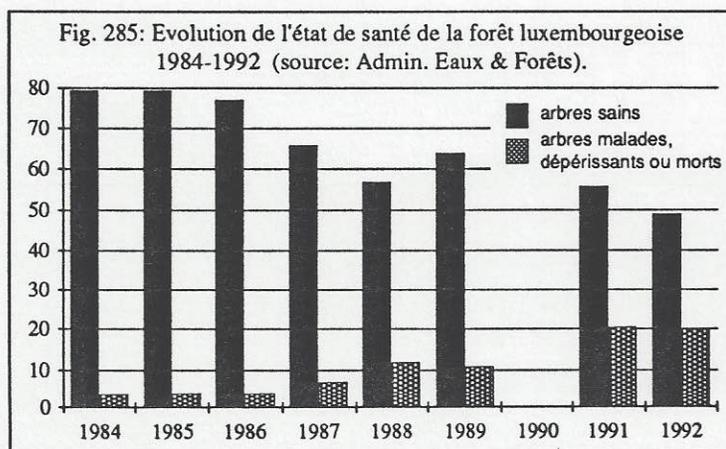
- l'action directe des émissions gazeuses (notamment le  $\text{SO}_2$ ) et des photo-oxydants  $\text{O}_3$  et PAN;
- les dépôts secs (métaux lourds, acides);
- les pluies acides.

Ces facteurs agissent très loin de l'endroit de l'émission des polluants et à concentration très faible. Le phénomène observé est ainsi nettement différent du dépérissement classique, bien connu depuis des décennies, que l'on peut constater à proximité de certaines sources de polluants atmosphériques (composés soufrés, composés fluorés émis par certaines industries), et cela dans un rayon de 20 à 25 km, tout au plus, autour de la source.

En 1985, le bilan européen se présentait de la manière suivante:

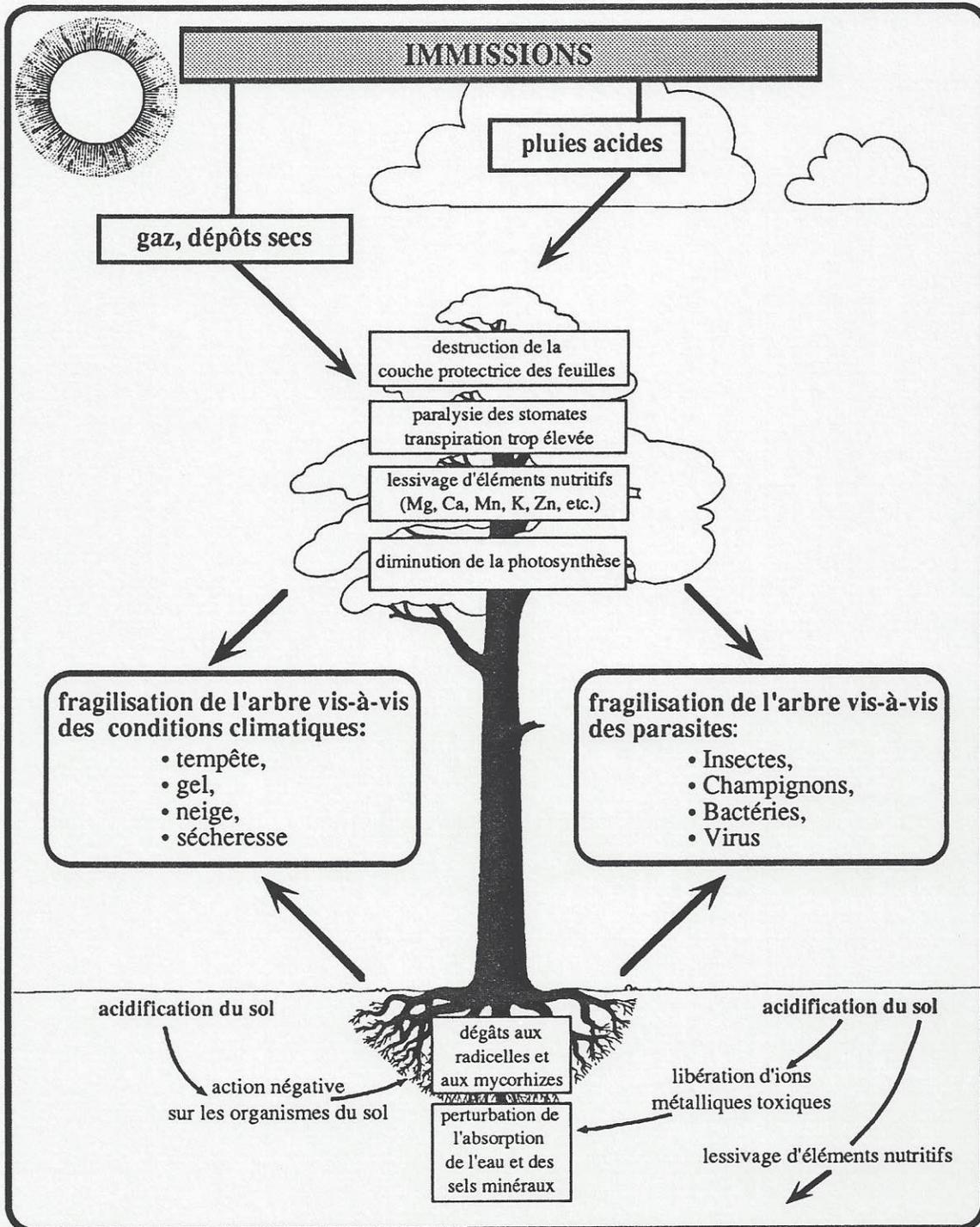
- Pays-Bas: 10 % d'arbres périssants;
- Suisse: 8 % de dommages moyens et forts;
- RFA: 35 % de dommages légers, 15 % de dommages moyens et forts;
- RDA: 12 % de la forêt atteinte;
- Autriche: 24 % de dommages légers, 6 % de dommages moyens et forts;
- Suède: dans le sud du pays 30 % des arbres de plus de 60 ans ont perdu plus de 20% de leurs aiguilles;
- en Pologne et en Tchécoslovaquie: dégâts très importants, mais non comparables, car causés par une pollution de proximité.

D'après un bilan dressé en 1989, 20 à 30 % des arbres étaient endommagés en Europe centrale et en Europe du Nord (perte d'au moins 25% des feuilles ou des aiguilles). En France, par contre, 5 % seulement des arbres étaient touchés.



Le Luxembourg n'a pas échappé à l'évolution générale du phénomène. Cependant, les résultats des premiers contrôles, réalisés en 1983 dans des stations particulièrement défavorables, avaient été plutôt rassurants. Le nombre des épicéas malades n'était que légèrement accru.

Fig. 286: Schéma de l'effet des polluants sur un arbre.



On se demandait s'il fallait y voir la conséquence de la pollution atmosphérique ou plutôt celle des étés secs des années 1976 et 1983.

Par la suite, on déchantait rapidement. En 1984, 29 % déjà des forêts résineuses ou feuillues plus âgées étaient malades. Pour l'ensemble des forêts, sans distinction d'âge, cette valeur n'était que de 19 %. En 1986, 73,5 % seulement de la forêt luxembourgeoise pouvait encore être considérée comme saine. Le tiers des forêts feuillues et presque la moitié (44,8%) des forêts résineuses âgées de plus de 60 ans étaient plus ou moins fortement touchées.

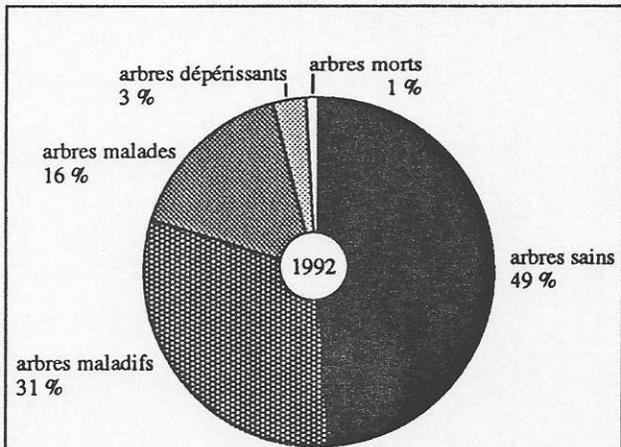


Fig. 287: Etat phytosanitaire de la forêt luxembourgeoise en 1992 (source: Admin. Eaux & Forêts).

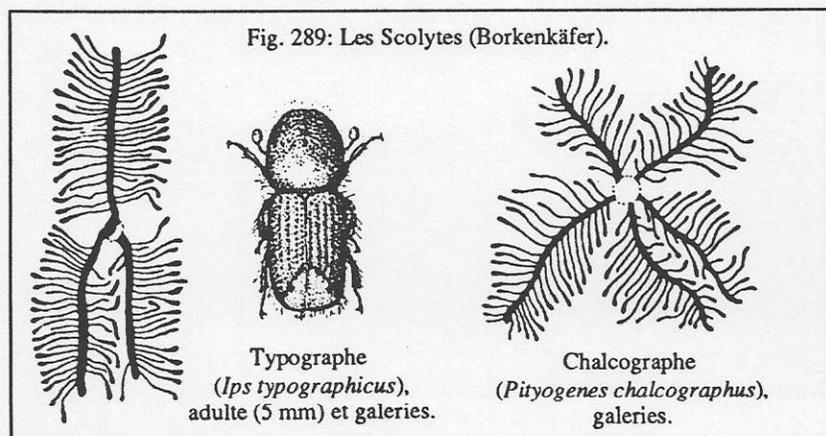


Fig. 288.

Lors de l'inventaire de 1984, l'Oesling et la partie nord-est du Gutland (dont les régions touristiques de Berdorf, Beaufort, Larochette, etc.) étaient encore passablement intacts. Deux années plus tard (1986), les forêts du Gutland, dans leur ensemble, étaient dans un état inquiétant et dans l'Oesling les dommages s'étaient fortement étendus. Le dépérissement des forêts prenait désormais des ampleurs extrêmement inquiétantes!

La dégradation de l'état phytosanitaire de nos forêts fragilisées par la pollution atmosphérique a encore été aggravée par les étés exceptionnellement chauds et secs des dernières années. De plus, depuis 1991, une épidémie de Scolytes, notamment de Typographe (*Buchdrucker*) et de Chalcographe (*Kupferstecher*),

séquelle des chablis (*Windbruch*) d'épicéas du début de 1990, est en train de ravager nos pessières, alors que de nombreux hêtres ont péri au cours de l'été 1992 à la suite des fortes tempêtes et de la sécheresse.



### Documentation: Miscellanées historiques sur le dépérissement des forêts

L'effet néfaste de l'action de certains polluants atmosphériques sur les végétaux était connu depuis longtemps. C'est ce qui amena l'écrivain anglais John EVELYN (1620-1706) à proposer dans son «*antismoke tract*» intitulé «*Fumigium*» que les industries productrices de fumée fussent déplacées à l'extérieur de Londres. La pollution des précipitations par les composés du soufre a été reconnue dès 1727 par le physiologiste anglais Stephen HALES (1677-1761). Le terme «*acid rain*» (pluie acide) a été créé en 1872 par SMITH.

C'est dans ce contexte scientifique qu'il faut placer l'extrait suivant de l'avis fourni le 10 juillet 1883 par l'Inspecteur des Eaux et Forêts compétent au sujet du projet de construction d'une usine sidérurgique à Dudelange:

« [Ce qui est en cause], c'est le dégagement des acides sulfureux et sulfurique, provenant de la réduction des minerais et de la combustion de la houille. Dans les contrées où les établissements sidérurgiques sont aussi rapprochés des bois que le seront les usines de Dudelange, les arbres sont tués peu à peu et toute croissance arbustive cesse. On ne connaît pas encore de pratique efficace pour remédier à cette dévastation de tous les moments. Plus les cheminées sont hautes, plus loin s'étendent les ravages. »

Le 14 octobre de la même année, cet avis est cependant vertement critiqué par l'Ingénieur des Travaux Publics à Luxembourg:

« Nos hauts fourneaux, marchant tous au coke, ne sont donc pas un danger pour la végétation forestière et rurale par dégagement du gaz sulfureux et sulfurique, attendu que les gaz qu'ils répandent dans l'atmosphère ne contiennent pas de soufre ou tout au plus «*nur unbestimmbare Mengen*» [formule utilisée par un auteur auparavant cité dans l'avis, note des auteurs].

Les appréhensions de M. l'Inspecteur des Eaux & Forêts, sous ce rapport, sont donc imaginaires. Nous ajouterons que le soufre qui se trouve dans le minerai et le coke passe dans la fonte et le laitier. » [citations d'après: J.-P. Conrardy: Chronique de l'usine sidérurgique de Dudelange. in Dudelange, l'usine centenaire.].

En 1924, les membres de la Société des Naturalistes Luxembourgeois ont élu membre honoraire de leur société Julius STOKLASA, professeur à l'École

polytechnique de Prague, qui vient de publier l'ouvrage «*Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen*». Au cours de la séance du 6 avril 1924 de la Société des Naturalistes, l'ingénieur-chimiste Pierre SCHILTZ (1890-1954) résume l'action du dioxyde de soufre et de l'acide sulfureux sur les végétaux telle qu'elle a été décrite par ce livre:

« 1. Sont très sensibles à l'action nocive de  $SO_2$ , parmi les Conifères, l'épicéa et le mélèze; parmi les essences à feuilles, le frêne et le bouleau, le jeune bouleau du moins. Quant au sapin, il semble rester indifférent dans son jeune âge; mais à partir de 40 ans il commence à dépérir irrémédiablement.

2. Sont un peu plus résistants le pin sylvestre, le tilleul à grandes feuilles et l'orme des montagnes.

3. Sont très réfractaires à l'action de l'anhydride sulfureux le platane, le charme et le robinier (ou faux acacia). Mais les essences qui résistent le mieux sont l'érable champêtre, le chêne et le hêtre, ce dernier quand même il est très jeune. »

Dans son compte rendu de la séance, le secrétaire de la société a encore rapporté l'épisode amusant suivant:

« Un des membres présents nous rend attentifs au fait qu'une ville de notre bassin minier a l'intention de faire des plantations de Conifères, pour assainir et pour embellir ses environs. Or, d'après Stoklasa qui a fait, à ce sujet, des études très étendues, ce sont les Conifères justement qui réussissent le moins dans le voisinage des fabriques et des hauts-fourneaux. — M. le professeur Klein [il s'agit de Edmond J. Klein (1866-1942), «le» botaniste luxembourgeois de l'époque, note des auteurs] est d'avis, et l'assemblée est d'accord d'envoyer au conseil communal de la ville en cause une lettre confidentielle afin de le rendre attentif au risque qui serait couru par ces plantations. » [Bull. Soc. Nat. luxemb., 34 (1924): 45ss, 48s, 71ss].

On se rendait donc bien compte de l'effet de la pollution de l'air sur la végétation, du moins en ce qui concerne les fortes concentrations. Pour y parer l'industrie construisait des cheminées de plus en plus hautes, diluant ainsi les émissions au point qu'on les considérait comme inoffensives. Ce n'est qu'au cours des deux dernières décennies qu'on a compris que ces polluants agissent également à des concentrations très faibles et que leur action devient sensible à une vaste échelle.



---

---

## 5.2. Le bruit

---

---

### 5.2.1 Définition du bruit

Le bruit est formé par un ensemble de sons indésirables ou d'intensité excessive. Il comprend une forte composante subjective. Le bruit est mesuré en décibel (dB), le décibel correspondant à la plus petite variation d'intensité perceptible par l'oreille.

Fig. 290: Zone d'audibilité des sons et des bruits (d'après Lemaire, 1975).

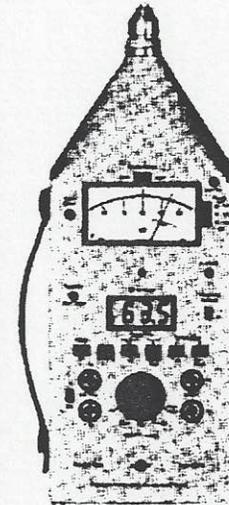
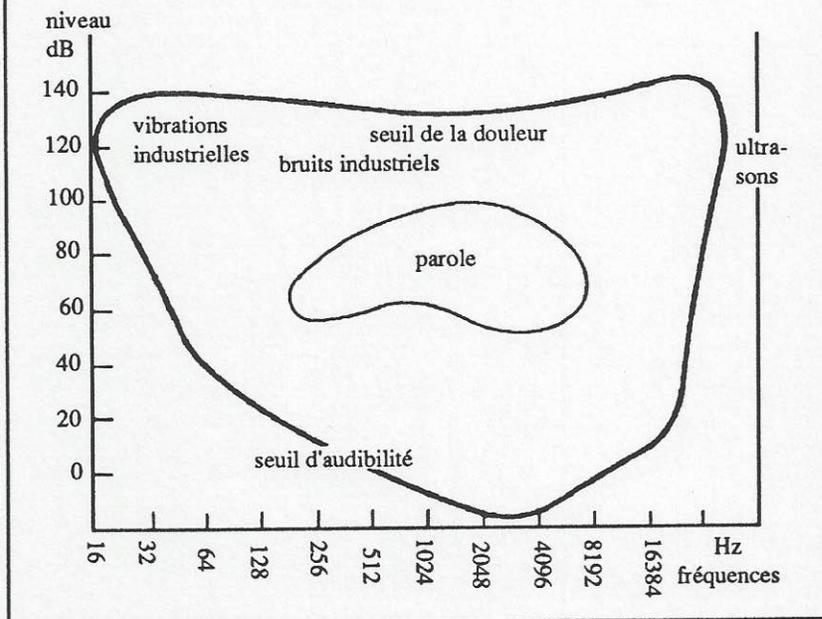


Fig. 291: Sonomètre (Schallpegelmessgerät)

Les mesures se font à l'aide d'un appareil appelé *sonomètre*. L'oreille humaine présente une sensibilité différente selon les fréquences. A intensité égale, les hautes fréquences (sons aigus) sont perçues comme bruit plus fort que les basses fréquences (sons graves). C'est pourquoi on a introduit dans les mesures une correction tenant compte de la physiologie de l'oreille humaine en normalisant à 1000 Hz. Les bruits ainsi mesurés s'expriment en décibels acoustiques: dB (A).

Une augmentation de 10 dB (A) est perçue subjectivement comme un bruit deux fois plus fort. Cependant, le dB étant une unité logarithmique, objectivement la puissance du son n'a pas doublé, lorsqu'on passe de 10 à 20 dB(A), mais elle a décuplé.

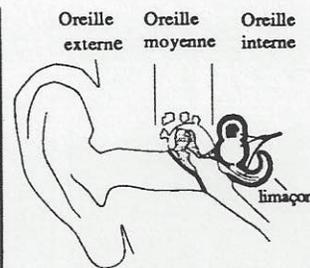
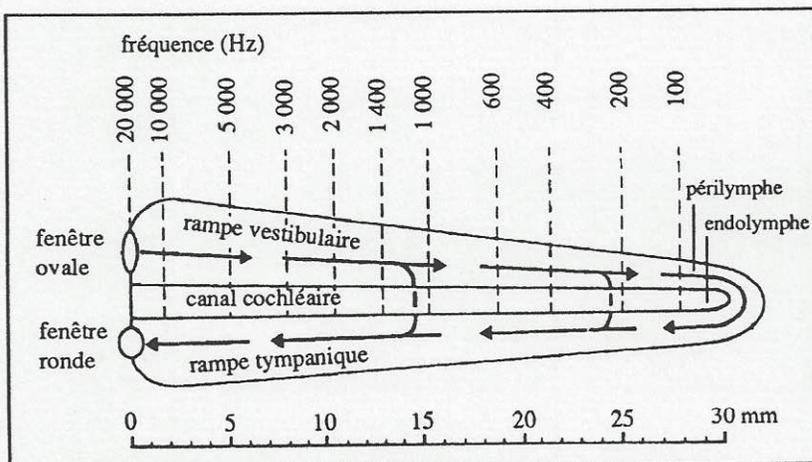


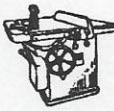
Fig. 292: Oreille humaine: limaçon déroulé et localisation des fréquences perceptibles par l'oreille (d'après Böhlmann, 1991).

### 5.2.2. Echelle usuelle des niveaux sonores

L'étendue des sons parvenant à l'oreille est énorme.

Si l'on pose arbitrairement la puissance sonore correspondant au seuil d'audibilité ( $10^{-12}$  watts/m<sup>2</sup>) égal à 1 unité, les sons les plus forts audibles sans douleur correspondent à  $10^{12}$  unités.

Fig. 293: Tableau de l'intensité du son (valeur relative et décibels).

intensité du son (valeur relative)	dB(A)	
100 000 000 000 000	140	décollage d'un avion à réaction à 100 m 
<i>douleur</i> 10 000 000 000 000	130	seuil de la douleur 
1 000 000 000 000	120	avion à hélice au décollage 
<i>lésions des organes auditifs en cas d'exposition prolongée</i> 100 000 000 000	110	foreuse pneumatique 
10 000 000 000	100	scie circulaire à 1 m 
1 000 000 000	90	claxon de voiture, poids lourd passant à 6 m 
<i>bruit incommodant</i> 100 000 000	80	cris, aspirateur 
10 000 000	70	rue animée, avec autos 
1 000 000	60	conversation normale 
100 000	50	radio ou télé en sourdine 
10 000	40	rue calme en ville 
1 000	30	bruits usuels d'habitat
100	20	chuchotement 
10	10	bruissement de feuilles 
<i>perception du son</i> 1	0	seuil d'audibilité 

### 5.2.3. Effets du bruit

Le bruit provoque des réactions physiologiques et psychologiques: nervosité, irritabilité, diminution de la concentration, fatigue, insomnie.

Dès 65 dB(A), des réactions neuro-végétatives et hormonales sont déclenchées. Il s'en suit des réactions cardio-vasculaires et des effets de stress. A partir de 90 dB(A), les organes auditifs peuvent être endommagés. Une longue exposition à un tel bruit conduit à la dureté d'oreille ou même à la surdité. De ce fait, les discothèques doivent respecter la limite de 90 dB(A).

Des bruits dépassant 120 à 130 dB(A) sont douloureux et nuisent aux cellules nerveuses. Des lésions irréparables de l'oreille sont provoquées par une exposition de brève durée à 140 dB(A). A partir de 180 dB(A), le bruit persistant devient mortel.

Au Luxembourg, la loi du 21 juin 1976 fournit le cadre général pour la lutte contre le bruit. En plus, beaucoup de communes ont élaboré des règlements spécifiques concernant la lutte contre le bruit.

Tab. 18: Niveaux de bruit tolérés au Luxembourg selon le règlement grand-ducal du 13 février 1979.

Nature du milieu d'habitation	Niveau de bruit en dB(A)	
	jour (7-22 h)	nuite (22-7 h)
hôpitaux, quartier de récréation	45	35
milieu rural, habitat calme, circulation faible	50	35
quartier urbain, majorité d'habitat, circulation faible	55	40
quartier urbain avec quelques usines ou entreprises, circulation moyenne	60	45
centre ville (entreprises, commerces, bureaux, divertissement), circulation dense	65	50
prédominance industrie lourde	70	60

Il est défendu de faire fonctionner des appareils radiophoniques et des grammophones de manière à troubler la tranquillité publique par l'intensité ou la puissance excessive des appareils diffuseurs. De nuit, le fonctionnement de ces appareils n'est permis qu'en sourdine (arrêté grand-ducal du 15 sept. 1939).

L'emploi d'instruments sonores dans la nature est réglé par le texte suivant: «*Dans la mesure où ils se déroulent en forêt et sur les cours d'eau, les exercices d'activités sportives, l'emploi d'instruments sonores ainsi que les activités organisées de loisirs susceptibles de nuire manifestement à l'environnement naturel sont réglés par des règlements grand-ducaux*» (loi du 18 août 1990 modifiant l'alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 12 de la loi modifiée du 11 août 1982 concernant la protection de la nature et des ressources naturelles).



---

---

## 5.3. Les déchets

---

---

### 5.3.1. Production de déchets au Luxembourg

La société moderne produit des quantités croissantes de déchets. La quantité et la composition des déchets sont fonction de l'augmentation du niveau de vie, du développement industriel et de l'urbanisation. Les déchets peuvent être solides ou liquides. Ils sont d'origine domestique (déchets ménagers, déchets encombrants domestiques), commerciale ou industrielle. Les déchets domestiques et commerciaux sont encore désignés par le terme de déchets municipaux ou urbains.

Tab. 19: Quantités des déchets produits au Luxembourg en 1976 (tonnes/an).

• déchets ménagers.....	119.000	38,3 %
• déchets encombrants ( <i>Sperrmüll</i> ) .....	1.200	0,4 %
• déchets industriels solides ou boueux (sans la sidérurgie ni les matériaux de terrassement et de démolition).....	120.000	38,6 %
• déchets commerciaux .....	15.000	4,8 %
• huiles usées .....	2.000	0,6 %
• émulsions huileuses .....	1.500	0,5 %
• déchets animaux .....	3.600	1,1 %
• mélange huile/eau .....	1.500	0,5 %
• véhicules hors d'usage .....	13.000	4,2 %
• vieux pneus .....	3.000	1,0 %
• boues d'épuration ( <i>Klärschlamm</i> ) .....	31.000	10,0 %
Total: .....	310.800	100,0 %

Fig. 294: Composition des déchets municipaux luxembourgeois (déchets domestiques, déchets de commerce) d'après une analyse réalisée en automne 1986 (en kg par habitant et par an).  
(source: Rapport d'activité 1987. Minist. Environ. Luxemb.)

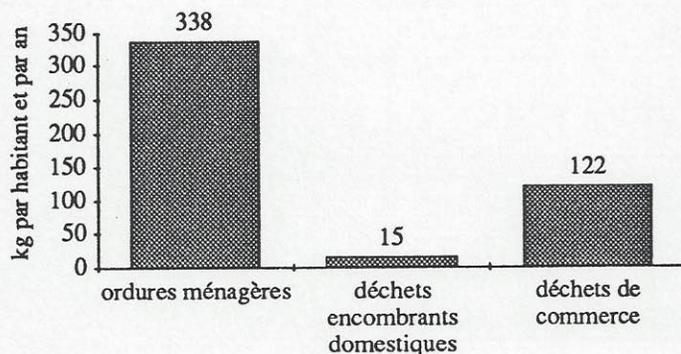
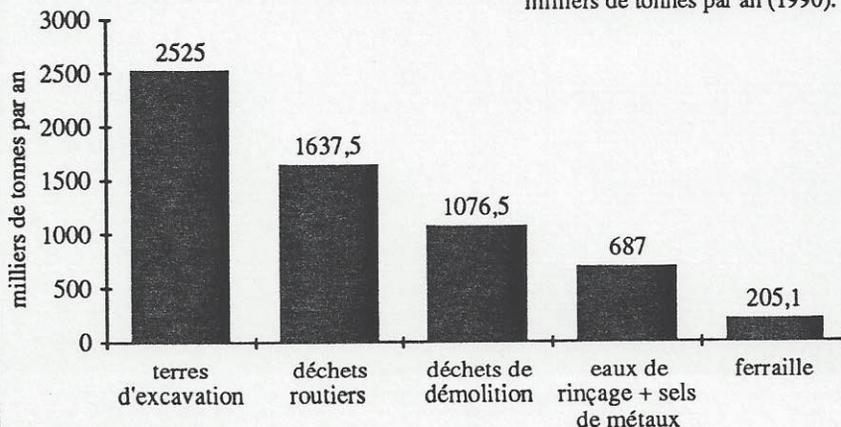
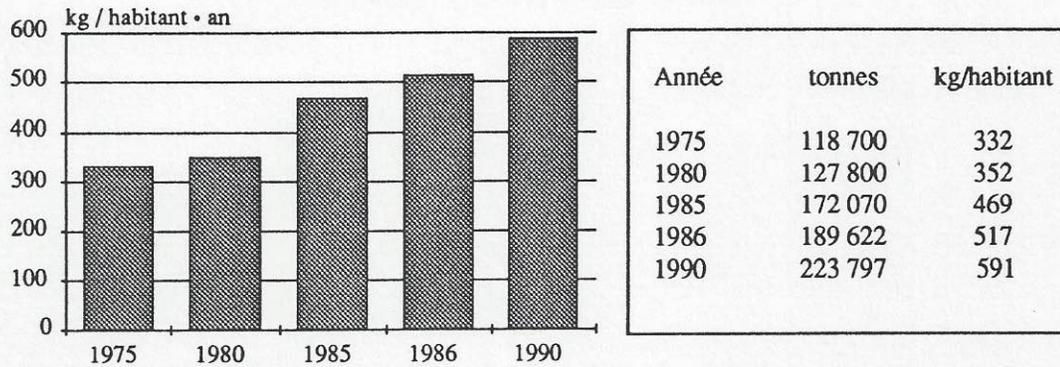


Fig. 295: Principaux types de déchets en provenance des branches industrielles, commerciales et artisanales en milliers de tonnes par an (1990).



Selon le cadastre des déchets industriels, artisanaux et commerciaux établi en 1990, ce genre de déchets atteint au Luxembourg le chiffre impressionnant de 7,2 millions de tonnes par an. La majeure partie en est formée par des terres d'excavation, des déchets routiers et des déchets de démolition. (source: Rapport d'activité 1990. Minist. Environ. Luxemb.)

Fig. 296: Evolution de la quantité des déchets luxembourgeois incinérés ou déposés sur les décharges contrôlées (d'après Annuaire statist., Luxemb.).



### 5.3.2. L'élimination des déchets

Les différents modes d'élimination des déchets sont:

- la décharge brute (dépotoir), mode d'élimination inesthétique et insalubre (pollution de l'eau et du sol; mauvaises odeurs; pullulation des mouches, des rats et autres vecteurs de maladies);
- la décharge contrôlée (*geordnete Deponie*);
- le compostage;
- l'incinération.

■ La décharge «contrôlée» (mot français, remplacé par «*centre d'enfouissement technique*» par les puristes du français): Les déchets sont nivelés tous les jours ou tous les deux jours et recouverts par des couches de sable ou de terre. On arrive ainsi à empêcher les vols des matériaux légers et à éviter les odeurs. Le sous-sol doit être étanche, les eaux de pluies qui s'infiltrent dans la décharge doivent être récupérées et traitées afin d'empêcher toute contamination de la nappe phréatique. Les gaz produits par les fermentations qui se déroulent à l'intérieur de la décharge doivent être captés et brûlés afin d'éviter les mauvaises odeurs et les risques d'explosion.

L'un des principaux inconvénients du procédé est qu'il nécessite de l'espace et que les terrains appropriés (étanches, en situation centrale, mais loin des habitations !) sont rares.

■ L'incinération s'adresse à la fraction combustible des déchets. L'incinération rencontre plusieurs problèmes:

1° Les déchets ménagers et assimilables représentent un combustible assez pauvre et hétérogène. Il faut donc assurer une bonne aération et un bon brassage. On opère à une température supérieure à 850 °C.

2° Les fumées produites doivent être épurées: dépoussiérage (avec en plus, le problème du stockage des poussières!), lavage, neutralisation de l'acide chlorhydrique dégagé notamment par la combustion des PVC. En plus, il y a formation de molécules très toxiques du type dioxines et furanes.

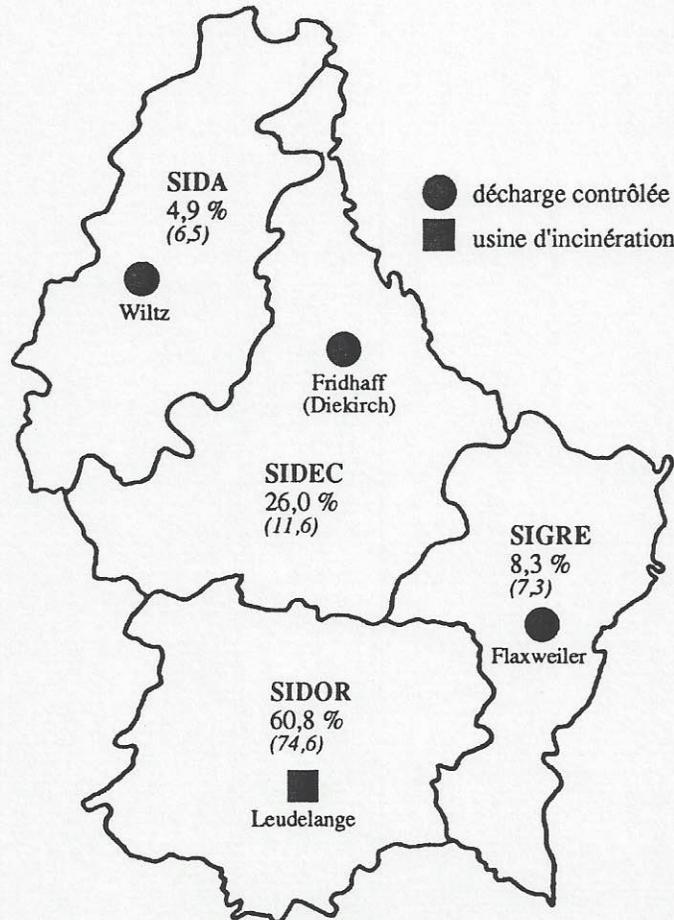
3° Les résidus de l'incinération, les *mâchefers*, peuvent contenir des métaux lourds. Leur mise en décharge peut donc également poser des problèmes. En général cependant les mâchefers sont plus ou moins inertes et peuvent même être utilisés dans la construction routière.

■ Le compostage s'adresse à la fraction fermentescible des déchets (déchets

alimentaires, déchets de jardins, papier, carton). Il consiste à laisser fermenter les déchets à l'air libre pendant plusieurs mois.

Au Luxembourg, la décharge brute a été abandonnée. Les communes se sont regroupées en syndicats et pratiquent soit la décharge contrôlée (SIDA, SIDEC, SIGRE), soit l'incinération (SIDOR). Sur le territoire de ces communes, il ne subsiste plus que des décharges pour matériaux inertes.

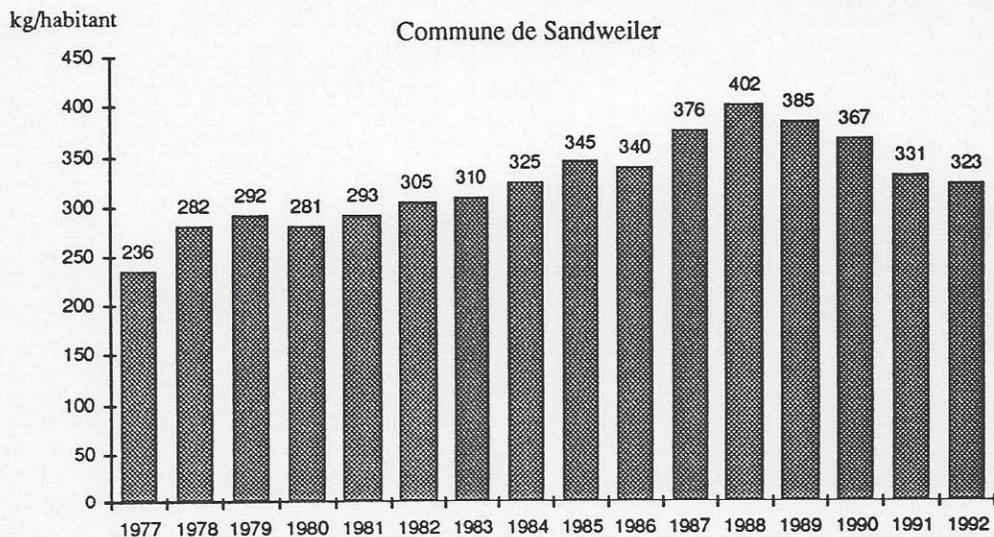
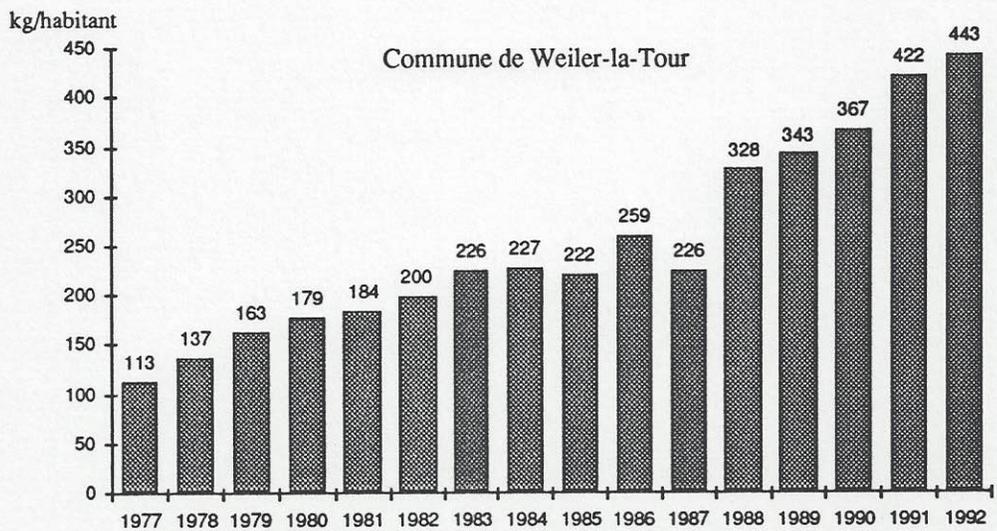
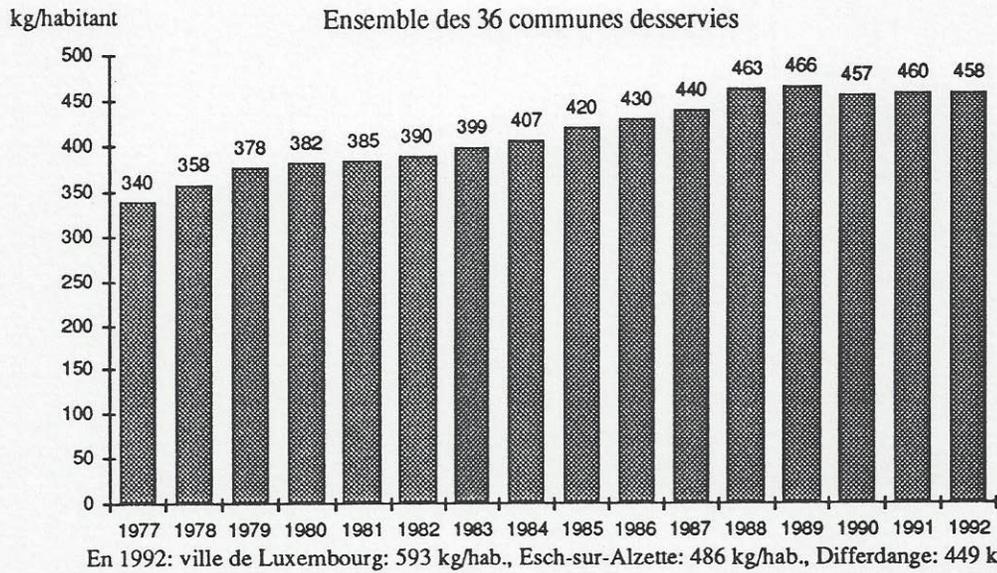
Fig. 297: Syndicats intercommunaux pour l'élimination des déchets: quote-part en 1990 (caractères normaux) et 1986 (italiques) (source: Annuaire statist. Luxemb., 1986/87, 1991).



SIDA = Syndicat intercommunal des Ardennes (11.000 t en 1990);  
 SIDEC = Syndicat intercommunal de la région de Diekirch-Ettelbruck-Colmar (58.234 t en 1990);  
 SIGRE = Syndicat intercommunal de la région de Grevenmacher (18.400 t en 1990);  
 SIDOR = Syndicat intercommunal pour la gestion des déchets provenant des ménages et des déchets assimilables des communes des cantons de Luxembourg, d'Esch et de Capellen (135.969 t en 1990).

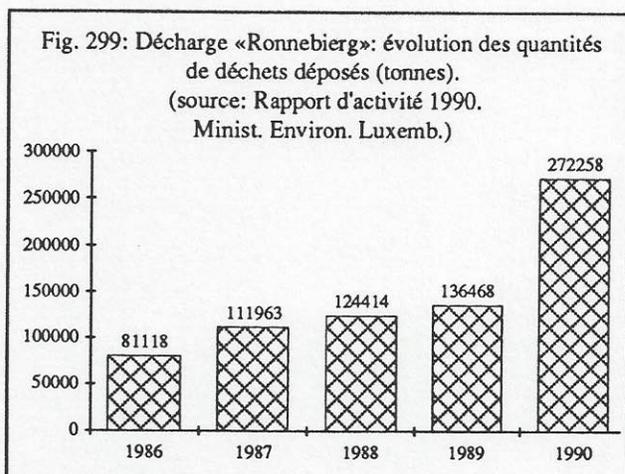
L'usine d'incinération du SIDOR a été inaugurée en juin 1977. Elle comprenait à l'époque deux fours chaudières de 8 t/h et une unité de pyrofusion de 8 t/h. Cette dernière a été remplacée par un troisième four mis en service en 1985. D'une tonne de déchets traités il reste après incinération: 280 kg de mâchefers, 30 kg de résidus d'épuration des fumées (sels) et 10 kg de cendres retenues par les électrofiltres (cendres volantes). En plus, l'usine libère une certaine quantité de PCDD (polychloro-dibenzo-dioxine) et de PCDF (polychloro-dibenzo-furane), produits hautement toxiques: 4 à 19 ng/m<sup>3</sup> en 1993 (34,2 à 137 ng/m<sup>3</sup> en été 1991, 6,26 à 79,5 ng/m<sup>3</sup> en hiver 1991; concentration max. PCDD/F permise à partir du 1<sup>er</sup> décembre 1995: 0,1 ng/m<sup>3</sup>).

Fig. 298: Evolution du tonnage par habitant (en kg/habitant) des déchets traités par le SIDOR (déchets ménagers, encombrants et assimilables provenant des tournées régulières des communes).



(source: Documentation SIDOR et GréngesSpoun, N° 167, 1993)

Une décharge pour déchets industriels a été exploitée à partir de 1973 au site «Ronneberg» près de Differdange. De statut complètement privé au départ, elle est contrôlée depuis novembre 1985 par une surveillance permanente mise en place par le Ministère de l'Environnement. Y ont été déposées notamment les mâchefers (environ 40.000 t/an) et — dans le temps — les cendres volantes (environ 4000 t/an) du SIDOR.



En ce qui concerne le compostage au Luxembourg, une installation-pilote («*Minettekompost*») fonctionne depuis le printemps 1989 près de Mondercange. Les trois communes suivantes y ont participé dès le début: Esch-sur-Alzette, Schifflange et Mondercange.

Au cours de la première année 740 tonnes de déchets organiques y ont été traitées. Entièrement équipé, le site de Mondercange traitera quelque 20.000 tonnes de déchets collectés auprès d'une population de quelque 130.000 habitants. Deux autres installations de compostage sont prévues depuis 1991: l'une dans le nord du pays près d'Erpeldange, à proximité de la décharge du SIDEC (quelque 14.000 tonnes de déchets, 90.000 habitants), l'autre à proximité de la capitale (environ 26.000 tonnes de déchets, 170.000 habitants).

La collecte des *déchets spéciaux* (*Sondermüll*) produits par les ménages (médicaments, batteries, restes de peintures, solvants, acides, etc.) se fait dans le cadre de l'action *Superdreckskëscht* lancée en 1985. Depuis 1990, la *Superfreonskëscht* intervient dans le domaine de l'élimination des réfrigérateurs et autres appareils contenant des fréons (en 1991: 6.647 réfrigérateurs traités; en 1992: 10.484 réfrigérateurs aux CFC et 121 à NH<sub>3</sub>, ainsi que 34 installations de climatisation).

### 5.3.3. Le recyclage

L'analyse qualitative de la composition des déchets ménagers montre qu'ils contiennent une forte proportion de matières recyclables (papier, verre, métaux, plastiques).

Tab. 20: Composition des ordures municipales (1976) et des déchets ménagers (1992) luxembourgeois.  
(source: Rapport d'activités 1986. Minist. Environ. Luxemb.; Zens, 1992)

Catégorie	1976 (%)	1976 (kg/habitant • an)	1992 (%)
Papier / carton	17,2	58,3	19,0
Verre	7,2	24,4	7,0
Plastiques	6,4	21,8	9,0
Métaux	2,6	9,0	3,0
Déchets encombrants	2,1	7,1	x
Textiles	1,7	5,7	2,0
Mélange inflammable	6,2	20,9	x
Mélange ininflammable	1,4	4,9	x
Déchets toxiques	0,6	2,1	1,0
Déchets organiques	44,0	148,9	42,0
Fraction fine	10,5	35,4	8,5
Couches pour bébés	x	x	4,0
Divers	x	x	4,5
Total	100 %	338,4 kg	100 %

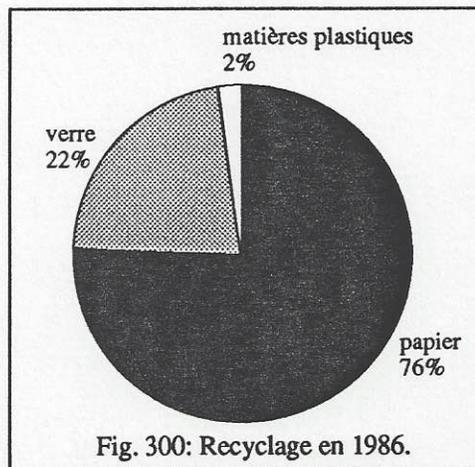
Il va de soi que les matières recyclables en théorie ne sont pas toutes récupérables en pratique.

En ce qui concerne le recyclage, les chiffres suivants ont été notés en 1986:

- 14.200 tonnes de papier;
- 4.100 tonnes de verre;
- 400 tonnes de matières plastiques.

L'énergie thermique libérée par l'incinération des déchets ménagers et commerciaux peut être transformée en courant électrique.

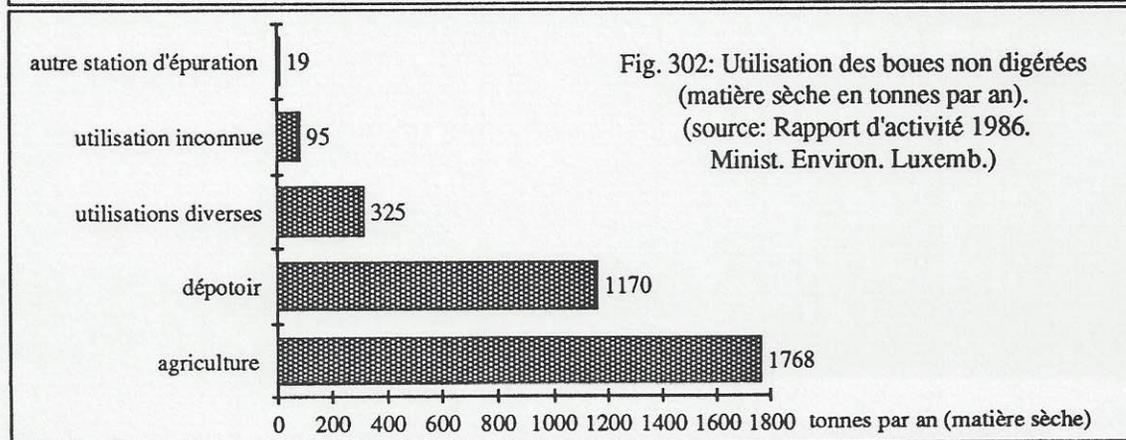
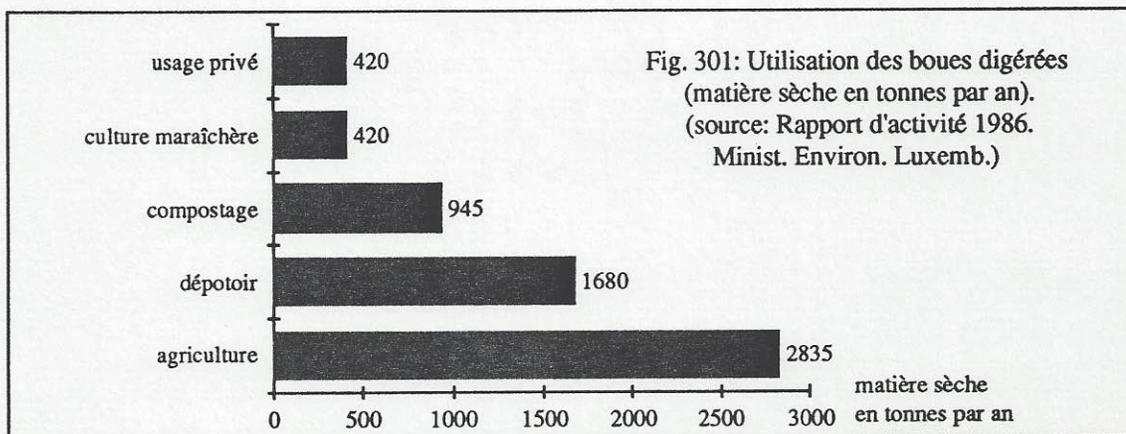
Le SIDOR produit 300 kWh par tonne de déchets traités. La production brute s'est élevée en 1991 à  $50,3 \cdot 10^6$  kWh. Il a été vendu  $35,5 \cdot 10^6$  kWh, ce qui correspond à quelque 1,14% de la consommation d'énergie électrique totale du Luxembourg.



### 5.3.4. Les boues d'épuration

Les boues d'épuration provenant des stations d'épuration biologique des eaux usées peuvent être utilisées en agriculture si leur teneur en métaux lourds est faible et si elles ne contiennent pas d'agents pathogènes.

Selon un inventaire dressé au Luxembourg en 1986, 75% des boues digérées (stabilisation anaérobie) sont utilisées en agriculture, et 52,4 % des boues non digérées (stabilisation aérobie). C'est aussi une forme de recyclage!



## DOCUMENT

# Ein bewegtes Jahr in Sachen Müll

## Umstrittene Standortfrage für eine Industriemülldeponie und ein Globalkonzept zur Abfallwirtschaft

mt - Wohl kaum zuvor stand der Müll in Luxemburg derart im Mittelpunkt des national- und lokalpolitischen Geschehens, wie dies 1992 der Fall war. Und so kann man gleich in mehrfacher Hinsicht das Jahr 1992 als das Jahr des Mülls bezeichnen. Industriemüll, Krankenhausabfälle, Standortbestimmung für eine Industriemülldeponie aber auch Rücktrittsgesuche, Beschlussunfähigkeit eines Gemeinderates und Komplementarwahlen, dies waren wohl in Sachen Müll die in diesem Jahr am meisten zitierten Begriffe in der Presseberichterstattung.

### Globalkonzept

Am 31. Juli beschloß die Regierung das Gesetzprojekt über ein Globalkonzept zur Abfallwirtschaft, um der auch hierzulande drohenden Abfallflut Herr zu werden. Hatte man sich bisher fast ausschließlich auf die Entsorgung der Haushalts- und Industriemüllabfälle beschränkt, so werden in dem neuen Konzept u. a. ein Kataster für belastete Flächen sowie entsprechende Sanierungspläne, Regeln für Verkauf und Herstellung abfallträchtiger Produkte, Wirtschaftspläne der Unternehmen für Abfälle und die flächendeckende Schaffung von Kompostierungsanlagen und Recyclingparks festgehalten.

Dieses Globalkonzept gilt es aber vorerst noch mit konkreten Maßnahmen zu füllen, wobei die beiden Abfallsyndikate des Nordens, Sida und Sider, bereits in diesem Jahr zu Vorreitern wurden: Beide streben seit Anfang Dezember eine weitgehende Zusammenarbeit an und stellten am 7. Dezember ihr „integriertes Abfallwirtschaftskonzept für den Haus-, Gewerbe- und Sperrmüllbereich“ der Öffentlichkeit vor. Um die Lagerkapazität der beiden Deponien in Wiltz und Diekirch zu erweitern, - 53000 Tonnen Müll können derzeit hier noch gelagert werden -, soll der Müll insgesamt um 40 bis 50 Prozent verringert werden. Mittel hierzu sind die Vermeidung, die Wiederverwertung, die Bekämpfung des Abfallaufkommens an der Quelle durch Taxenerhöhung, das Aufstellen von Wertstoffcontainern für Papier, Altglas und Metalle und das Zurückgreifen auf zwei vollbeschäftigte Abfallberater.

Damit waren 1992 die Syndikate des Nordens dem aus Flaxweiler

aber keineswegs um eine Nasenlänge voraus. Obwohl der Sige bereits am 27. Juli als erstes Abfallsyndikat ein Abfallwirtschaftskonzept einstimmig angenommen hatte, kam es bislang noch nicht zur Ausführung, da das Gutachten des Umweltministeriums noch nicht vorliegt. Angenommen wurde in den vergangenen zwölf Jahren ebenfalls der Standortvertrag mit der Gemeinde Betzdorf für den Ausbau der Deponie, so daß voraussichtlich im Frühjahr 1993 die seit Dezember 1991 geschlossene Deponie wieder funktionstüchtig sein wird. 14000 Tonnen Müll wurden 1992 beim Sidor, beim Sider und im französischen Hussigny abgeliefert. Für das bevorstehende Jahr soll ein langfristiger Konzessionsvertrag für die Sige-Deponie vergeben werden.

Bei der Sidor in Leudelingen wurden im April 1992 die Ergebnisse einer Studie veröffentlicht, die 1991 ein Berliner Ingenieurbüro im Auftrag des Umweltministeriums zur Abgasmessung an den drei Verbrennungsöfen durchgeführt hatte, und die außer den Emissionen von Dioxinen auch die Abscheideleistung der Rauchgasreinigung ermittelte sollten. Festgestellt wurde beim Dioxin ein Durchschnittswert von 20 Nanogramm/m<sup>3</sup>. Zur Einhaltung der juristischen Dioxin-Grenzwerte, die erst ab 1995 gelten und dann 0,1 Ng/m<sup>3</sup> betragen, muß die Sidor nun technische Verbesserungen an der Rauchgaswaschanlage herbeiführen. Kostenpunkt dieser Investitionen: 1 Mrd. F. Die Anleihe zur Finanzierung der technischen Verbesserungen wurde bislang vom Innenminister verweigert und soll nun über vier Jahre verteilt von den 36 Sidor-Gemeinden getragen werden.

### Industriemülldeponie

Nicht das Globalkonzept zur Abfallwirtschaft machte das Jahr 1992 zum Jahr des Mülls. Es waren vielmehr die umstrittene Standortbestimmung für nationale Industriemülldeponien und die damit verbundenen hitzigen Diskussionen und heftigen Reaktionen. Anlässlich seiner letzten ordentlichen Sitzung vor den Sommerferien entschied sich der Ministerrat am 31. Juli für eine Aufteilung der zu schaffenden Industriemülldeponien. Der Bauschutt und die aus der Sidor-Müllverbrennungsan-

ge herstammende Schlacke sollen im „Pafewee“ in Sassenheim deponiert werden. Für den Industriemüll wurde eine auf dem Territorium der Gemeinden Mamer und Garnich liegende Lagerstätte in der Nähe der Gemarkung „Hae-bicht“ zurückbehalten, die verfestigte Sidor-Flugasche soll unterirdisch im früheren Dolomithartsteinwerk von Wasserbillig gelagert werden.

Einen Tag nach dem Beschluß des Ministerrates kündigte der Mamer Bürgermeister Josy Konz seinen Rücktritt an. Zwei Tage später reichte er sein Demissionsschreiben im Innenministerium ein, griff Wochen später in Zeitungsartikeln die Regierung, insbesondere aber Umweltminister Alex Bodry an, forderte mehrmals im zweiten Halbjahr die Entlassung aus seinem Amt und verließ am 24. Dezember das Gemeindehaus. Mit ihm demissionierten sämtliche LSAP/CSV-Koalitionsmandatäre im Mamer Gemeinderat. Die Schlüssel zum Gemeindehaus nahmen die Schöffen Gaston Roderes und Jean Morby entgegen. Bis zum 7. März 1993, - dann sollen Komplementarwahlen für die sieben vakant gewordenen Posten im Mamer Gemeinderat stattfinden -, werden beide die Amtsgeschäfte übernehmen.

Auch in den anderen betroffenen Gemeinden kam es zu heftigen Reaktionen: Umweltschützer traten auf den Plan, Bürgerinitiativen wurden ins Leben gerufen, GAP, GLEI, Sidor, Fedil und Greenpeace meldeten sich zu Wort. Mit der parlamentarischen „Rentrée“ fand ebenfalls eine zweistündige Aktualitätsdebatte über die Abfallbeseitigung statt, bei der die Person des Umweltministers im Kreuzfeuer der Kritik stand.

Über Müll wurde aber auch grenzüberschreitend verhandelt und gestritten. Mit dem 1. Januar 1993 werden in Europa in punkto Müll noch keine Grenzen abgebaut. Kein Land darf zur Müllkippe Europas werden, so entschieden die EG-Umweltminister anlässlich ihrer Sitzung am 20. Oktober hier in Luxemburg. Schließlich machte der Mülleinfuhrstopp nach Frankreich im Zuge des deutsch-französischen Hausmüllskandals auch hierzulande auf die Problematik des Krankenhausmülls aufmerksam.

## Kén Dreck an d'Waasser!

---

---

### 5.4. L'eau

---

---

Reflets d'antan...

---

«Die Alzette stinkt zum Himmel. Von Esch/Alzette bis nach Ettelbrück ist unser Nationalfluß zum Sammelkollektor der Abwässer von rund 200.000 Luxemburgern geworden, die Industrien nicht mit eingerechnet. Die zugeführte Abwassermenge ist im Sommer bei Trockenwetter größer als der natürliche Alzetteabfluß. Das Schmutzwasser überflutet buchstäblich die Alzette und ihre kleinen Nebenbäche, die dieser ungeheuren Abwasserlast nicht gewachsen sind. Ihre natürliche, innewohnende Selbstreinigungskraft ist total zusammengebrochen. Kläranlagen fehlen fast gänzlich oder sind zu klein.

Die Wiltz fließt milchig, mit Öl und Fett geladen, unterhalb Wiltz durch eine Landschaft, die durch das verschmutzte Wasser allen Reiz verloren hat.

Viele kleinen Bäche im Lande gleichen, vor allem in den trockenen Sommermonaten, stinkenden Kloaken. Wo früher klare Bachläufe das Bild der Landschaft verschönten, zieht heute eine bräunlich-graue Flüssigkeit wie verdünnte Jauche unterhalb mancher Dörfer durch verschlammte Bachbette.»

Josy Barthel, 1964.

---

### 5.4.1. Pollution et autoépuration de l'eau

#### L'autoépuration

Les cours d'eau restent propres grâce à l'autoépuration, un phénomène qui s'insère dans le cadre du cycle alimentaire. Les matières organiques sont essentiellement éliminées par les micro-organismes (Bactéries, Champignons, Protozoaires Ciliés) et les détritivores (Vers, Crustacés, Lamellibranches, etc.). L'oxygène nécessaire est fourni par les végétaux autotrophes. D'un côté, l'autoépuration aboutit à la minéralisation des substances organiques. De l'autre côté, elle assure la transformation de la matière organique «non vivante» en matière organique «vivante»: les substances organiques en décomposition servent de nourriture aux Bactéries, à leur tour mangées par les Ciliés, et s'intègrent ainsi dans une chaîne alimentaire qui aboutit aux Poissons.

L'autoépuration exige l'existence d'une biocénose bien équilibrée, elle dépend en plus de facteurs physiques tels que: forme du lit du cours d'eau, profondeur de l'eau, température, lumière, etc.

Fig. 303: Schéma de la prise en charge des substances organiques ou minérales au cours de l'autoépuration (d'après Uhlmann, 1988).

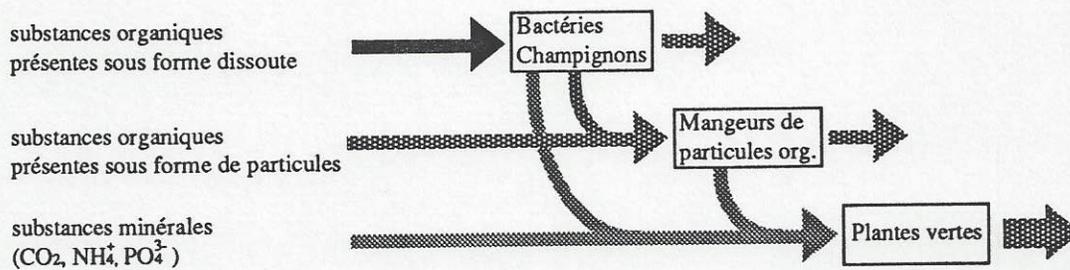
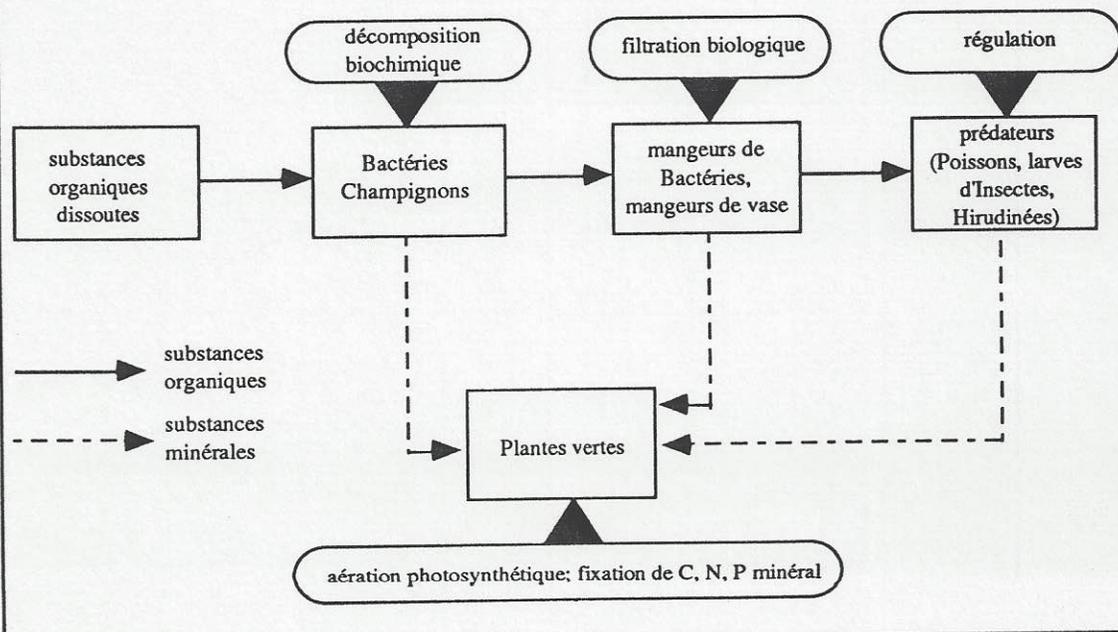


Fig. 304: Schéma du déroulement de l'autoépuration dans une eau courante (d'après Uhlmann, 1988).



## Pollution par les matières organiques

Lorsque les quantités de matières organiques deviennent trop grandes (introduction massive d'eaux usées), l'équilibre biologique est rompu. En présence d'une offre alimentaire très élevée, il y a multiplication excessive des Bactéries dont la consommation en oxygène augmente fortement. L'eau n'ayant qu'une réserve limitée d'oxygène, ce dernier finit par manquer. Des animaux meurent, et la décomposition de leurs cadavres accélère encore l'évolution fatale.

Le manque d'oxygène avantage les Bactéries anaérobies. La décomposition normale est remplacée par la *putréfaction*, qui donne lieu à la formation de gaz souvent toxiques et nauséabonds (sulfure d'hydrogène, ammoniac, méthane, etc.). Les organismes aérobies disparaissent, l'eau meurt.

### L'eutrophisation

Une évolution analogue est provoquée par l'apport massif de certains sels minéraux (nitrates et surtout phosphates). L'eau s'enrichit ainsi en éléments fertilisants. C'est le phénomène de l'*eutrophisation* (gr.: *eu* = bien, *trophê* = nourriture). Les végétaux, en premier lieu le phytoplancton, se multiplient de façon explosive. A cause de sa solubilité relativement faible dans l'eau, une bonne partie de l'oxygène que les végétaux produisent pendant le jour, s'échappe. Pendant la nuit, les plantes en consomment plus qu'il n'en a été retenu par l'eau pendant le jour. Il en résulte un déficit d'oxygène.

L'origine des éléments fertilisants est variée:

- *eaux usées* contenant notamment des phosphates provenant des déchets humains;
- *eaux de ruissellement* entraînant des *engrais* utilisés par l'agriculture;
- *purin* (Jauche) et *lisier* (Gülle) provenant de l'élevage animal, surtout sous ses formes industrialisées.

Par ailleurs, la dégradation des matières organiques de l'eau fortement polluée se solde à son tour par la libération de quantités massives de sels nutritifs, donc de matières fertilisantes et eutrophisantes.

## 5.4.2. Détermination du degré de pollution

### 5.4.2.1. Demande biologique en oxygène (DBO)

La notion de *demande biologique en oxygène (DBO)* (*biologischer Sauerstoffbedarf, BSB*) repose sur un test qui mesure la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes durant la dégradation des matières organiques présentes dans l'eau.

Afin d'éviter toute arrivée ou production d'oxygène, le test s'effectue en flacon fermé et à l'obscurité. La DBO s'exprime en mg d'oxygène consommé par litre d'eau. Plus la DBO est grande, plus la pollution de l'eau est forte.

La mesure la plus répandue est la  $DBO_5$ , qui, pour un échantillon donné, correspond à la consommation d'oxygène au cours de 5 jours, à la température constante de 20°C.

Quelques valeurs de  $DBO_5$  :

• eau propre:	1 - 3 mg/l
• eau très polluée :	80 mg/l
• eaux usées domestiques:	300 mg/l
• eaux résiduaires à la sortie d'une station d'épuration :	5 - 50 mg/l
• effluents d'abattoir:	1000 - 2000 mg/l

La  $DBO_5$  nécessaire pour la dégradation des polluants liquides produits par une personne pendant un jour est évaluée à 60 g d'oxygène. Elle définit l'*équivalent-habitant*, une unité relative utilisée dans le domaine de la technologie de l'épuration des eaux :

1 équivalent-habitant (*Einwohnergleichwert*)  
=  $DBO_5$  de 60 g  $O_2$  par habitant et par jour

Un équivalent-habitant correspond à la production de 200 litres d'eaux usagées par habitant et par jour.

L'équivalent-habitant permet de comparer la pollution industrielle à la pollution domestique:

type d'activité	unité de production	équiv.-hab.
brasseries	1 hl de bière	15 à 35
distillerie de grain	1 t de céréales	500 à 900
abattoir	1 porc	8 à 80
laiterie	1000 l de lait	25 à 230
élevage de vaches	1 vache	5 à 10
élevage de porcs	1 porc	3

Tab. 21: Estimation de la charge polluante totale produite au Luxembourg en 1988 en équivalents-habitants (source: Massard & Hansen, 1988).

• Population:	365.000
• Industrie alimentaire (brasseries, caves vigneronnes, etc.):	150.000
• Industrie chimique:	30.000
• Tourisme (campings, hôtels, restaurants et cafés):	55.000
• Total	600.000

### 5.4.2.2 Le système des saprobies selon KOLKWITZ & MARSSON (1902)

Il existe des *bioindicateurs* dont la présence ou l'absence peut nous renseigner sur le degré de pollution d'une eau. L'étude de ces organismes a conduit à l'élaboration du *système des saprobies* ou *système saprobien*. Un(e) *saprobie* est un organisme vivant dans un milieu aquatique pollué (= *milieu saprobe*).

Sous cet aspect, on distingue:

■ **les organismes polysaprobies** (vivant dans les eaux très fortement polluées):

▲ Bactéries:

- *Sphaerotilus* ou Bactéries filamenteuses en touffes («*queue d'agneau*»).

▲ Ver de vase (*Tubifex*), rougeâtre;

▲ larves de Diptères (all.: *Zweiflügler*):

- larve de Chironome (*Chironomus*), rouge;
- larve d'Eristale (*Eristalis tenax*) ou «*ver à queue de rat*»; elle filtre des particules de boues.

■ **les organismes  $\alpha$ -mésosaprobies** (vivant dans les eaux fortement polluées):

▲ Crustacés:

- Aselle (*Asellus aquaticus*), se nourrit des matières en putréfaction;

▲ Sangsue:

- *Herpobdella*, prédateur.

■ **les organismes  $\beta$ -mésosaprobies** (vivant dans les eaux moyennement polluées):

▲ larves de Trichoptères (all.: *Köcherfliegen*, angl.: *caddis flies*):

- *Hydropsyche*, construit une sorte de filet retenant les organismes qui lui servent de nourriture;

▲ Crustacés:

- Gammare ou «Crevette d'eau douce» (*Gammarus pulex*), se nourrit de végétaux et d'animaux en décomposition;

▲ Mollusques:

- Petite Limnée (*Radix ovata*).

■ **les organismes oligosaprobies** (vivant dans les eaux propres):

▲ larves de Plécoptères (Perlides) (all.: *Steinfliegen*);

▲ larves d'Ephémères (*Ecdyonurus*);

▲ larves de Trichoptères:

- *Limnophilus*, construit un fourreau fait de brindilles;
- *Stenophylax*, fourreau alourdi par de petites pierres;

▲ Turbellariés (all.: *Strudelwürmer*): *Dugesia (Planaria) gonocephala*.

L'inventaire de la faune et de la flore d'un cours d'eau permet donc d'en déterminer les zones des saprobies et d'en définir l'état de pollution. Cette *méthode hydrobiologique* est utilisée, à côté de *méthodes chimiques*, depuis une vingtaine d'années au Luxembourg pour l'étude de la pollution des eaux (voir cartes, pp. 238 et 240).

Fig. 305: Le système des saprobies selon KOLKWITZ & MARSSON (1902).

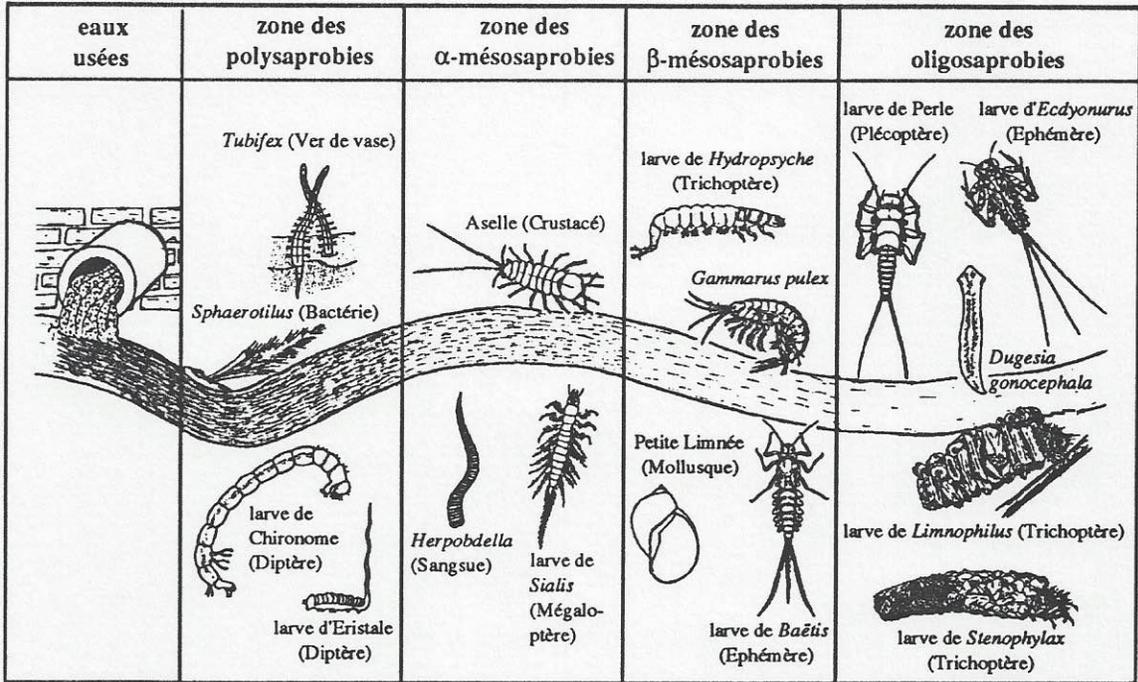
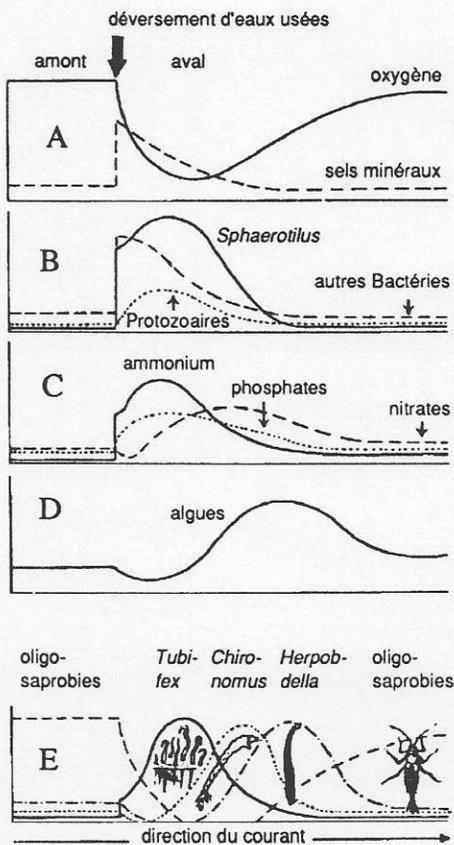


Fig. 306: Représentation schématique du processus de l'autoépuration de l'eau. (d'après Walder et al., 1970)



- Dans les sens vertical: degré de concentration de différentes matières polluantes contenues dans l'eau, ou densité de la faune microbienne
- Dans les sens horizontal: l'eau s'épure d'elle-même sur un tronçon de rivière d'une certaine longueur.

«Les bactéries et les sels parviennent dans la rivière avec les eaux usées qui y sont déversées (A et B). Les bactéries consomment de l'oxygène (A). Elles servent de nourriture à de nombreux protozoaires (B), qui se multiplient rapidement. Les eaux fortement polluées favorisent la formation de touffes filamenteuses (B). Certaines bactéries transforment l'ammoniaque et l'ammonium en nitrates (C). Des phosphates sont libérés lors de la dégradation des matières organiques (C). Les nitrates et les phosphates sont des engrais pour les algues, qui se mettent à proliférer (C et D). On voit, à la lettre E, quelques représentants caractéristiques d'espèces animales qui trouvent, dans des eaux plus ou moins polluées, les conditions d'existence qui leur sont particulièrement favorables. Leur présence révèle le degré de pollution de l'eau.» (extrait de: Walder et al., 1970).

### 5.4.3. La pollution de l'eau au Luxembourg

#### Des eaux limpides aux eaux mortes

La pollution de l'eau est liée au développement démographique et industriel. Au 19<sup>e</sup> siècle, nos cours d'eau sont encore dans un excellent état. Ainsi, les Saumons remontent régulièrement la Sûre pour y frayer. A Diekirch, en 1885, la société des pêcheurs prend 300 kg de Saumons dans la Sûre, au cours d'une seule matinée. Vers 1923, des milliers d'Ecrevisses auraient encore été capturées dans l'Alzette.

Une trentaine d'années plus tard, la situation a bien changé. Les cours d'eau sont devenus peu poissonneux, les animaux aquatiques sont en péril. L'Alzette est très polluée; par endroits, c'est une eau morte. La Moselle est gravement malade sur tout son parcours, la Sûre dans sa partie moyenne, en aval d'Ettelbruck. L'épuration, uniquement mécanique, des eaux usées est largement insuffisante. Elle atteint à peine 5 % de la charge polluante totale du pays.

#### Historique du programme d'assainissement

L'année 1963, qui voit la création du *Commissariat à la Protection des Eaux*, constitue un tournant dans la lutte contre la pollution des eaux. Un vaste programme pour l'installation de stations d'épuration biologique démarre.

En 1973, 62 % des cours d'eau ont une qualité acceptable, 24 % se trouvent dans un état de pollution moyenne, 14 % sont fortement pollués. Il s'agit notamment de l'Alzette et de la Chiers, les deux tiers de la charge polluante étant concentrés dans le triangle Luxembourg-Pétange-Dudelange.

De 1963 à 1980, la part des eaux usées traitées biologiquement a passé de 10% à 80 % de la charge polluante totale, qui est estimée à l'époque à 700.000 - 800.000 équivalents-habitants. La moitié, à peu près, de cette charge est d'origine domestique, le reste d'origine industrielle.

A la fin de l'année 1992, le pays était doté de 313 stations d'épuration, dont 78 stations biologiques (54 à boues activées). La capacité de traitement des stations biologiques a été de 803.900 équivalents-habitants.

Plus de 4 milliards de francs ont été investis depuis 1963. La lutte acharnée pour l'assainissement des cours d'eau a des résultats encourageants. Le symbole en est peut-être l'Alzette. Elle reste toujours la rivière la plus polluée du pays, mais est redevenue partiellement piscicole à partir de Lintgen-Mersch. Le but final, rendre à 90% de nos cours d'eau une bonne qualité biologique, n'a cependant pas encore été atteint.

#### Les problèmes en suspens ou d'origine récente

La construction d'une station d'épuration biologique (70.000 équivalents-habitants) pour le bassin de la Chiers, en planification depuis une dizaine d'années, a été entamée en 1992.

Pour les bassins de la Sûre (lac de barrage) et de l'Alzette se pose le problème de l'eutrophisation c.-à-d. de l'apport d'un excès de matières fertilisantes, notamment de phosphates, qui ne peuvent pas être éliminés par le traitement

biologique. Afin d'enrayer le phénomène, il faudra prévoir un *traitement tertiaire* permettant la précipitation des phosphates ainsi que la nitrification et la dénitrification. La modernisation avec ajout du traitement tertiaire est prévue aux stations d'épuration d'Esch/Schiffange, Bonnevoie et Blesbruck. La construction de stations d'épuration avec phase tertiaire est prévue à Martelange (7000 éq.-hab.) et à Heiderscheidergrund (4000 éq.-hab.). La station d'épuration d'Echternach sera agrandie.

Dans le bassin de la Moselle, les infrastructures nécessaires à l'épuration des eaux devront être nettement améliorées. Dans le bassin de l'Eisch, la situation sera améliorée par la construction de la station d'épuration de Hobscheid qui traitera également les eaux usées de la commune de Koerich. Un programme d'assainissement de l'Our est en cours d'élaboration.

Il faudra également veiller à prévenir les pollutions accidentelles. Il y en a eu 15 cas en 1980/81 dont 10 par des hydrocarbures (= 60 %). En 1992, 31 pollutions accidentelles des cours d'eaux ont été signalées. L'un des accidents les plus graves des dernières années a eu lieu le 8 avril 1990 à Martelange où 12 tonnes d'acide monochloroacétique (chargement d'un camion accidenté) ont été déversées dans la Sûre, entraînant la mort des faune et flore aquatiques jusque dans la région de Pont-Misère distant de  $\pm 20$  km et menaçant l'approvisionnement en eau potable à partir du réservoir du lac de barrage d'Esch-sur-Sûre.

### Aperçu sur le traitement des eaux usées

Tab. 22: Les divers stades du traitement des eaux usées.

Stade d'épuration	Type d'épuration	Mode d'épuration	Efficacité (%)
épuration primaire	épuration mécanique	décantation des matières en suspension	40 %*
épuration secondaire	épuration biologique	dégradation des matières organiques en solution par des micro-organismes (Bactéries, Protozoaires)	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• lit bactérien ou lit percolateur (<i>Tropfkörperverfahren</i>)</li> <li>• boues activées (<i>Belebtschlammverfahren</i>)</li> </ul>	70-85 %*
			90-95 %*
épuration tertiaire	épuration chimique	élimination des matières inorganiques en solution (not. phosphates, afin d'éviter l'eutrophisation)	90 %**

\* % de la charge polluante éliminée

\*\* % des matières inorganiques éliminées

Fig. 307: Epuration biologique des eaux usées par le procédé du lit bactérien (*Tropfkörperverfahren*).

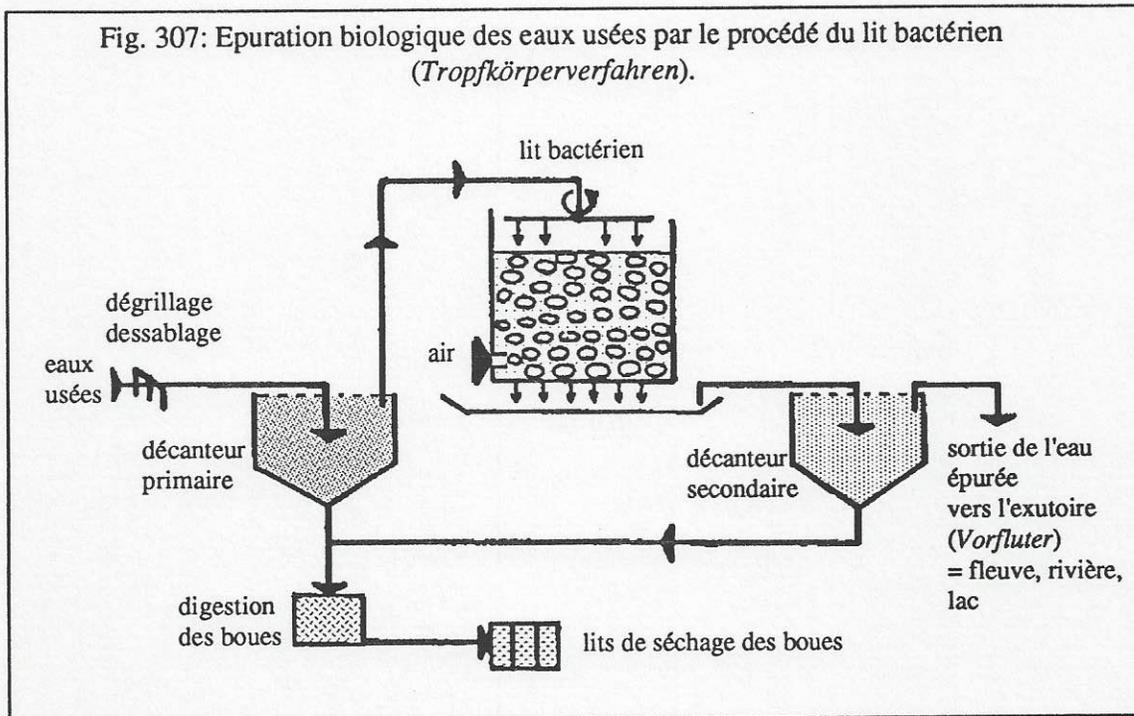
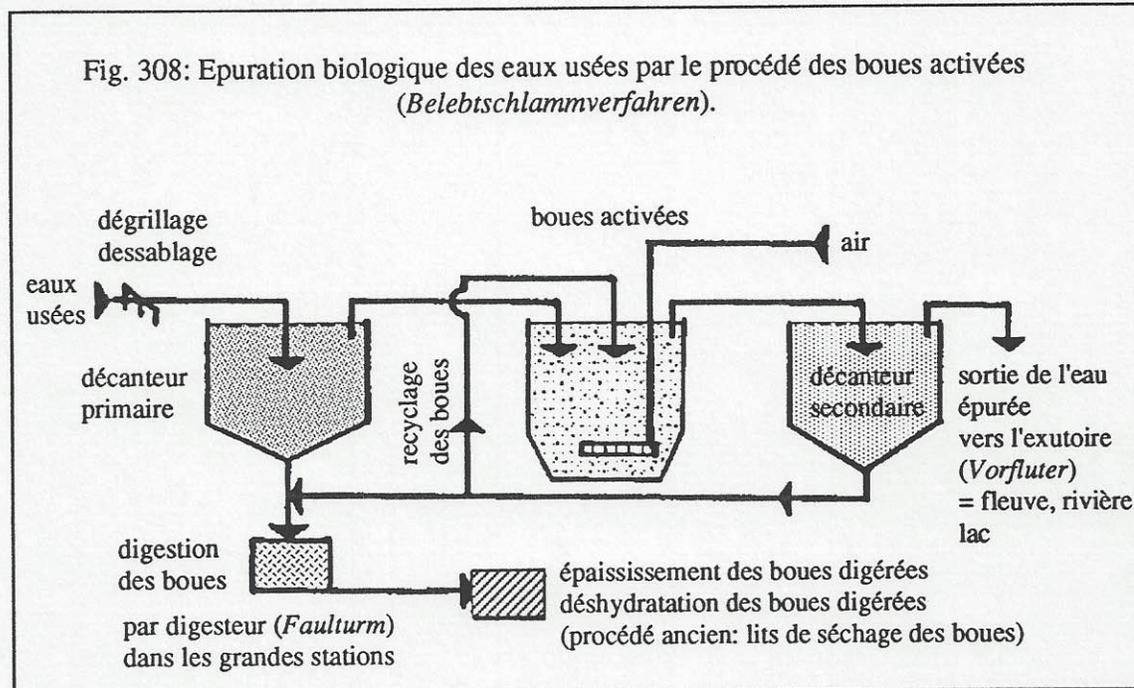


Fig. 308: Epuration biologique des eaux usées par le procédé des boues activées (*Belebtschlammverfahren*).



A côté des classiques procédés d'épuration biologique ci-dessus, des procédés nouveaux convenant à petite échelle ont été introduits au Luxembourg:

- épuration par lagunage avec aération naturelle ou artificielle (lagune = *Abwasserteich, Klärteich*);
- épuration avec champ à macrophytes (*Pflanzenkläranlage*).

Ces méthodes peuvent être avantageusement combinées avec une épuration biologique à boues activées (Neunhausen: champ à macrophytes) ou à lit bactérien (Windhof: lagunage).

Dans les stations d'épuration, les matières volumineuses et les matières flottantes (bois, papier, etc.) ainsi que l'huile sont retenues au cours d'un prétraitement et sont éliminées comme déchets. Aux différents stades du traitement, il y a formation de boues qu'il faut séparer des eaux et ensuite sécher. C'est le *traitement des boues*. Une station d'épuration biologique produit par jour et par équivalent-habitant de l'ordre de 250 g de boues «déshydratées» (déshydratation mécanique avec une teneur en matière sèche de 20 %). Pour le pays tout entier, ceci correspond à environ 150 tonnes par jour, dont au moins 50% doivent être déposées sur des décharges, le reste étant utilisé en agriculture ou en horticulture (voir le chapitre sur les déchets). Donc, si d'un côté l'épuration des eaux apporte une solution à un problème déterminé de l'environnement, à savoir la pollution de l'eau, elle crée, de l'autre côté, un nouveau problème d'environnement, celui de l'élimination des boues d'épuration qui doit se faire sans qu'il y ait pollution ni du sol ni de l'eau souterraine.

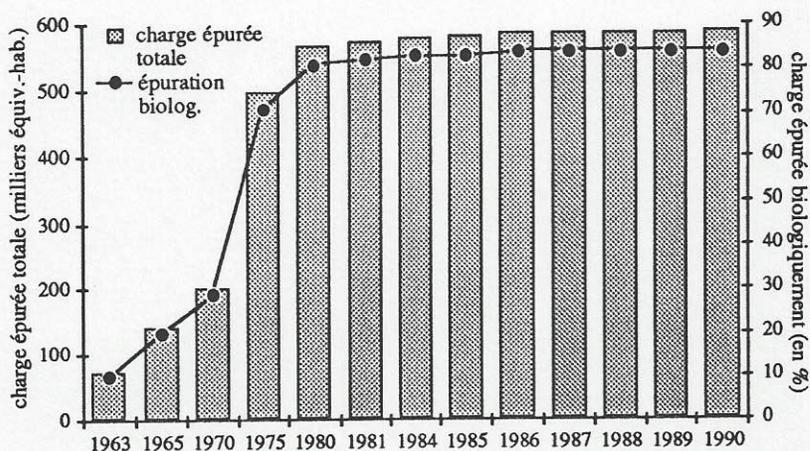
Tab. 23: Aperçu sur les principales stations d'épuration biologique du pays.

Année de mise en service (entre parenthèses: année de modernisation)	Localité	Capacité (équiv.-hab.)
1963 (1979)	Bleesbruck	80.000
1964 (1979)	Esch/Schifflange	100.000
1967	Clemency	2.000
1967	Mondorf	2.500
1969	Mersch	50.000
1971	Bonnevoie (Luxembourg)	60.000
1972	Hespérange	8.000
1973 (1986)	Clervaux	4.500
1974	Beggen (Luxembourg)	300.000
1974	Echternach *	26.000
1974	Medernach	5.000
1975	Wiltz	14.000
1977	Vianden	4.500
1978	Mamer	8.000
1978	Differdange	20.000
1979	Uebersyren (SIAS)**	12.000
1979	Steinfort	4.000
1979	Biwer/Wecker	3.000
1980	Consdorf	3.000
1980	Bettembourg	70.000
1981	Beaufort	5.000
1981 (1989)	Eschweiler	7.500
1982	Rédange	2.000
1985	Reckange/Mess	3.500
1986	Leudelange	1.000
1991	Mertzig	1.600
1991	Windhof	1.500
1992	Bourglinster	1.500

\*extension prévue

\*\* SIAS = Syndicat intercommunal pour l'assainissement de la Syre

Fig. 309: Assainissement des eaux usées (source: Annuaire statist. Luxemb., 1991).



année	1963	1965	1970	1975	1980	1981	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
charge épurée totale (en milliers équiv.-hab.)	72,6	142,0	201,9	498,0	569,0	574,8	578,3	582,9	586,9	587,1	587,1	587,1	591,6
quote-part de l'épuration biologique (en %)	10	20	29	71	81	82	83	83	84	84	84	84	84

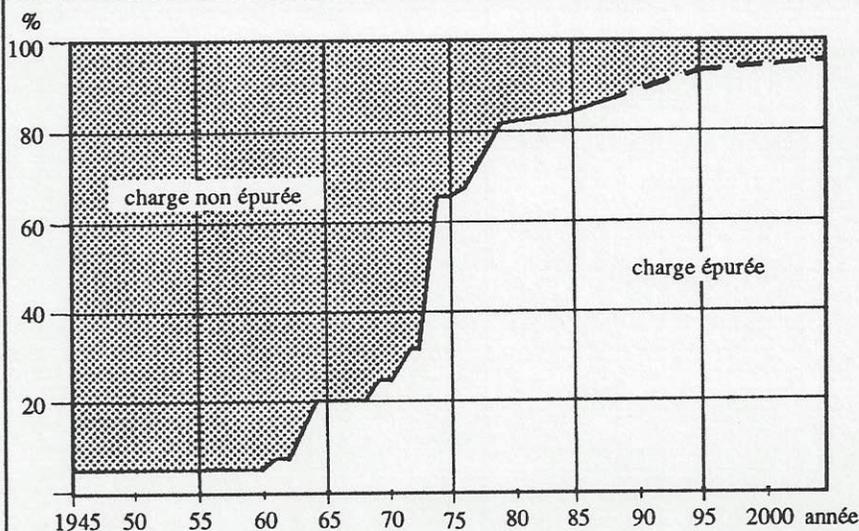


Fig. 310: Evolution de la charge polluante à partir de 1945. (d'après Massard & Hansen, 1989)

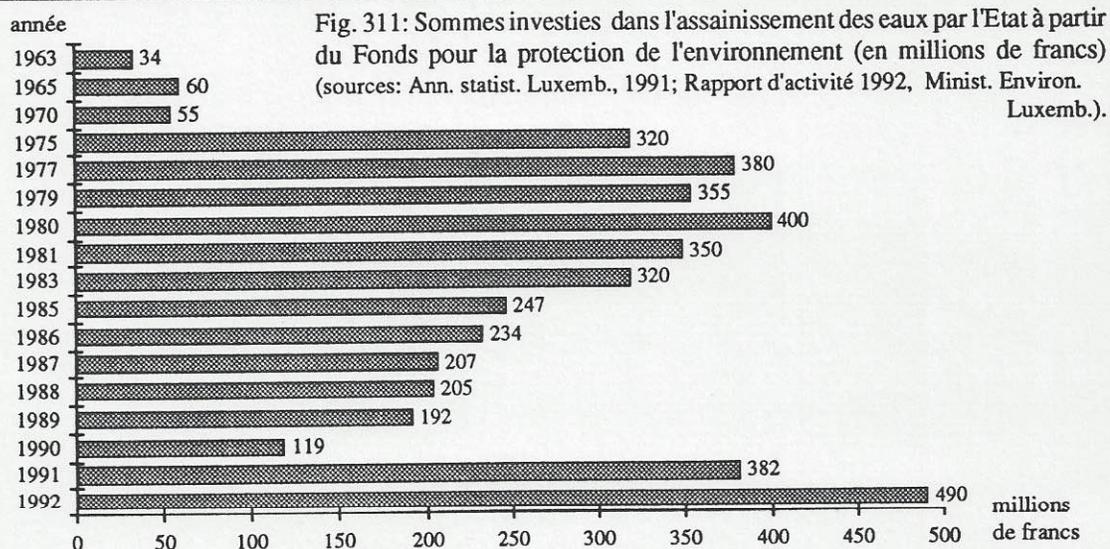
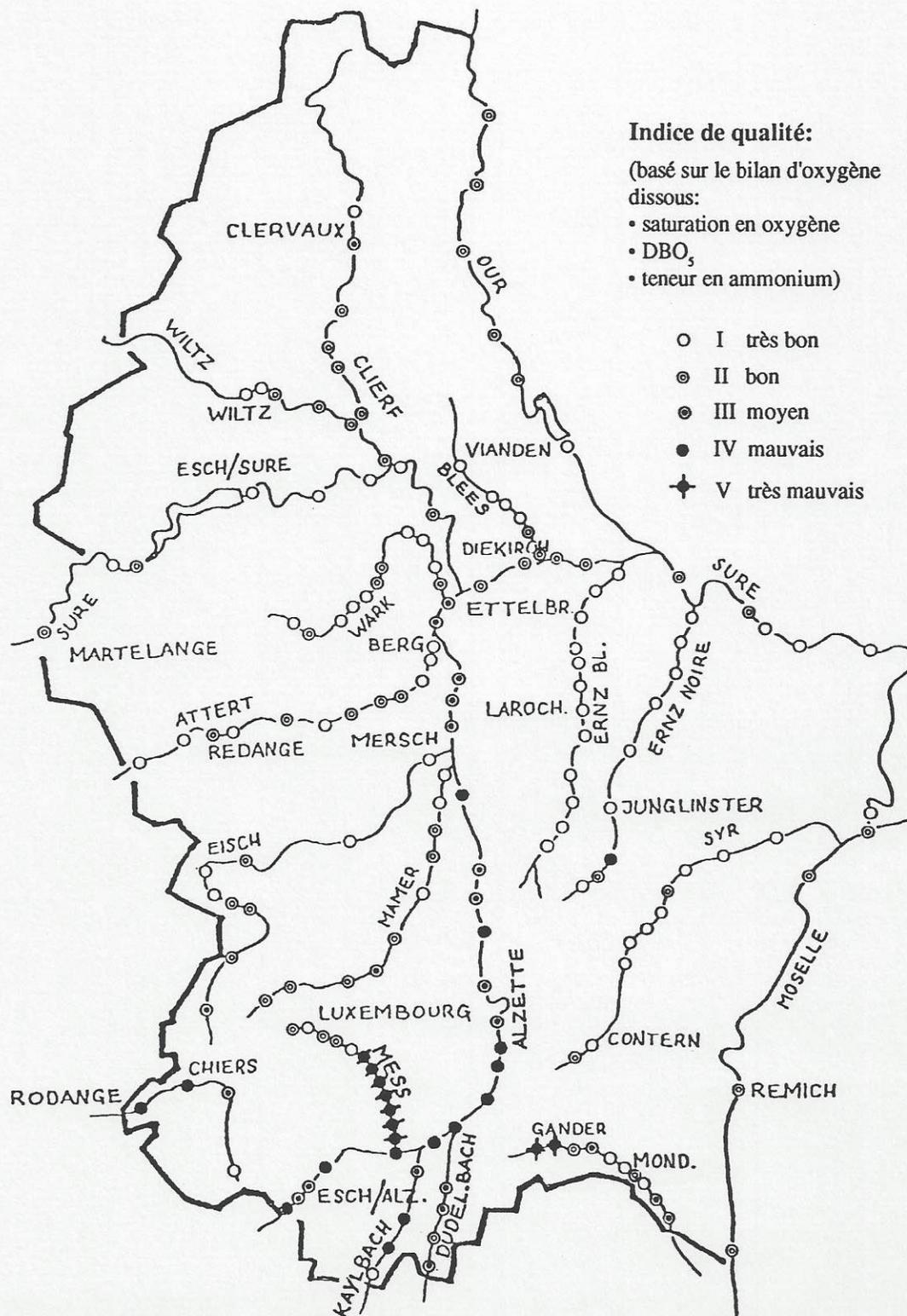


Fig. 311: Sommes investies dans l'assainissement des eaux par l'Etat à partir du Fonds pour la protection de l'environnement (en millions de francs) (sources: Ann. statist. Luxemb., 1991; Rapport d'activité 1992, Minist. Environ. Luxemb.).

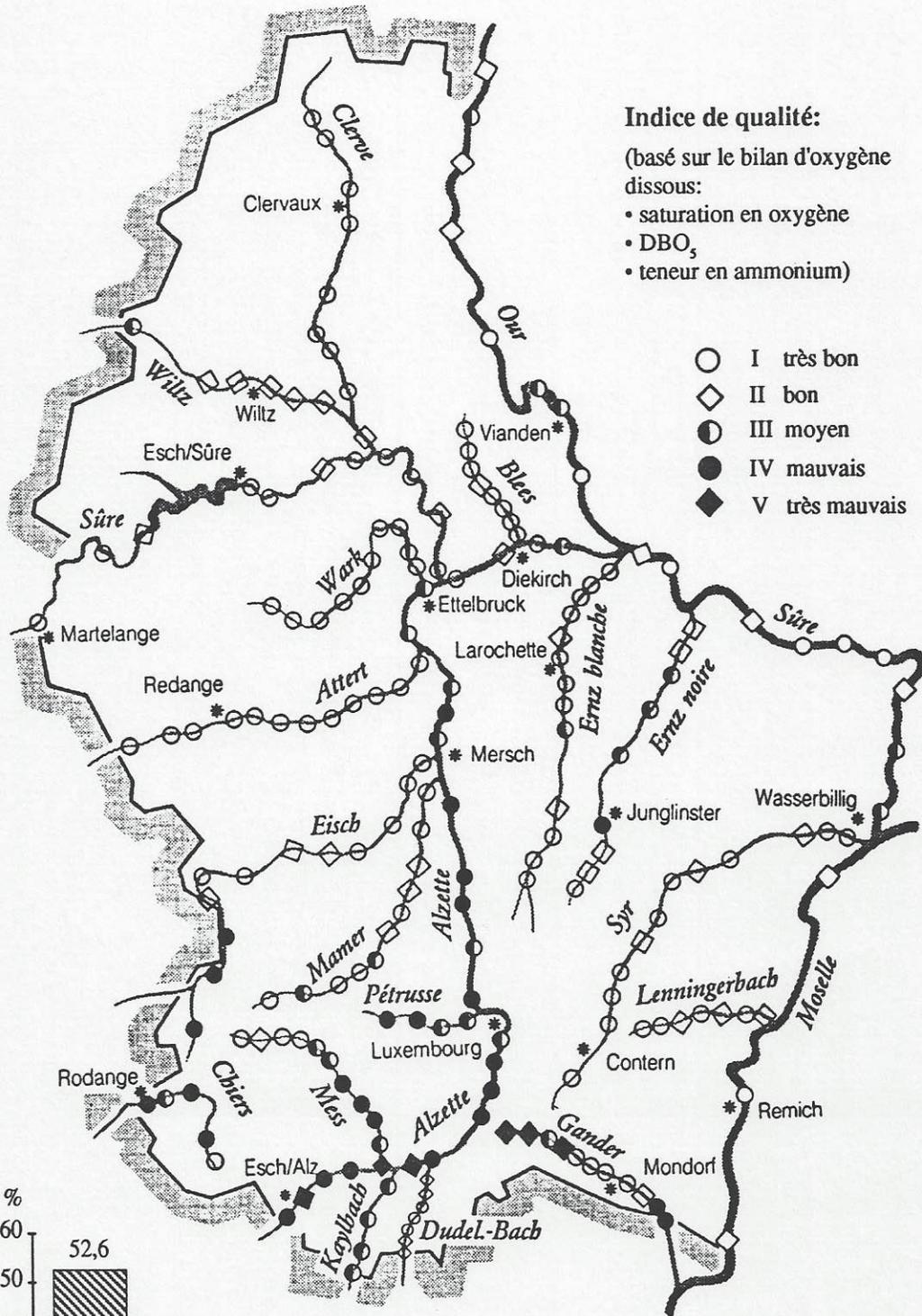
## Documents relatifs à l'état de pollution des cours d'eau luxembourgeois

Fig. 312: La qualité des cours d'eau du Grand-Duché de Luxembourg en été 1982.

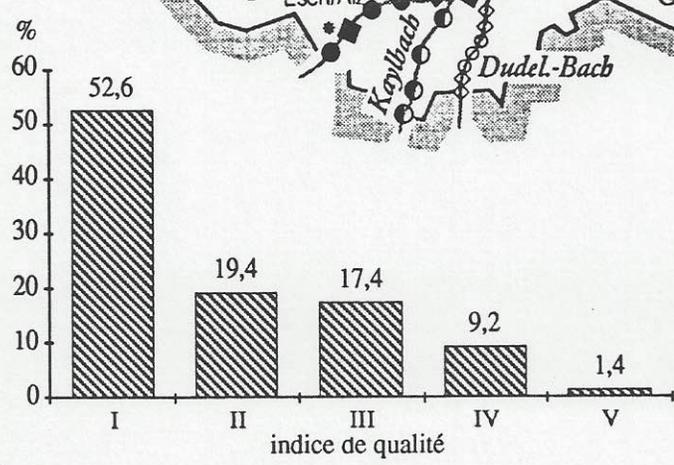


(d'après: Exposé budgét. 1982, Minist. Environ. Luxemb.).

Fig. 313: La qualité des cours d'eau du Grand-Duché de Luxembourg en été 1992.



(d'après: Rapport d'activité 1992, Minist. Environ. Luxemb.)



Représentation graphique du degré de pollution des cours d'eau luxembourgeois en 1992 (en % de la longueur totale de 691,9 km).

Tab. 24: Inventaire du degré de pollution des cours d'eau luxembourgeois.  
(sources: Annuaire statist. Luxemb., 1991; Rapport d'activité 1992, Minist. Environ. Luxemb.).

Indice de pollution	Degré de pollution	1973		1977		1988		1990		1991		1992	
		km	%										
I	Pollut. très faible	321,2	46,4	273,8	39,6	402,7	58,2	363,4	52,5	392,1	56,7	364,2	52,6
II	Pollut. faible	153,5	22,2	246,8	35,7	158,1	22,9	189,5	27,4	153,7	22,2	134,0	19,4
III	Pollut. modérée	108,8	15,7	82,2	11,9	63,8	9,2	62,2	9,0	37,2	5,4	120,3	17,4
IV	Pollut. forte	55,0	8,0	86,3	12,5	45,0	6,5	53,3	7,7	62,9	9,1	63,5	9,2
V	Pollut. excessive	53,4	7,7	2,8	0,4	22,3	3,2	23,5	3,4	46,0	6,6	9,9	1,4
	Total	691,9	100,0	691,9	100,0	691,9	100,0	691,9	100,0	691,9	100,0	691,9	100,0

Fig. 314: Le degré de pollution des cours d'eau luxembourgeois.

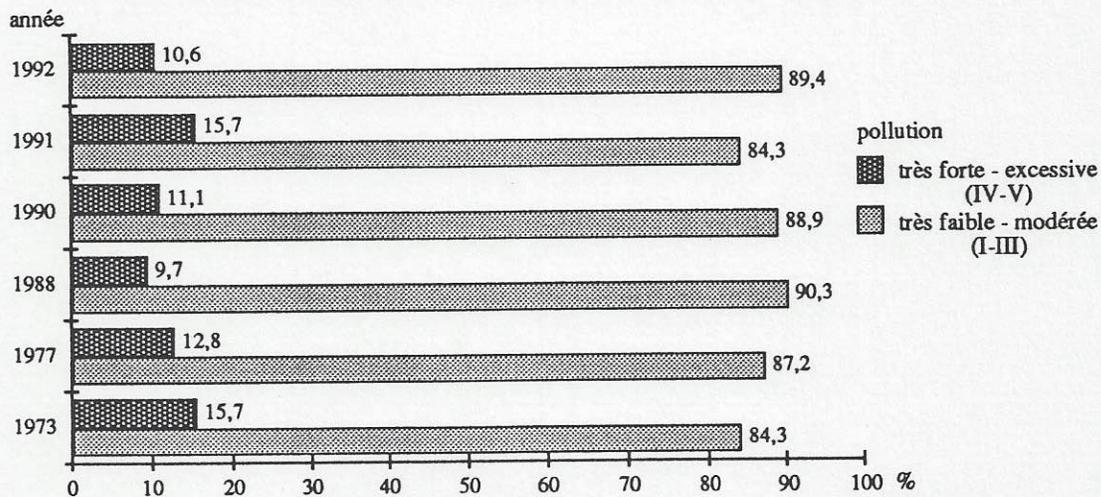
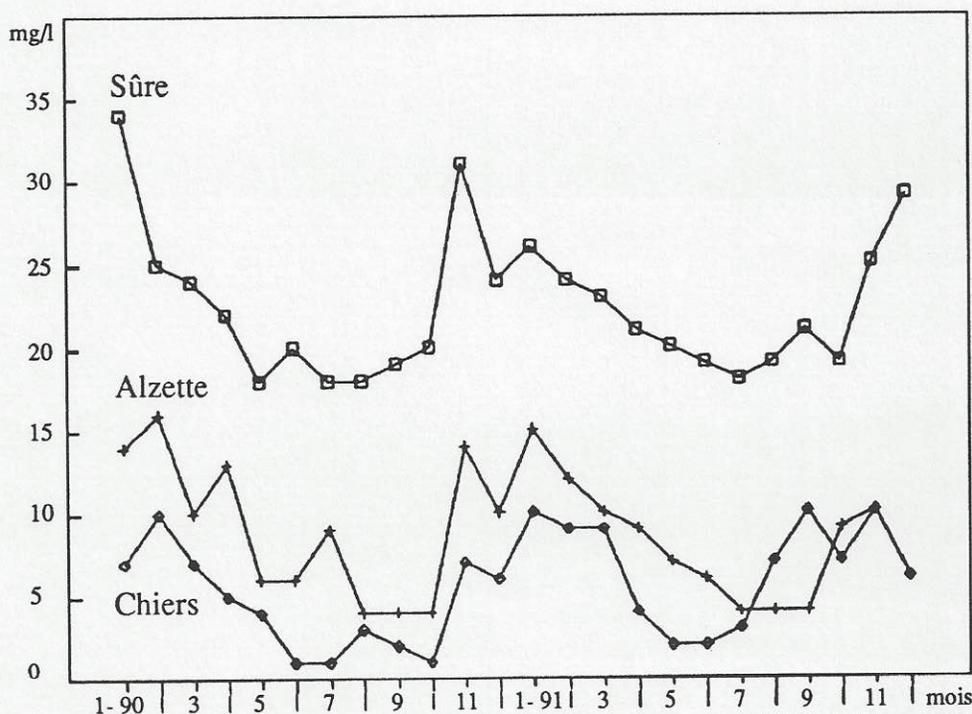


Fig. 315: Evolution de la teneur en nitrates (mg/l) de trois rivières luxembourgeoises entre janvier 1990 et décembre 1991 (d'après: Rapport d'activité 1991, Minist. Environ. Luxemb.).



## Contamination des cours d'eau luxembourgeois par les micropolluants métalliques et organochlorés

### Résultats obtenus en 1986/87 par la méthode des mousses aquatiques

A côté de la pollution classique des cours d'eau par les matières organiques (eaux usées, apports agricoles), il existe une pollution moins apparente engendrée par le développement de la civilisation et les activités industrielles. Elle est l'effet de polluants métalliques (cadmium, mercure, plomb, etc.) ou organochlorés (polychlorobiphényles, pesticides, etc.) présents à des concentrations très faibles. On les regroupe sous le terme de *micropolluants*.

Les micropolluants sont caractérisés par leur rémanence (persistance), leur toxicité et leur pouvoir bioaccumulatif. Beaucoup d'entre eux sont très toxiques.

Ces substances sont absorbées et accumulées par les végétaux aquatiques et notamment par les Mousses. Au cours d'une étude sur les micropolluants du Luxembourg effectuée en octobre 1986 et en juillet 1987 par le Laboratoire d'Ecologie de l'Université de Metz, des mousses ont été prélevées dans 102 stations choisies sur l'ensemble du réseau hydrographique du Grand-Duché. Elles ont été nettoyées, séchées et puis analysées. Les résultats ont été publiés en 1988 (Mouvet et al., 1988; Theves, 1988).

En ce qui concerne les métaux lourds, la Wiltz a montré une pollution exceptionnelle (As, Cd, Cr, Hg, Pb). Les effluents de la firme Yates apportant de l'arsenic, du cadmium,

du chrome, du cuivre, du mercure et du plomb ont été désignés comme principaux responsables de cette pollution. Des déversements de cadmium ont également été identifiés dans le secteur Eurofloor-Eurosol.

D'autres cours d'eau étaient pollués de manière importante: le Düdelingerbach et son affluent, l'Ahlbach (Cu et Pb), l'Alzette et l'Attert (Zn). Par contre, les rivières suivantes étaient exemptes de micropolluants métalliques: Mess, Clerve, Our, Bles, Wark, Gander, Sûre, Ernzt blanche, Ernzt noire, Eisch, Mamer, Moselle et Syre.

En ce qui concerne les micropolluants organochlorés, les concentrations ont été très faibles dans la majorité des stations étudiées. Une contamination épisodique de la Wiltz par le lindane et de la Mess par le DDT et ses dérivés a néanmoins été observée. Des apports de PCB (polychlorobiphényles) ont été mis en évidence dans l'Alzette, la Bles, la Chiers, le Düdelingerbach, le Kaylbach et la Moselle.

Il semblerait que l'origine de ces micropolluants organochlorés ait été essentiellement diffuse: apports atmosphériques, pratiques agricoles. La distribution géographique des valeurs élevées n'a pas suivi celle des implantations industrielles, contrairement à celle des micropolluants métalliques.

Fig. 316: Mise en évidence du cadmium (Cd) dans les cours d'eau luxembourgeois par l'analyse des mousses aquatiques (année 1986). Le seuil de pollution importante est de 6 µg/g! (d'après Mouvet et al., 1988).

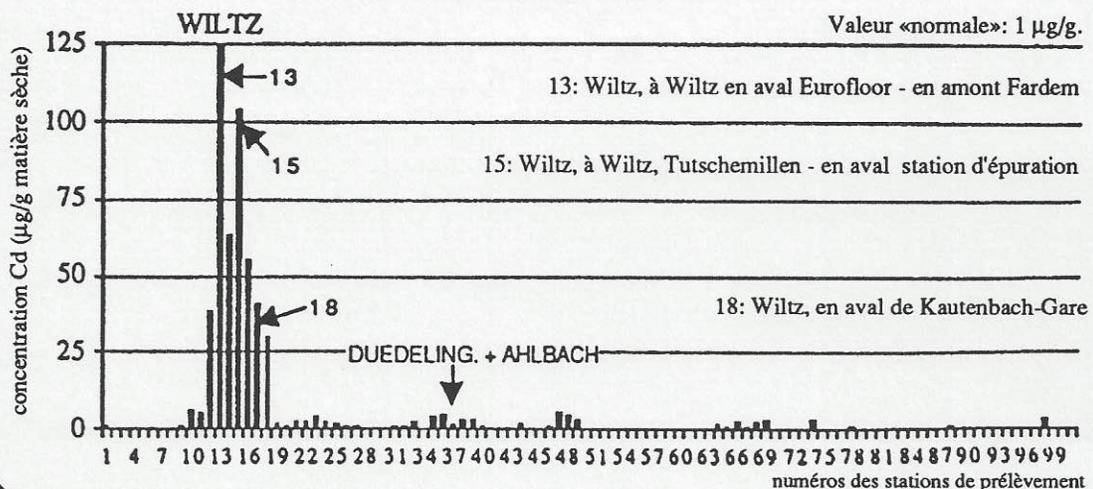


Fig. 317: Mise en évidence du chrome (Cr) dans les cours d'eau luxembourgeois par l'analyse des mousses aquatiques (année 1986) (d'après Mouvet et al., 1988).

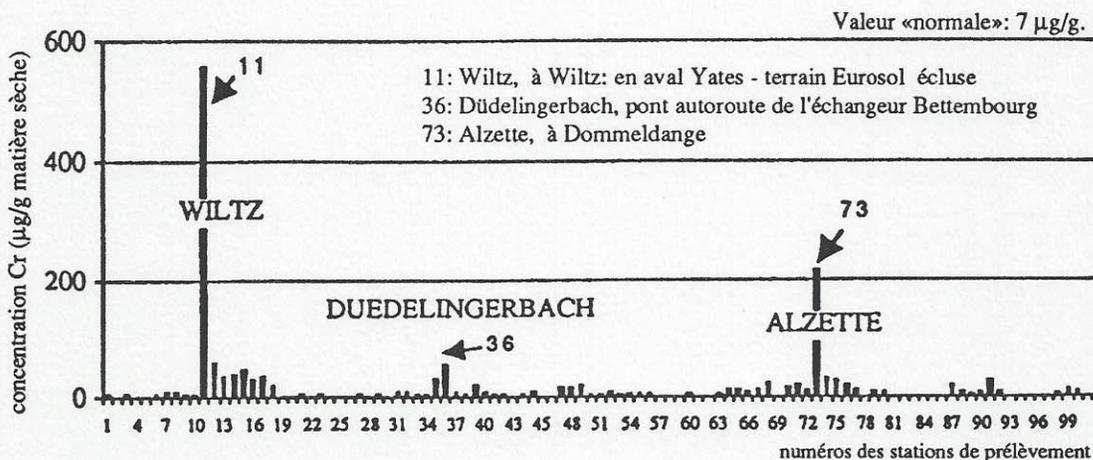


Fig. 318: Mise en évidence du mercure (Hg) dans les cours d'eau luxembourgeois par l'analyse des mousses aquatiques (année 1986) (d'après Mouvet et al., 1988).

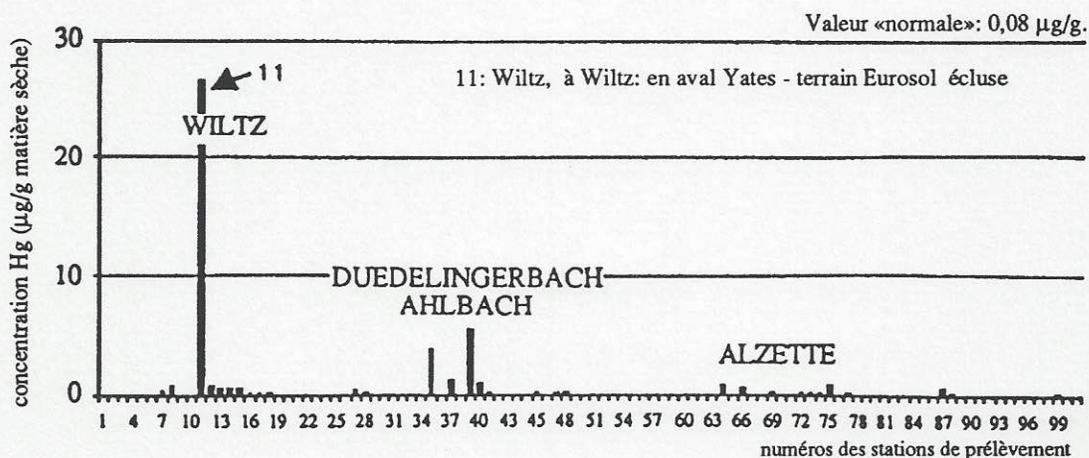


Fig. 319: Mise en évidence du plomb (Pb) dans les cours d'eau luxembourgeois par l'analyse des mousses aquatiques (année 1986) (d'après Mouvet et al., 1988).

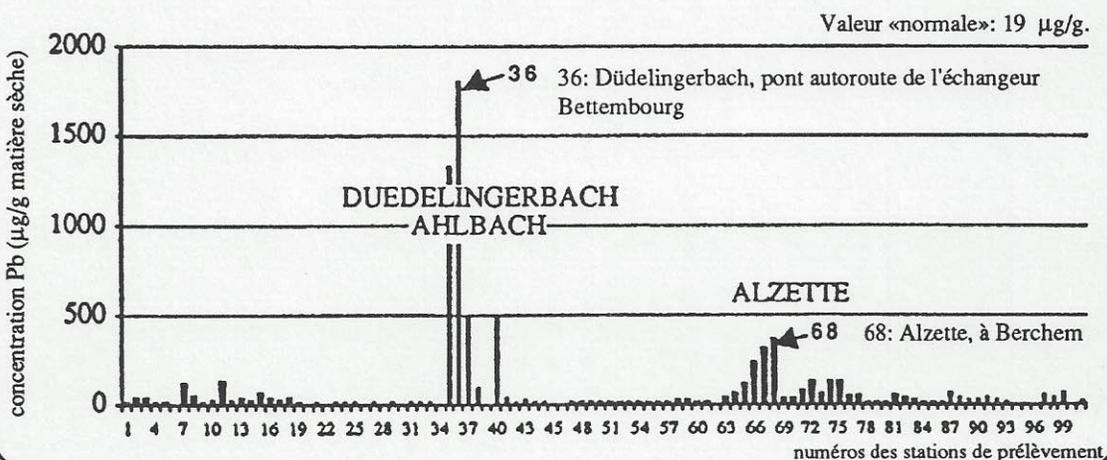


Fig. 320: Mise en évidence du lindane dans les cours d'eau luxembourgeois par l'analyse des mousses aquatiques (d'après Mouvet et al., 1988).

Le lindane a été présent dans tous les cours d'eau. Des concentrations exceptionnelles ont été enregistrées dans la Wiltz en juin 1987: 296 ng/g à Niederwampach/Schimpach-Station, 105 ng/g à Lameschmillen (Winseler), 100 ng/g à Tutschemillen (Wiltz). On a supposé qu'il s'agissait d'un déversement accidentel.

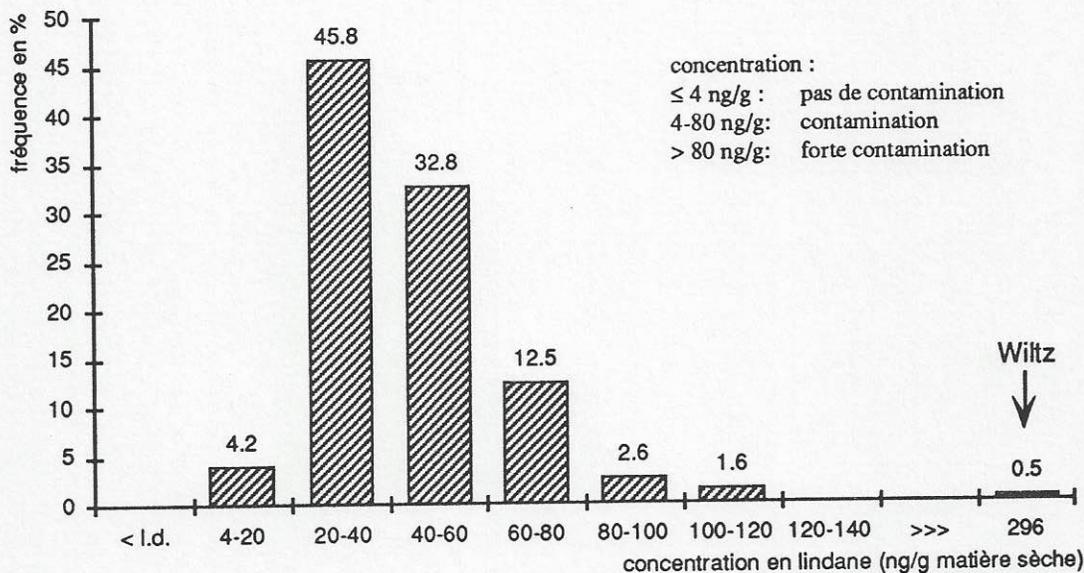
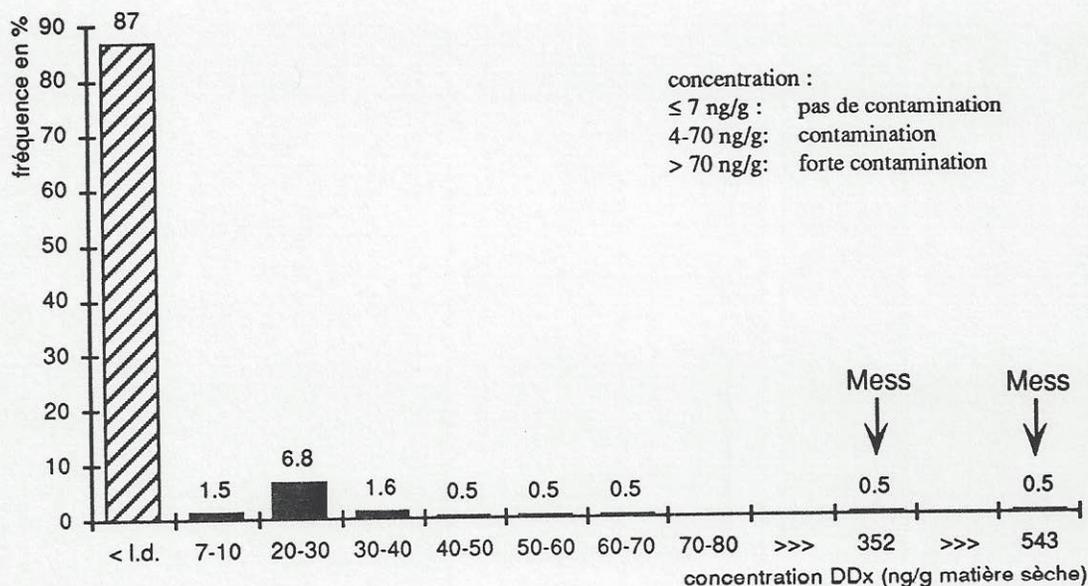


Fig. 321: Mise en évidence du DDT et de ses dérivés (DDx) dans les cours d'eau luxembourgeois par l'analyse des mousses aquatiques (d'après Mouvet et al., 1988).

Le DDT n'a été trouvé que dans 13 % des échantillons analysés. Il a été présent tout aussi bien dans des cours d'eau traversant des zones industrielles (Chiers, Wiltz) que dans des rivières à bassin versant essentiellement agricole (Mess, Brees). Aucune règle générale quant à l'origine de l'apparition du DDT n'a pu être établie. Dans la Mess, des valeurs exceptionnellement élevées ont été atteintes en octobre 1986 à Bergem (543 ng/g) et à Lameschmillen près de Noertzange (352 ng/g); en 1987 ces valeurs ont été nettement plus faibles, mais gardaient toujours un caractère significatif.



## La salinité de la Moselle et ses conséquences faunistiques

La Moselle présente une forte concentration en chlorures qui proviennent des soudières lorraines. Du côté luxembourgeois, c'est Josy Barthel (1927-1992) qui a été l'un des premiers à étudier de près la salinité de la Moselle. Dans une étude présentée en 1957, il écrit: «Les moyennes annuelles des concentrations de chlorures sont excessivement élevées. Les eaux entrent à Schengen avec une charge moyenne de 326 mg/l et sortent avec 317 mg/l». Le 10 janvier 1956, une concentration de 1018 mg/l fut même mesurée à Wintrange. A la même époque la Sûre, affluent de gauche de la Moselle, titrait moins de 30 mg de chlorures par litre!

Barthel fait le calcul intéressant suivant:

«Admettons, pour des raisons de simplicité, un débit moyen à 100 m<sup>3</sup>/sec., et une conc. moyenne en chlorures à 300 mg, d'où la charge absolue en chlorures: 30 kg/sec.

Ceci veut dire que la charge totale en chlorures passant journellement par Wasserbillig s'élève à 30 x 86400 = 2.592.000 kg ou 2592 tonnes. Exprimé en chlorure de calcium (Cl<sub>2</sub>Ca), cette charge équivaut à 4000 t/jour.

Pour transporter cette quantité de sel par jour sur rails, il faudrait un train de 400 wagons de 10 t chacun ou 8 trains à 50 wagons.»

Actuellement, la situation n'a guère changé. Entre 1980 et 1986, les moyennes annuelles mesurées à Grevenmacher se situaient entre

243 mg Cl/l et 332 mg Cl/l et la moyenne générale pour cet intervalle était de 288 mg Cl/l. La moyenne annuelle de l'année 1990 a été de 397 mg Cl/l, ce qui équivaut à une charge de 36,7 kg Cl/s, donc 3.128 tonnes par jour. La pointe du 18 février 1990 a été de 121 kg/s. Ce jour-là, plus de 10.000 tonnes de chlorures sont passées par Grevenmacher!

Cette forte salinité explique la récente immigration d'espèces des eaux saumâtres dans la Moselle.

Citons, l'Hydrozoaire *Cordylophora caspia* (*Keulenpolyp*), originaire de la région caspienne, qui a été découvert dans la Moselle allemande en 1957, et dont la présence au Luxembourg a été relevée la première fois en 1973 par le professeur Jacques Dahm (Massard & Geimer, 1987). Cet animal est parvenu dans la Moselle en remontant le Rhin. Son transport a sans doute été assuré par des bateaux.

En 1991, le Crustacé *Gammarus tigrinus* a été découvert dans l'entrée de l'ancien bras de la Moselle sur la rive allemande en face de Bech-Kleinmacher (Massard & Geimer, 1992). C'est une espèce d'eaux saumâtres d'origine nord-américaine qui a fait son apparition aux Pays-Bas au cours des années soixante. Sa présence au Luxembourg est probablement à mettre en relation avec l'introduction volontaire de l'espèce dans la Moselle en aval de Trèves en 1977.

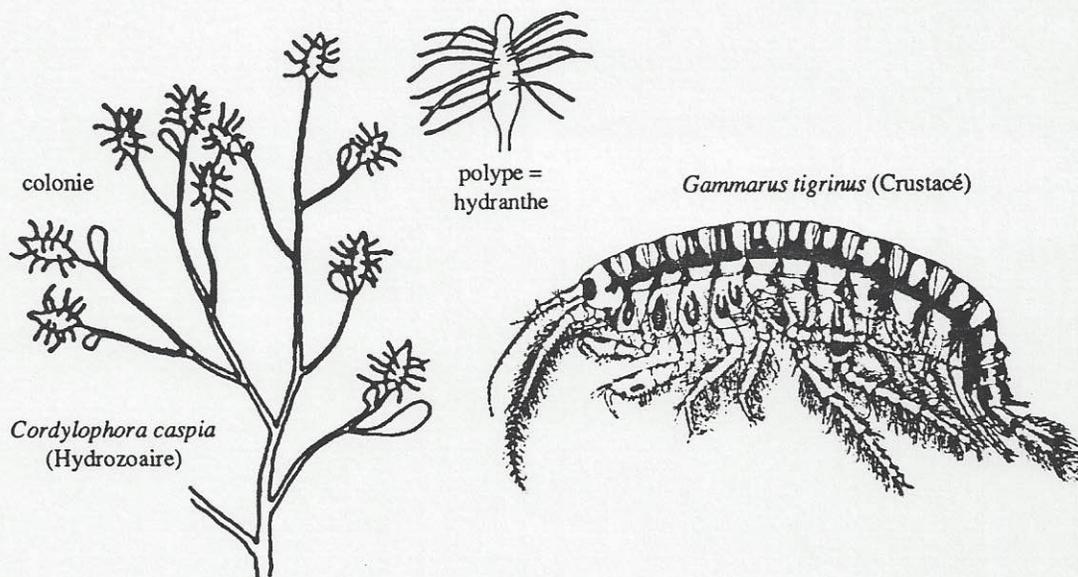


Fig. 322: Espèces des eaux saumâtres immigrées dans la Moselle.

Fig. 323: Concentrations en chlorures mesurées dans la Moselle à Grevenmacher au cours de l'année 1990 et flux des chlorures correspondants (source: Commission internat. pour la protection de la Moselle contre la pollution. Résultats d'analyses, année 1990).

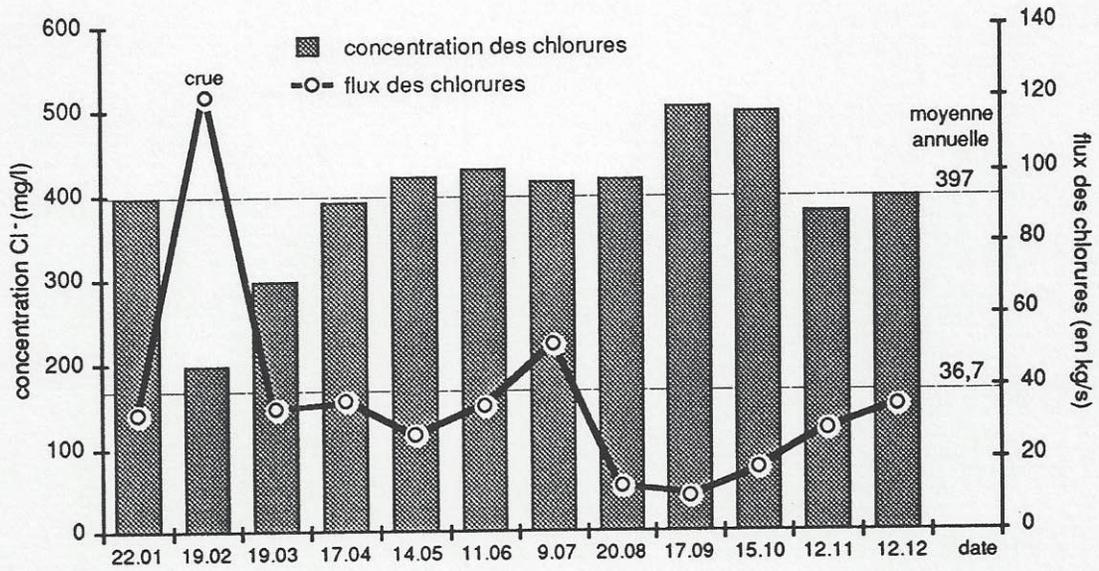
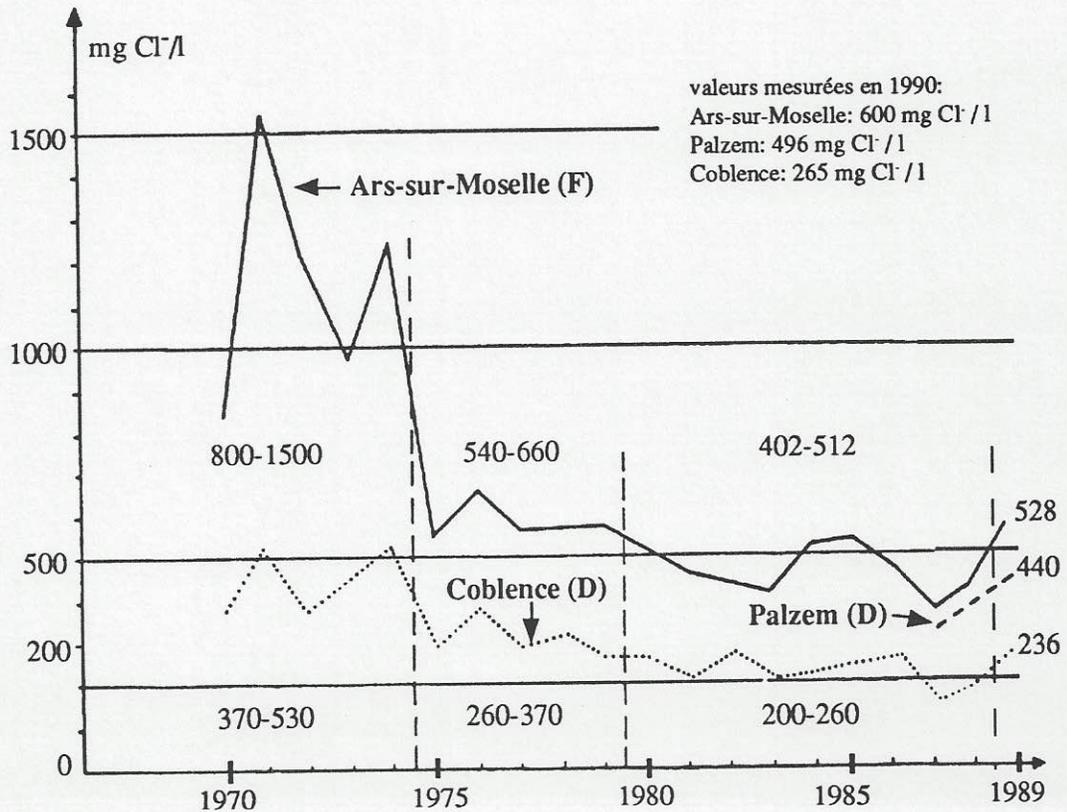


Fig. 324: Evolution des chlorures dans la Moselle entre 1970 et 1989 mesurés aux points de prélèvement d'Ars-sur-Moselle (en amont de Metz), de Palzem (vis-à-vis de Stadtbredimus) et de Coblenze (embouchure dans le Rhin). Les valeurs indiquées sont celles qui ne sont pas dépassées pendant 90% du temps (d'après: Langenfeld, 1991).



valeurs mesurées en 1990:  
 Ars-sur-Moselle: 600 mg Cl<sup>-</sup> / l  
 Palzem: 496 mg Cl<sup>-</sup> / l  
 Coblenze: 265 mg Cl<sup>-</sup> / l

### 5.4.4. L'eau potable au Luxembourg

#### L'alimentation en eau potable

La relation entre l'eau potable et la pollution de l'eau est double: 1°) les cours d'eau interviennent comme fournisseurs d'eau potable; 2°) une fois utilisée, l'eau potable s'est chargée de polluants et devient ainsi une source de pollution des cours d'eau.

Notre alimentation en eau potable est assurée par:

- les ressources d'eau souterraines* (2/3) où il faut surtout citer la nappe aquifère du Grès de Luxembourg qui fournit 90 % de l'eau prélevée dans les réserves souterraines (jusqu'à 80.000 m<sup>3</sup>/jour).

Ce prélèvement est écologiquement justifié. En effet, selon les estimations environ 72 millions m<sup>3</sup> d'eau de pluie s'infiltrent annuellement dans le Grès de Luxembourg, soit 200.000 m<sup>3</sup>/jour. Ce n'est donc que le tiers de la réserve totale qui est enlevé. Une augmentation du prélèvement risquerait cependant de déséquilibrer l'économie de l'eau de la région en mettant en danger l'approvisionnement en eau de la végétation et en abaissant le régime normal des cours d'eau.

Les autres aquifères (Grès bigarré, Calcaire coquillier, Macigno, Dogger) fournissent à peine 8.000 litres d'eau potable par jour.

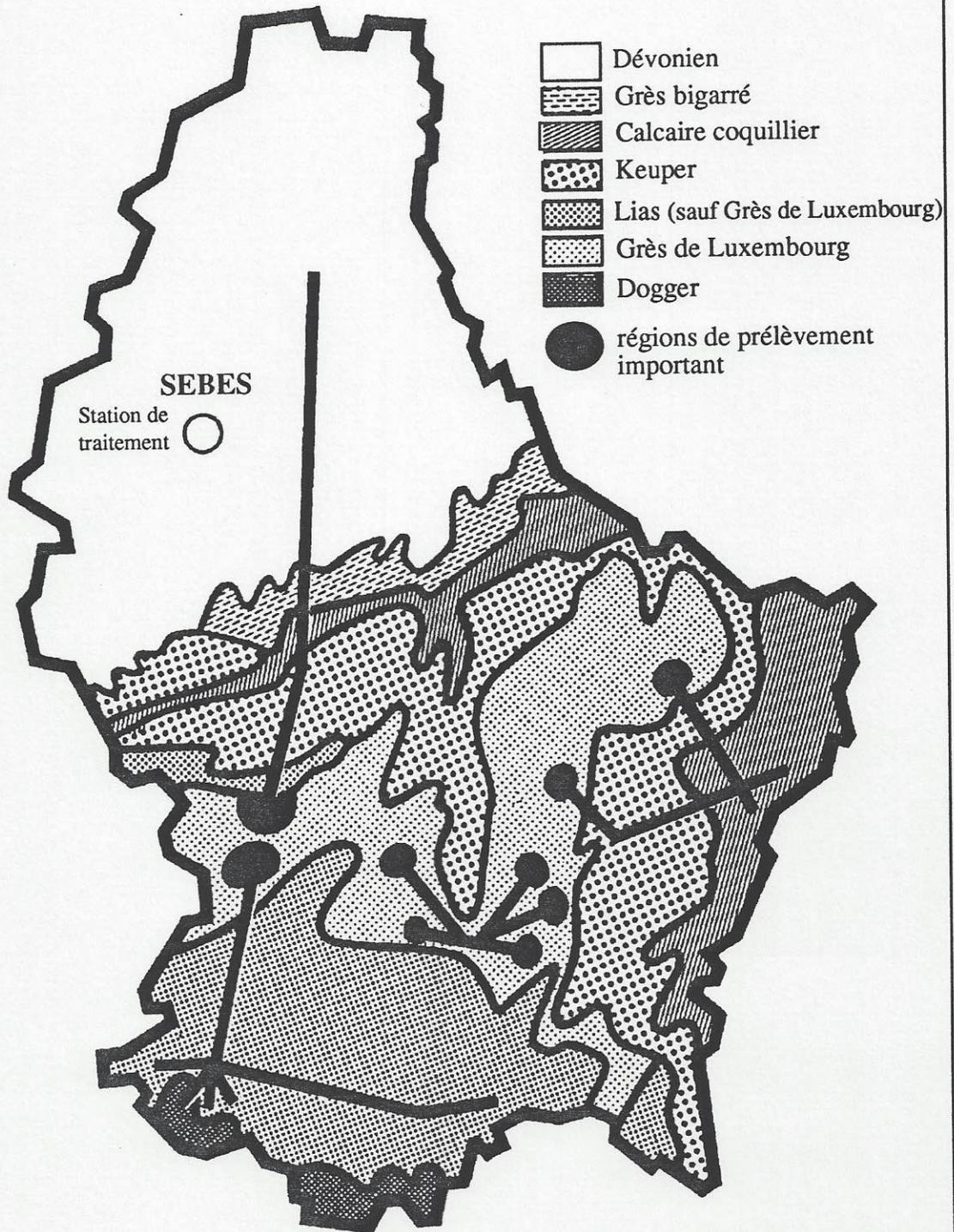
- les ressources d'eau superficielles* (1/3) où intervient la station de traitement du SEBES (Syndicat des Eaux du Barrage d'Esch-sur-Sûre) qui puise l'eau dans le lac de barrage d'Esch/Sûre. Sa capacité de traitement est de 60.000 m<sup>3</sup>/jour en fonctionnement normal et de 80.000 m<sup>3</sup>/jour en fonctionnement de pointe.

Globalement, 130.000 m<sup>3</sup> d'eau potable sont disponibles par jour. En ce qui concerne l'évolution future, le recours aux eaux de surface s'amplifiera. Une extension de la station de traitement du SEBES à 120.000 m<sup>3</sup>/jour en fonctionnement normal pourra répondre à ce besoin accru.

A coté des nappes aquifères classiques en exploitation, il existe une réserve souterraine profonde de 70.000 m<sup>3</sup>/jour accessible uniquement par forage-captage. En 1990, de tels forages-captages ont été réalisés en quatre points: Trois-Ponts près de Hagen/Kleinbetingen (9.700 m<sup>3</sup>/jour), Everlange (19.000 m<sup>3</sup>/jour), Koerich (4.500 m<sup>3</sup>/jour) et Scheidhof situé sur le territoire de la commune de Luxembourg (15.500 m<sup>3</sup>/jour). Solution de substitution au moment de la vidange du lac de barrage d'Esch-sur-Sûre en 1991, ces réserves profondes ne sont pas exploitées en temps normal.

Avec une éventuelle extension des installations du SEBES et un recours permanent à la réserve profonde, on arriverait à satisfaire une demande de quelque 880 litres par jour et par habitant.

Fig. 325: Principaux aquifères du Luxembourg (d'après Massard & Hansen, 1989).



## Consommation d'eau potable au Luxembourg

La consommation d'eau potable par habitant et par jour a rapidement augmenté au cours de ce siècle: de 10 à 20 litres d'eau par habitant et par jour en 1900, elle est passée à 265 litres en 1988.

A cause des pertes, qui s'opèrent lors du trajet de l'eau (notamment par des fuites), le chiffre de la production (fourniture) d'eau potable dépasse nettement celui de la consommation. La fourniture totale du réseau public est passée de 174 litres par jour et par habitant en 1960 à 327 litres en 1988. En 1988, elle a été de 44,8 millions de m<sup>3</sup>. S'y ajoute une production autonome des industries estimée à environ 20 millions de m<sup>3</sup>.

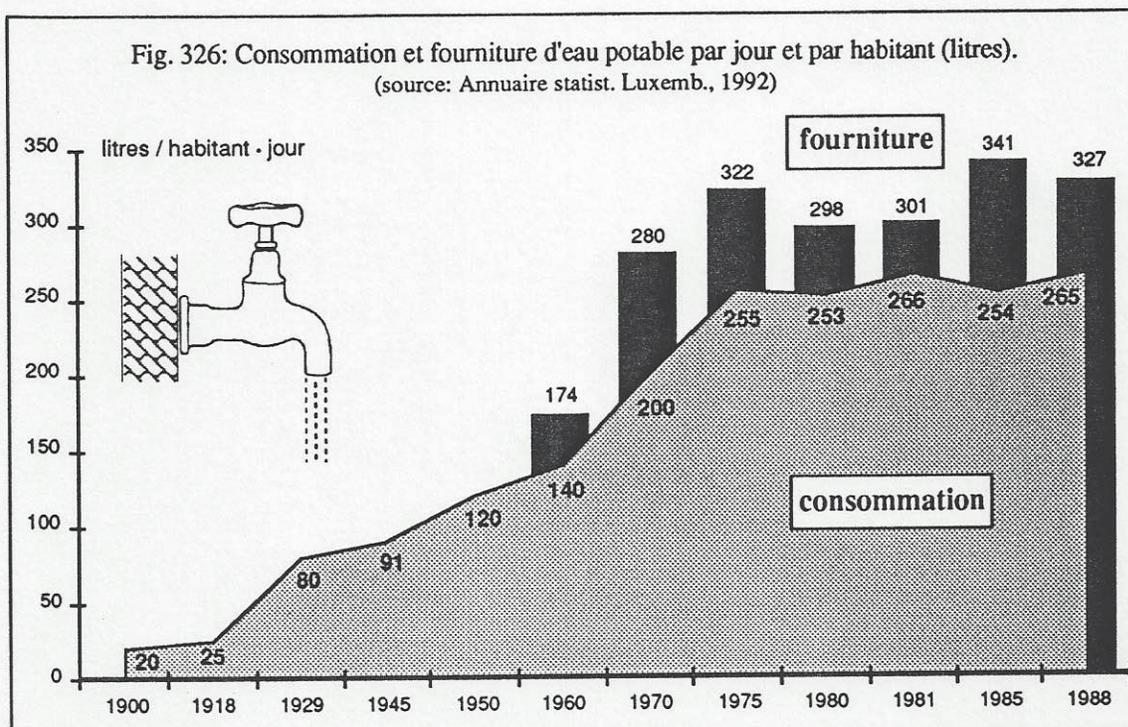


Fig. 327: Origine de l'eau fournie par le réseau de distribution publique en 1988 (source: Annuaire statist. Luxemb., 1992).

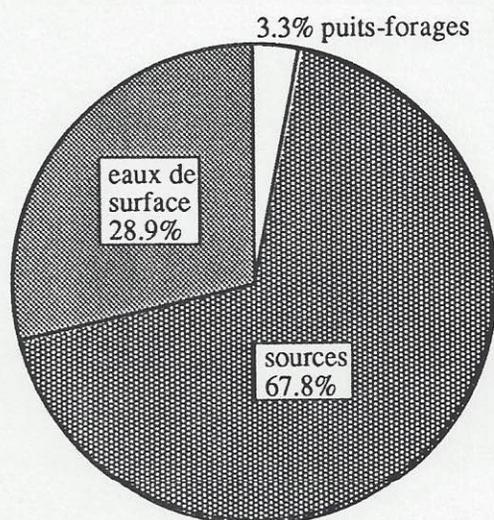
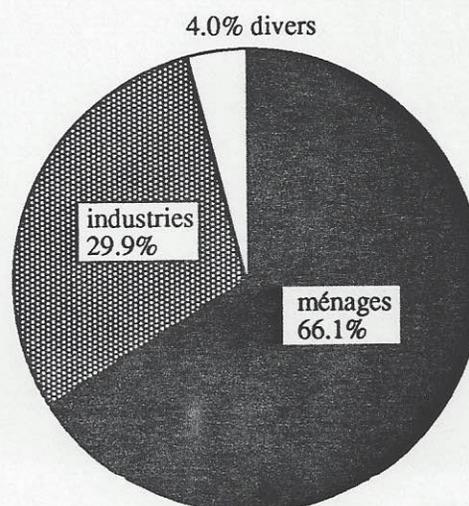


Fig. 328: Consommation par secteur d'activité de l'eau fournie par le réseau de distribution publique en 1988 (source: Annuaire statist. Luxemb., 1992).

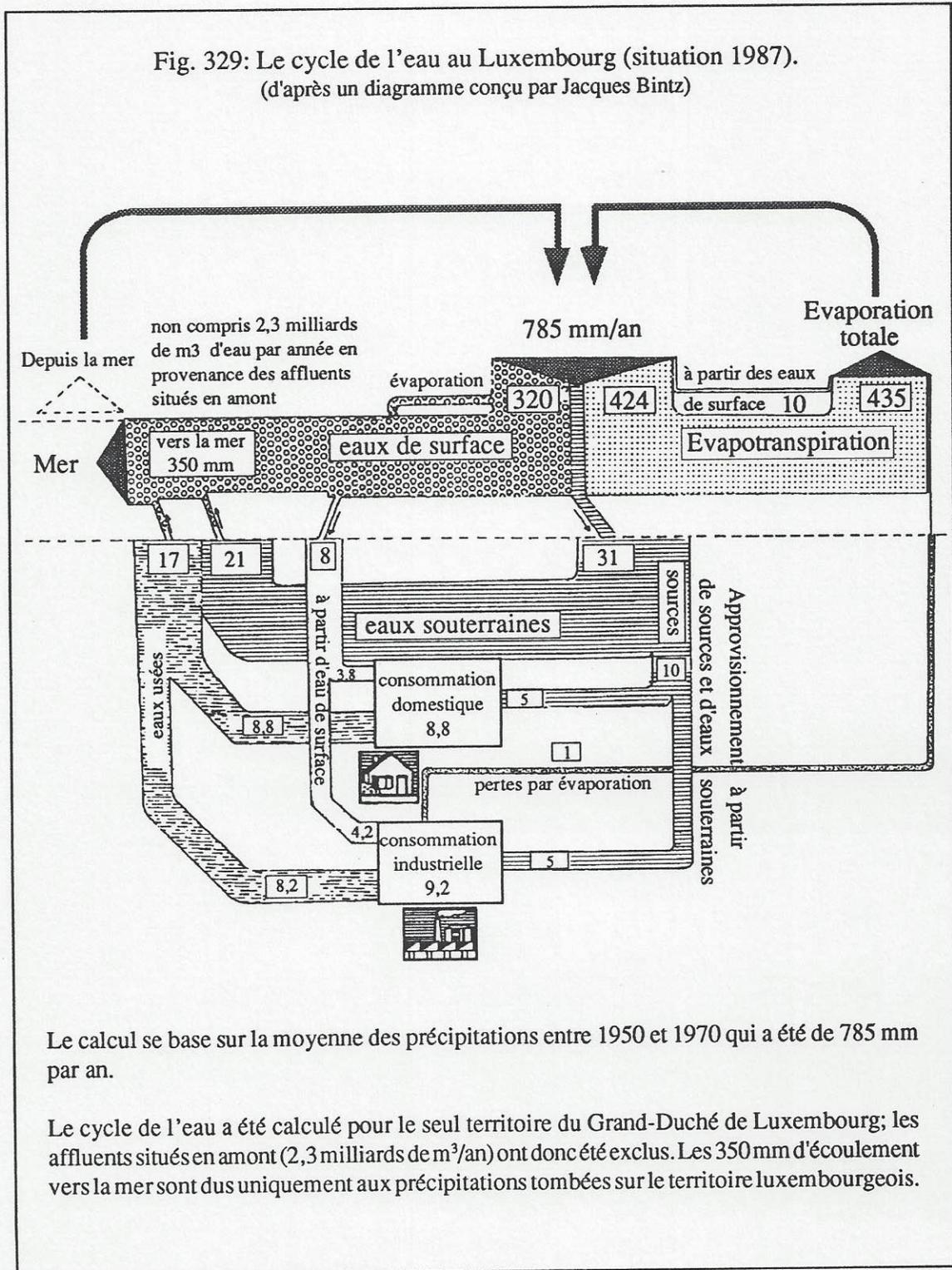


On estime que la consommation purement domestique est de l'ordre de 170 litres par jour et par habitant. Ce volume se répartit de la manière suivante:

- 1/3 pour le bain, la douche et les soins corporels;
- 1/3 pour le WC;
- 1/6 pour la lessive et la vaisselle;
- 1/6 pour le lavage de la voiture, l'arrosage du jardin, etc.

La part de l'alimentation humaine (boisson, confection des mets) revient à 2 litres d'eau seulement.

Fig. 329: Le cycle de l'eau au Luxembourg (situation 1987).  
(d'après un diagramme conçu par Jacques Bintz)



Le calcul se base sur la moyenne des précipitations entre 1950 et 1970 qui a été de 785 mm par an.

Le cycle de l'eau a été calculé pour le seul territoire du Grand-Duché de Luxembourg; les affluents situés en amont (2,3 milliards de m³/an) ont donc été exclus. Les 350 mm d'écoulement vers la mer sont dus uniquement aux précipitations tombées sur le territoire luxembourgeois.

## Document: Die Wasserversorgung der Stadt Luxemburg. Historisches

«Wasser, eine seit jeher lebenswichtige Flüssigkeit. Heute finden wir es normal den Wasserhahn aufzudrehen und soviel Wasser aus dem Netz zu entnehmen, wie wir brauchen. Doch dem war nicht immer so.

Die Stadtbevölkerung lebte früher von Zisternen, die mit Regenwasser gefüllt waren. Es gab Leute, die sich schon zu dieser Zeit einen Wasserträger leisten konnten, der das kostbare Naß vom «Téiwesbur» in die Stadt hinaufschleppte. Andere, und es waren die meisten, mußten sich selbst die Mühe geben ihre Wasservorräte aus dieser Zisterne bis in ihre Wohnungen zu schleppen.

Im Jahre 1740, unter Kaiserin Maria-Theresia, wurden dann in der Stadt 4 Brunnen gegraben, und zwar in der Großstraße, auf der «Place d'Armes», auf dem Heilig-Geist-Plateau» und in der «Porte Neuve».

1853 schlug die damalige Militärregierung vor, einen Tunnel unter der Stadt hindurch zu graben, der die Quellen der «Porte d'Eich» mit dem Brunnen in der «Porte Neuve» in Verbindung bringen sollte. Dies geschah auch, und so konnte am 21. Oktober 1866\* ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Wasserversorgung der Hauptstadt begonnen werden. Aus der «Porte Neuve» wurde das ankommende Wasser dann in alle anderen Stadtteile verteilt.

Dann erfolgte ein schwerer Rückschlag. Durch die schlechte Qualität des Wassers aus der Eicher Quelle traten Epidemien auf. So beschloß man, verstärkte Anstrengungen zu unternehmen, um neue, gesunde Quellen zu erschließen.

Im Juli 1903 wurden die Quellen in Kopstal erschlossen, Quellen, die übrigens bis zum heutigen Tag Bestand haben. Das Problem lag in der Koordinierung der verschiedenen Stadtbezirke, da die Vorstädte über eine gesonderte Wasserversorgung verfügten. Deshalb wurden um 1930 die Quellen auf den «Siewenbueren» erfaßt. Um einen konstanten Druck zu garantieren, wurde eine Pumpstation

nebst den nötigen Reparaturwerkstätten eingerichtet.

Eine weitere Verstärkung der Wasserversorgung bedeutete die Erfassung der Quelle auf Pulvermühl in den Jahren 1938-1939.

Im Grunde genommen bestanden nun keine größeren Probleme mehr. Quantität und Qualität waren ausreichend. Dies dauerte jedoch nur bis nach dem zweiten Weltkrieg. Die Ausdehnung der Stadt zwang die Verantwortlichen, neue Initiativen zu ergreifen, da der Wasserverbrauch steil nach oben ging. Es wurden neue, größere Leitungen verlegt, die Pumpstationen wurden verstärkt.

Die große Trockenheit im Jahre 1964 führte dazu, daß in den Merler Wiesen Bohrungen bis in eine Tiefe von 85 Metern vorgenommen werden mußten, um neue Wasserreservoirs zu erschließen.

1957-58 wurden verschiedene schädliche Bazillen in den Quellen Pulvermühl und «Septfontaines» festgestellt. Die schlechte Qualität des Wassers konnte auf Pulvermühl durch anschließende starke Regenfälle erheblich verbessert werden, wohingegen die Quelle «Septfontaines» keine positiven Resultate aufweisen konnte.

Die Qualität der Merler Quellen wurde durch den Bau einer speziellen Wasserbehandlungsstation verbessert. Leider wurde durch den Bau der Autobahn Luxemburg-Esch/Alzette der felsige Untergrund freigelegt, wodurch freie Bahn für die Infiltration schmutzigen Wassers in die Quelle gegeben wurde.

Im Jahre 1957 wurde der Staudammbau in Esch/Sauer begonnen. Nach [dessen] Fertigstellung war die Wasserversorgung in unserem Lande praktisch garantiert. Die SEBES, die heute noch die Wasserversorgung unseres Landes garantiert, erfüllt ihre Aufgabe perfekt. Unser Wasser ist hygienisch einwandfrei, Versorgungsschwierigkeiten gibt es nicht.»

R.F. (tageblatt, N° 171, 28.7.1983, p. 3)

\* selon le «Luxemburger Wort» de l'époque, c'était le 22 octobre 1866 (voir: Massard & Hansen, 1989: 13)

### Le problème des nitrates dans l'eau potable

Depuis le milieu des années 1970, nos eaux potables connaissent une augmentation inquiétante de la concentration en nitrates. La cause en est à rechercher dans l'agriculture intensive moderne qui utilise de plus en plus d'engrais d'azote et produit de plus en plus de purin et de lisier dont l'évacuation se fait par épandage sur les champs. Tous ces nitrates arrivant sur les champs ne peuvent être utilisés par les végétaux. L'excédent est, d'un côté, emporté par l'eau de ruissellement vers les ruisseaux et les rivières, de l'autre côté, il s'infiltre dans la nappe phréatique.

Au Luxembourg, l'utilisation d'engrais azotés est passée de 3.400 tonnes en 1950/51 à 17.662 tonnes en 1990/91, la consommation par hectare cultivé passant ainsi de 23,72

kg à 140,77 kg. L'épandage de purin et de lisier correspondait en 1950/51 à un apport azoté de quelque 60 kg par ha cultivé; en 1986/87 cela se chiffrait à environ 100 kg par hectare.

Les nitrates eux mêmes ne sont pas directement nuisibles à l'organisme humain. Mais, celui-ci peut les transformer en nitrites, qui agissent sur l'hémoglobine du sang (formation de méthémoglobine) et perturbent ainsi le transport de l'oxygène. Chez le nourrisson et l'adulte souffrant de troubles digestifs, il peut en résulter un déficit d'oxygène qui se traduit par une cyanose (*Blausucht*).

D'autre part, on soupçonne que les nitrates contribuent à la formation de nitrosamines, substances cancérogènes.

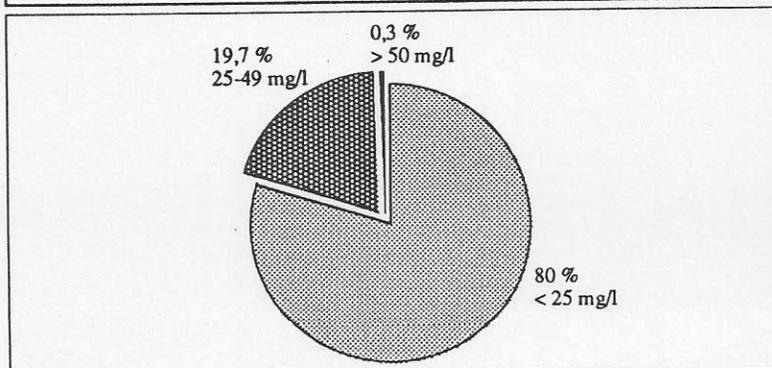
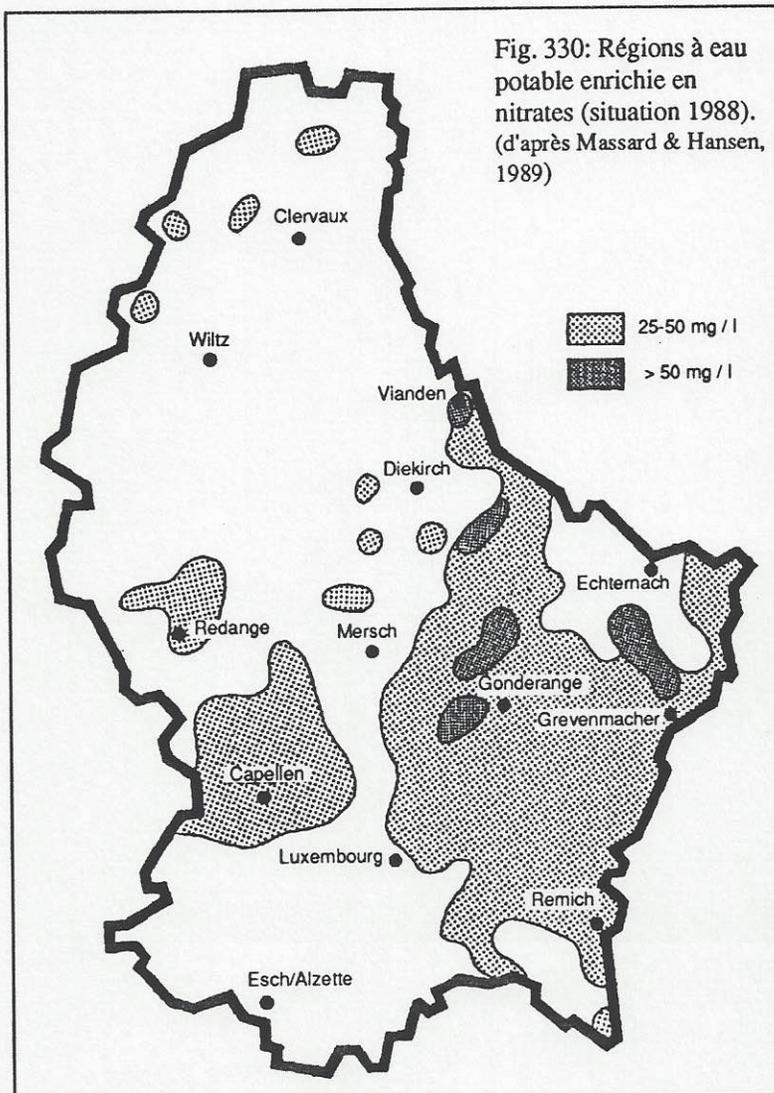


Fig. 331: Teneur en nitrates de l'eau potable distribuée par le réseau public du Grand-Duché (octobre 1990) (source: Rapport d'activité 1991. Minist. Environ. Luxemb.).





---

---

## 5.5. La radioactivité

---

---

### 5.5.1. La pollution radioactive

Des sources de *radioactivité naturelle* existent depuis toujours. L'Homme a réussi à créer en plus des sources de *radioactivité artificielle*: essais nucléaires, centrales nucléaires, utilisation médicale et technologique de substances radioactives. Un problème écologique majeur, sur lequel nous n'allons néanmoins pas insister dans les lignes qui suivent, est posé par les déchets nucléaires.

Des substances radioactives (*radionucléides*) peuvent se trouver dans l'air, dans l'eau ou le sol.

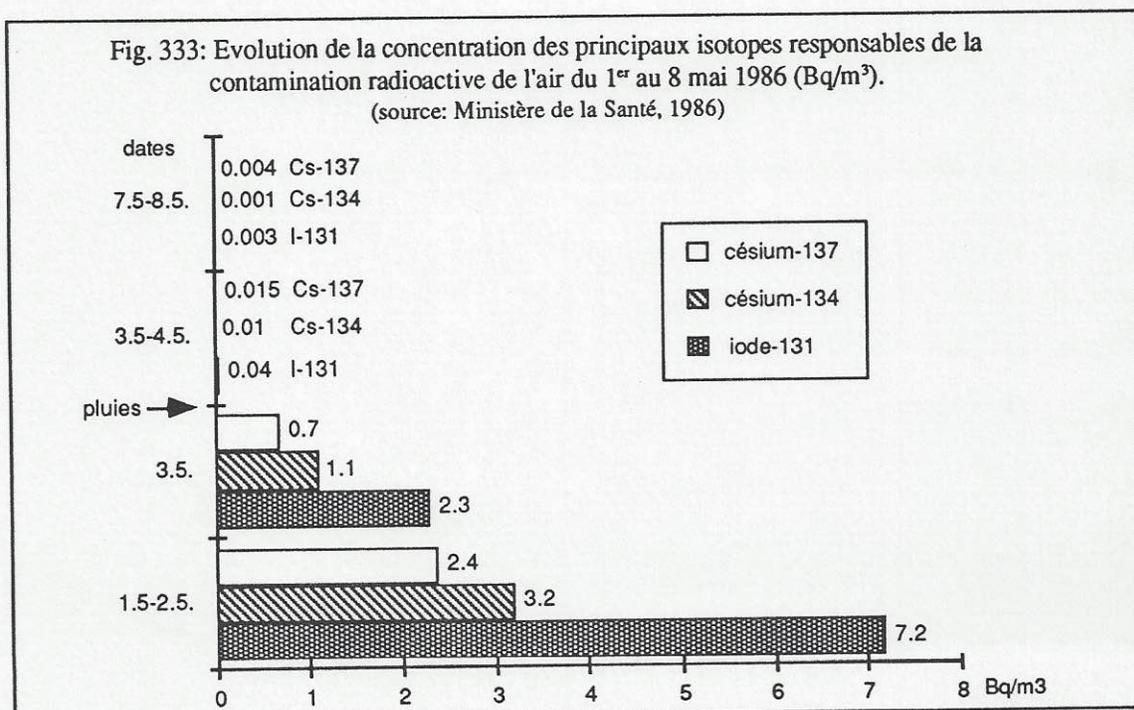
### 5.5.2. La catastrophe de Tchernobyl et ses effets au Luxembourg

Le 26 avril 1986, le réacteur 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl (près de Kiev en Ukraine) explosa, rejetant dans l'atmosphère d'importantes quantités de matières radioactives.

Le nuage radioactif qui en résulta atteignit le territoire luxembourgeois le 1<sup>er</sup> mai 1986. Le soir du 1<sup>er</sup> mai 1986, le taux de la radioactivité de l'air dépassait de 80 % le niveau naturel de la radioactivité: 18 à 21 microrem/heure au lieu de 10 à 14 microrem/heure.

L'air fut presque entièrement décontaminé par de fortes pluies orageuses qui eurent lieu le 3 mai. Les radionucléides de l'air furent massivement entraînés par les précipitations orageuses, et ils se déposèrent sur le sol, les végétaux et dans les eaux de surface, provoquant ainsi une contamination de la chaîne alimentaire (herbe, légumes, bétail, lait, gibier, poissons).

Les radionucléides détectés au Luxembourg correspondaient essentiellement à l'iode-131, au césium-134 et au césium-137, auxquels s'ajoutaient des isotopes radioactifs des éléments chimiques suivants: ruthénium, molybdène, technétium, strontium, argent, baryum, lanthane, tellure.



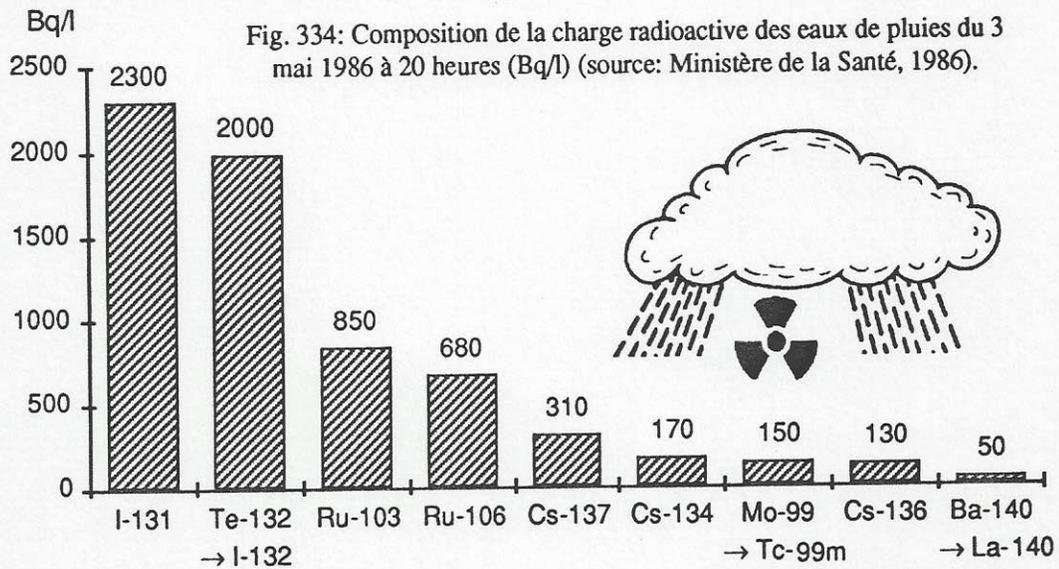


Fig. 335: Evolution de la teneur en césium-134 et césium-137 des boues d'épuration de la station d'épuration de Beggen du 21 mai au 6 octobre 1986 (Bq/kg). La limite de tolérance pour l'utilisation agricole des boues d'épuration est de 500 Bq/kg (source: Ministère de la Santé, 1986).

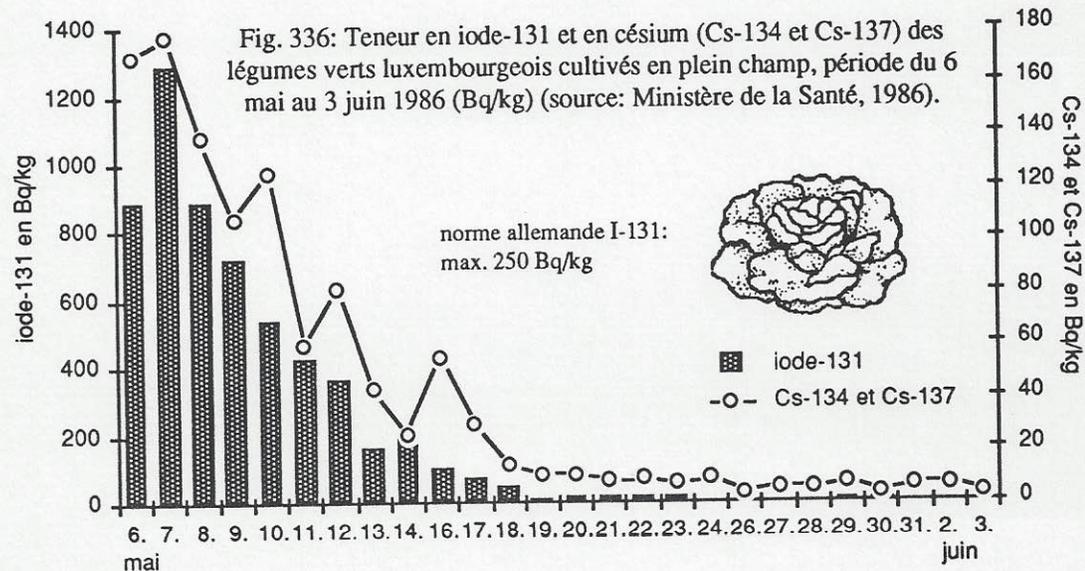
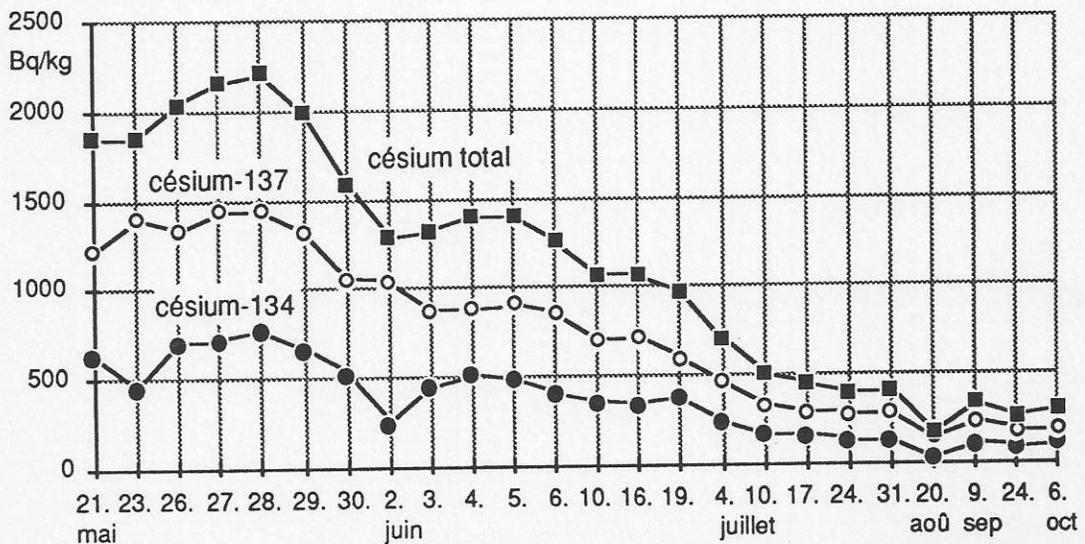


Fig. 337: Evolution de la teneur en iode-131 et en césium (Cs-134 et Cs-137) du lait luxembourgeois du 3 au 31 mai 1986 (Bq/l) (source: Ministère de la Santé, 1986).

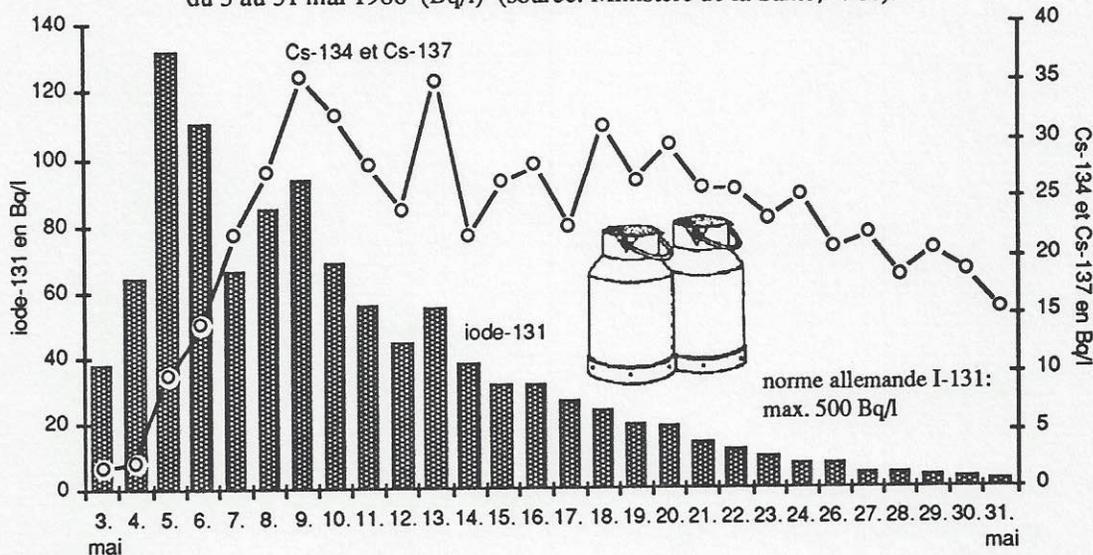


Fig. 338: Teneur en césium-134 et césium-137 de la viande du chevreuil luxembourgeois au cours de la période de chasse du 1<sup>er</sup> juin au 15 juillet 1986 (Bq/kg) (source: Ministère de la Santé, 1986).

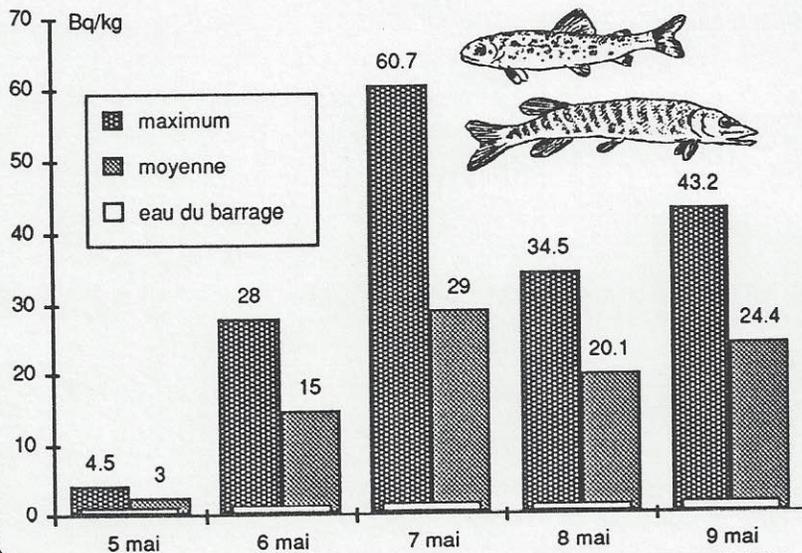
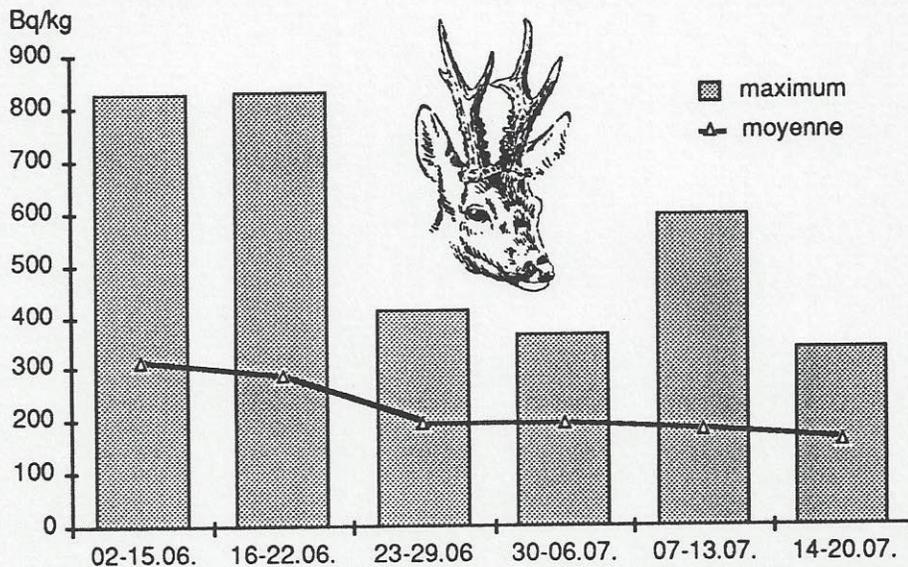
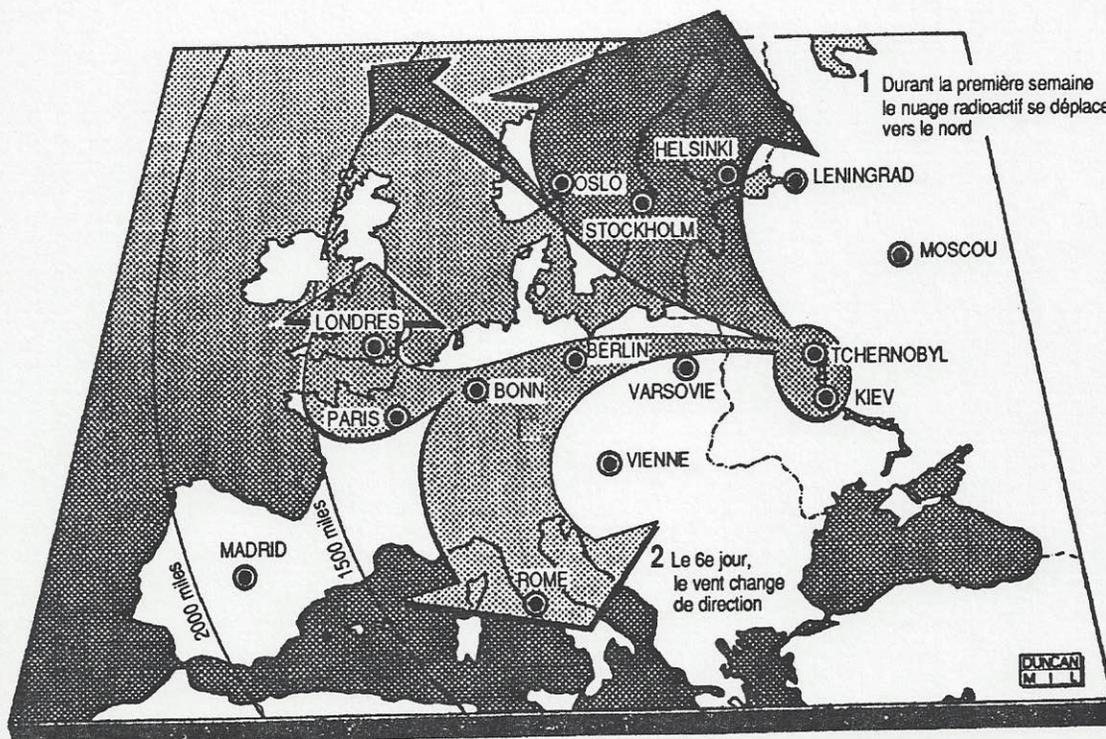


Fig. 339: Evolution de la teneur en césium-134 et en césium-137 des poissons luxembourgeois de mai à septembre 1986 (exprimée en Bq/kg).

Les poissons provenaient notamment de la Sûre et de la Moselle. La comparaison avec la concentration des radionucléides dans l'eau de surface du barrage d'Esch-sur-Sûre (0,8-1,8 Bq/l) montre une forte bioaccumulation du césium chez les poissons (source: Ministère de la Santé, 1986).

Fig. 340: La progression du nuage radioactif de Tchernobyl à travers l'Europe  
(d'après: N. Hawkes et al.:  
*The Worst Accident in the World*. Pan Books, 1986).



«Der GAU von Tschernobyl war das Ereignis des Jahres 1986!

Warum? Gab es nicht andere Katastrophen, die mehr Tote und Verletzte forderten? Gab es nicht allein auf den Straßen ein Mehrfaches an Opfern? Und bleiben infolge von Verkehrsunfällen, von Naturkatastrophen, von Kriegs- und Terrorhandlungen nachweislich nicht mehr Kranke, Behinderte und Siechende lebenslang zu beklagen als durch die Strahleneinwirkung auf die Menschen in der Umgebung des Unglücksreaktors in der Ukraine (UdSSR)? In Tschernobyl muß noch etwas anderes passiert sein, damit die Katastrophe zum Ereignis des Jahres wurde. Es gab nicht nur Tote, Verletzte, lebenslang und vielleicht über Generationen hinaus Strahlenbelastete, sondern es wurde vor allem das stolze Selbstbewußtsein des Atomzeitalters erschüttert. Zwar brachte der GAU von Tschernobyl keine wesentlich neuen atomwissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse; die Folgen des fatalen Zusammenwirkens mangelhafter Sicherheitsvoraussetzungen und menschlicher Fehlentscheidungen waren vorausrechenbar. Vielmehr setzte der sowjetische GAU die theoretischen Kenntnisse über die möglichen Auswirkungen eines falsch gehandhabten Kernspaltungsprozesses in praktische Erfahrung um. In bitterer Erfahrung! Und wovor bis dahin nur Grüne und Katastrophenfuturologen gewarnt hatten, ging wie nach einem aufschreckenden Paukenschlag nun plötzlich allen Menschen auf: Die Atomspaltung, auch für friedliche Zwecke, ist doch nicht so harmlos!»

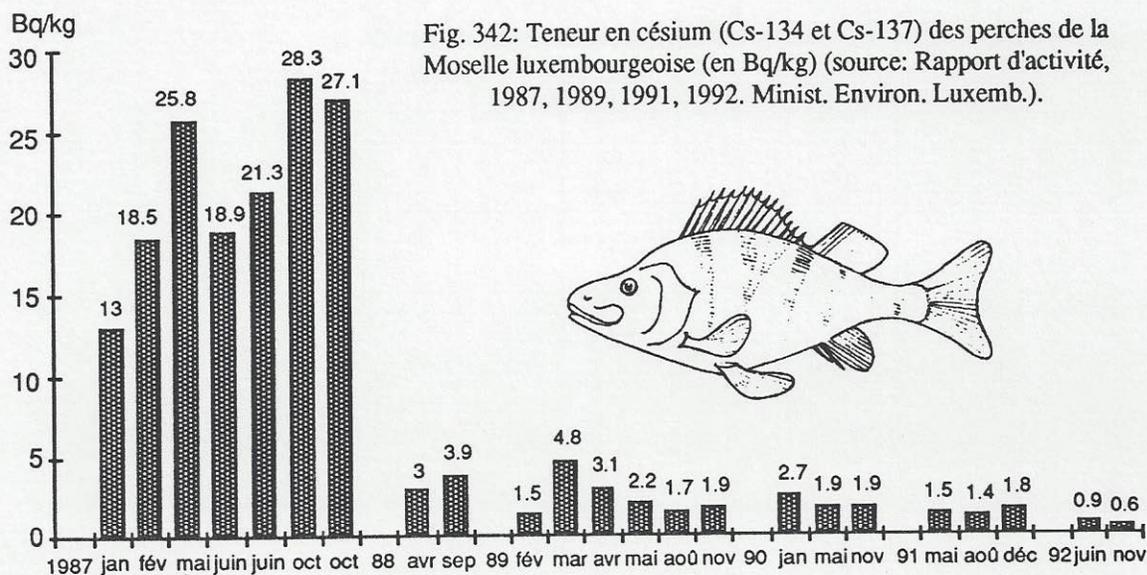
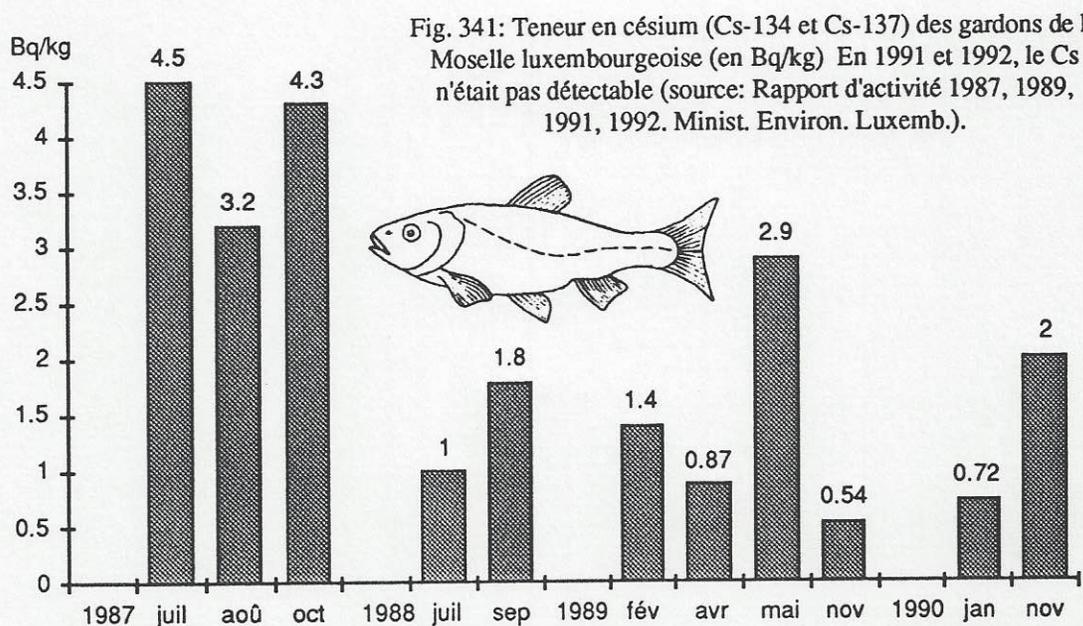
(Extrait de: Léon Zeches: *Selbstbewußtsein des Atomzeitalters erschüttert*. Luxemburger Marienkalender 1987: 116-126).

### 5.5.3. Contrôle de la radioactivité de la Moselle

Afin de suivre l'évolution de la contamination radiologique due à Tchernobyl et de contrôler l'éventuelle incidence de la centrale nucléaire de Cattenom, l'Administration des Eaux et Forêts fait faire, depuis 1987, des analyses radiologiques des poissons de la Moselle. Ceux-ci sont pêchés électriquement près de Schengen. Les analyses portent sur le césium. En 1987, on a également recherché le cobalt-58, mais il n'a pas été présent en quantité détectable.

L'interprétation des résultats obtenus depuis 1987 montre qu'après Tchernobyl la concentration en radionucléides a été assez forte chez des prédateurs comme la Perche, résultat d'une bioaccumulation à l'intérieur de la chaîne alimentaire. Chez le Gardon, omnivore dans son jeune âge et à tendance herbivore à l'âge adulte, ces concentrations ont été plus faibles. Toutes les valeurs mesurées en 1991 et 1992 ont été pratiquement négligeables du point de vue de la protection sanitaire des consommateurs.

Du côté luxembourgeois, des mesures de la radioactivité de l'eau de la Moselle sont effectuées près de Schengen. Entre 1984 et 1989, l'activité  $\alpha$  a été toujours inférieure à 0,03 Bq/l; l'activité  $\beta$  totale se situait entre 0,24 et 0,35 Bq/l et celle du kalium-40 entre 0,18 et 0,25 Bq/l; l'activité du tritium  $\gamma$  a été de 8,8 à 14 Bq/l.





---

---

## **5.6. Protection de l'environnement et protection des espèces**

---

---

### 5.6.1. La protection de l'environnement naturel au Luxembourg

Au Luxembourg, il a fallu patienter jusqu'en l'an 1965 pour voir enfin la promulgation de la première loi générale visant la protection de la nature et de l'environnement. Elle a été modifiée en 1978 et 1982. Dans sa teneur actuelle, elle règle les modalités de l'érection de constructions dans la nature, du déboisement et du reboisement, de la protection de la faune et de la flore et enfin de la création de zones protégées (loi du 11 août 1982 concernant la protection de la nature et des ressources naturelles).

Le 24 avril 1981 le gouvernement luxembourgeois a adopté la première partie d'un plan d'aménagement partiel concernant l'environnement naturel («déclaration d'intention générale»). Les milieux naturels à protéger y sont classés en plusieurs catégories selon leur étendue, les objectifs poursuivis et les contraintes à appliquer:

- parcs naturels, zones de protection à vocation récréative, zones vertes interurbaines,
- paysages protégés,
- surfaces forestières d'un intérêt particulier et massifs forestiers,
- réserves naturelles (zones protégées s. str.),
- sites et monuments naturels.

#### Les parcs naturels

Un parc naturel est une région ou une partie de région soumise à des prescriptions ayant pour but de sauvegarder le caractère, la beauté et la diversité du paysage, les valeurs culturelles et scientifiques, la flore et la faune, la pureté de l'air et des eaux et d'y favoriser le recueillement et le tourisme.

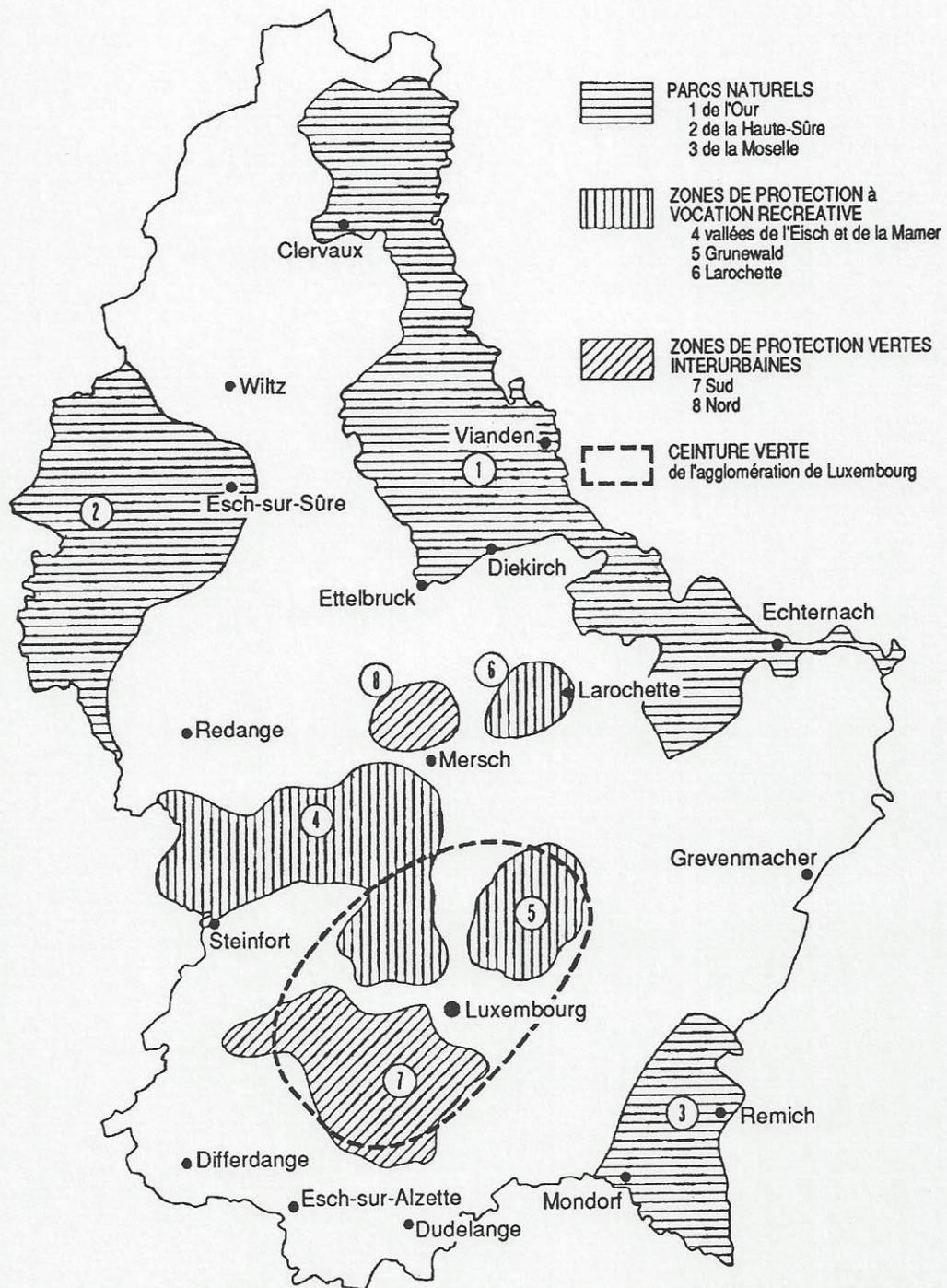
Les objectifs poursuivis par un parc naturel sont les suivants:

- protection de la qualité exceptionnelle du milieu naturel et du patrimoine architectural;
- développement de l'activité économique (notamment agriculture, sylviculture et artisanat) et participation à la revitalisation spéciale du territoire (maintien des services, création d'emplois, animation locale);
- éducation de l'homme moderne à la compréhension des équilibres naturels;
- accueil des touristes luxembourgeois et étrangers.

Les parcs naturels prévus ont été:

- *le parc naturel de l'Our* (358 km<sup>2</sup>) faisant partie du parc germano-luxembourgeois de l'Eifel;
- *le parc naturel de la Haute-Sûre* (199 km<sup>2</sup>), le futur parc belgo-luxembourgeois;
- *le parc naturel de la Moselle* (92 km<sup>2</sup>).

Fig. 343: Parcs naturels et zones de protection prévus par la déclaration d'intention générale du Gouvernement du 24 avril 1981.



Les parcs naturels seront complétés par:

- *les zones de protection à vocation récréative*, qui correspondent à des paysages présentant un intérêt particulier en raison de la qualité de leur patrimoine naturel et, éventuellement, culturel.

Sont considérées comme zones de protection à vocation récréative: les vallées de l'Eisch et de la Mamer, le Grunewald, la région autour de Larochette.

- *les zones vertes interurbaines protégées*, qui sont constituées par les parties rurales à proximité immédiate des aires urbaines Sud (bassin sidérurgique) et Centre (agglomération élargie de la ville de Luxembourg) ainsi que de la zone urbaine Nord (entre Colmar-Berg et Diekirch). Ce sont des espaces de régénération et de détente pour l'Homme. Leur caractère rural doit être conservé ou même être amélioré, notamment en ce qui concerne les forêts.
- *la ceinture verte de la ville de Luxembourg*, qui n'est pas un espace de protection particulier, mais l'ensemble constitué par les espaces ruraux, notamment les forêts, entourant l'agglomération de Luxembourg et l'aire urbaine Centre. Elle comprend le Grunewald, les pentes boisées de la vallée de l'Alzette, le Baumbusch et une large partie de la zone verte interurbaine protégée Sud.

### Les paysages protégés

Un paysage protégé est un milieu naturel comprenant l'ensemble du milieu physique (climat, sol, eau), les biocénoses (végétation, faune), le tout plus ou moins modelé par l'Homme et les facteurs socio-économiques du présent et du passé. Le paysage protégé est d'étendue plus restreinte que celle d'un parc naturel. Des mesures d'entretien peuvent être nécessaires pour assurer le maintien de son aspect caractéristique. Son statut prévoit surtout l'interdiction de toutes constructions, sauf celles nécessaires à l'exploitation agricole ou forestière.

La plupart des paysages à protéger se trouvent le long des cours d'eau: Clerve, Wiltz, Haute-Sûre, Bles, Our, Wark, Attert, Ernztal, Eisch, Syre, Mamer, Mess, Sûre, Moselle.

### Les surfaces forestières d'un intérêt particulier et les massifs forestiers

La protection de la forêt est assurée en principe par l'application de la législation forestière. Néanmoins quelques massifs forestiers particulièrement importants ont été relevés en raison de leur étendue respectivement leur richesse, ou leur importance écologique, dans des régions très peuplées et fortement industrialisées.

On peut citer comme exemples le massif forestier du Grunewald, les bois et forêts du Bassin minier, etc. Treize zones de ce genre ont été retenues par le plan d'aménagement partiel de 1981.

### Les réserves naturelles (zones protégées s.str.)

Une réserve naturelle est une aire de terrain protégée dans le but d'y conserver les richesses de la flore et de la faune ainsi que le caractère du sol et de la végétation.

C'est une partie du territoire soustraite à la libre intervention de l'Homme. Elle est placée sous un contrôle particulier des pouvoirs publics en vue de sa conservation et de sa protection.

Selon la nature des réserves naturelles, on distingue:

- les réserves forestières;
- les zones humides;
- les pelouses sèches;
- les réserves diverses.

Selon le type de gestion, on distingue:

- *la réserve naturelle intégrale*: aire protégée où l'on laisse les phénomènes naturels se dérouler sans intervention humaine hormis celle des agents scientifiques;
- *la réserve naturelle dirigée*: aire protégée maintenue dans son état pri-mitif par une gestion appropriée.

La *réserve proprement dite* est généralement entourée d'une *zone tampon* où les restrictions sont moins strictes; l'ensemble forme une *zone protégée*.

La loi du 11 août 1982 a été le premier instrument juridique permettant de désigner des zones protégées. Au début de l'année 1993 le bilan des zones protégées par règlement grand-ducal s'est élevé à 13 zones correspondant à une surface totale de 425 ha, à peine 7,4 % de la surface des sites figurant sur l'inventaire de 1990, qui a désigné 133 sites naturels de valeur nationale à protéger. Par décision du Gouvernement en Conseil du 12 mars 1993, il a été décidé de faire élaborer un plan d'aménagement partiel concernant 23 zones, appelées «réserves naturelles à protéger prioritairement» et représentant 0,95 % du territoire national.

Tab. 26: Liste des zones protégées (situation début 1993).

zone protégée	type	surface*)	date du règl. g.-d.
Fensterdall (Boevange/Attert)	ZH	2 ha	18.02.1987
Telpeschholz (Dondelange), lande	RD	6 ha	18.02.1987
Aarnescht (Oberanven)	PS	48 ha	1.02.1988
Boufferdanger Muer (Hautcharage)	ZH	1 ha	19.03.1988
Ellergronn (Esch-sur-Alzette)	ZH	110 ha	19.03.1988
Léi (Bertrange)	ZH	2 ha	19.03.1988
am Brill (Schifflange)	ZH	13 ha	20.12.1988
Amberknepchen (Junglinster)	RD	22 ha	25.05.1989
Sonnebiert (Walferdange)	PS	15 ha	31.07.1989
Leibiert (Reichlange)	RD	7 ha	10.08.1991
Kuebendellchen (Wellenstein)	PS	23 ha	25.10.1991
Pränzebiert (Pétange)	RD	165 ha	20.11.1991
Ramescher (Wintrange)	ZH	11 ha	11.02.1993

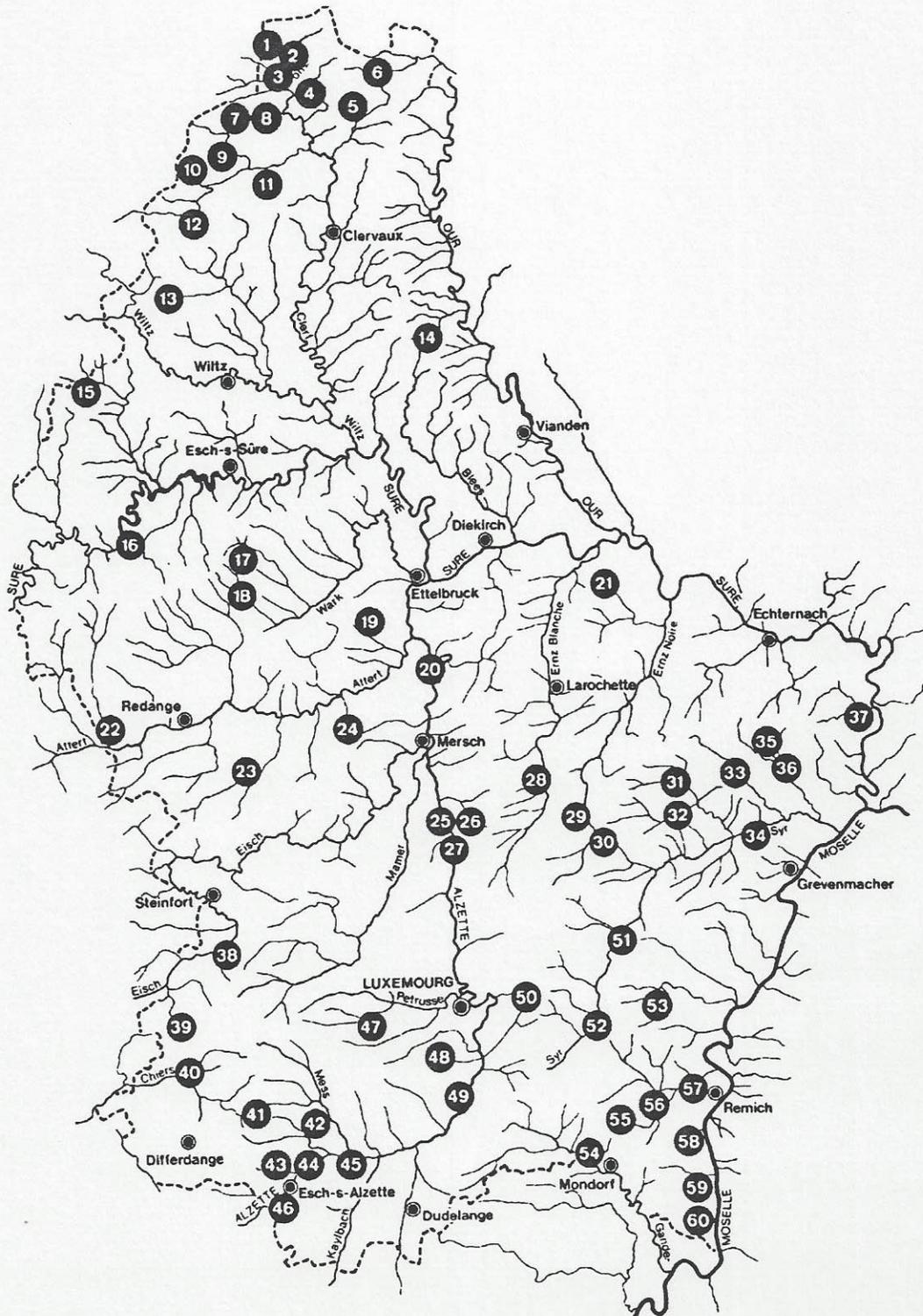
\*) = réserve proprement dite; PS = pelouse sèche; RD = réserves diverses; ZH = zone humide.

### Les sites et monuments naturels

Un *site naturel* est une partie pittoresque du paysage qui a été classée en application de la loi concernant la conservation et la protection des sites et monuments nationaux du 18 juillet 1983 ou ayant un caractère analogue.

Un *monument naturel* est un élément isolé du milieu naturel ou du paysage qui doit être conservé en raison de sa rareté, de sa beauté ou de sa valeur scientifique. Il peut s'agir de particularités géologiques et d'éléments exceptionnels du paysage.

Fig. 344: Zones humides: carte des réserves naturelles prévues par la déclaration d'intention générale du Gouvernement du 24 avril 1981.



Zones humides: liste des réserves naturelles prévues par la déclaration d'intention générale du Gouvernement du 24 avril 1981 (N°1-N°60) telle qu'elle a été complétée par la suite (N°61-N°89, non représentés sur la fig. 344).

Situation en mars 1993

84 81 sites

- |  |   |
|--|---|
| 1. Hautbellain - Foschtbaach                                       | 45. Schifflange - Dumontshaff                   |
| 2. Hautbellain - Rittefenn   | 46. Esch-sur-Alzette - Ellergonn *)             |
| 3. Hautbellain - Brill (supprimée)                                 | 47. Bertrange - Léi *)                          |
| 4. Troisvierges - Cornelysmillen °)                                | 48. Kockelscheuer - étang                       |
| 5. Binsfeld - Lukeschbaach   | 49. Røser - Røserbann                           |
| 6. Wilwerdange - Conzefenn   | 50. Sandweiler - Birelergrond                   |
| 7. Hachiville - am Dall  | 51. Uebersyren - Schlammwis °)                  |
| 8. Hachiville - Kouprich   | 52. Pleitrang - étang                           |
| 9. Hoffelt - Kaleburn  | 53. Canach - Schlond                            |
| 10. Entre Troine et Hoffelt - Sporbaach                            | 54. Aspelt - Lannebuer                          |
| 11. Rumlange - Topertslach   | 55. Reckingerhaff - Hesslengerbaach °)          |
| 12. Wincrange - Ramescher *)                                       | 56. Reckingerhaff - Weiergewan                  |
| 13. Derenbach (au sud de) - Weischent °)                           | 57. Stadtbredimus - Saiert                      |
| 14. Wahlhausenerdickt - Sauerwis °)                                | 58. Wellenstein - Taupeschwues                  |
| 15. Sonlez - Pamer °)  | 59. Remerschen-Winrange - Haff Réimech          |
| 16. Pont Misère - barrage de retenue                               | 60. Schengen - Grouf                            |
| 17. Dellen - Fussdelt  | 61. Røser/Leudelange - Kueleschweier            |
| 18. Grosbous - Neibruch  | 62. -   |
| 19. Michelbuch - Biischtert  | 63. Bettembourg - um Streissel °)               |
| 20. Cruchten - bras mort de l'Alzette                              | 64. Reckange-sur-Mess - Goelle Weier            |
| 21. Eppeldorf - Elteschmuer  | 65. Dahlem - Asselborner Muer °)                |
| 22. Colpach-Bas - Wisich   | 66. Linger - vallée de la Chiers (Lénger Wisen) |
| 23. Calmus - Hassel  | 67. Beckerich - im Melleschbour                 |
| 24. Fensterdall - Fensterdall *)                                   | 68. Pettange - aal Mudder                       |
| 25. Lintgen - an de Gruevenënner                                   | 69. Ell - Grousswis                             |
| 26. Hunsdorf - Atzing  | 70. -   |
| 27. Helmdange - Alsbich °)   | 71. Bissen - étangs de Bissen                   |
| (bras mort de l'Alzette)   | 72. Consdorf/Marscherwald - Tripsmuer           |
| 28. Kœdange - bei der Schmelz (supprimée)                          | 73. -   |
| 29. Gonderange - Bachwis (supprimée)                               | 74. Schaedhaff/Sandweiler - Stekentermuer       |
| 30. Entre Gonderange et Rodenbourg - Faascht (plusieurs mardelles) | 75. Boulaide - Paaffels                         |
| 31. Brouch - Beidweilerbaach °)                                    | 76. Hemstal/Bech - Laangbaach                   |
| 32. Weydig - auf der Laedenbach                                    | 77. Bridel - Bridelerweieren                    |
| 33. Entre Bech et Berbourg - Sauerbaach                            | 78. -   |
| 34. Entre Wecker et Manternach - Faulbich                          | 79. Lullange - Millewé                          |
| 35. Herborn - Bois de Herborn (plusieurs mardelles)                | 80. -   |
| 36. Entre Mompach et Herborn - Reier °)                            | 81. Reuler/Clervaux - Irbech                    |
| 37. Born - Wiertgen  | 82. Bissen-Forges - Laach °)                    |
| 38. Hagen - Dreibrecken °)   | 83. Weicherdange - Breichen °)                  |
| 39. Hautcharage - Boufferdanger Muer *)                            | 84. Martelange - Bruch                          |
| 40. Rodange - à la Haute-Saule                                     | 85. Differdange - Dreckswis                     |
| 41. Mondercange - Kazebaach  | 86. Troine - Hannerhaassel                      |
| 42. Fœtz - am Bauch  | 87. Beiler/Kaesfurt - Biedem                    |
| 43. Lallange - am Pudel  | 88. Troine - vallée de la Troine                |
| 44. Schifflange - am Brill *)                                      | 89. Breidfeld - Hollermillen                    |

\*) zone classée

°) réserve naturelle à protéger prioritairement

Fig. 345: Pelouses sèches: liste des réserves naturelles prévues par la déclaration d'intention générale du Gouvernement du 24 avril 1981 (N°1-N°11) telle qu'elle a été complétée par la suite (N°12-N°13).

Situation en mars 1993  
13 sites

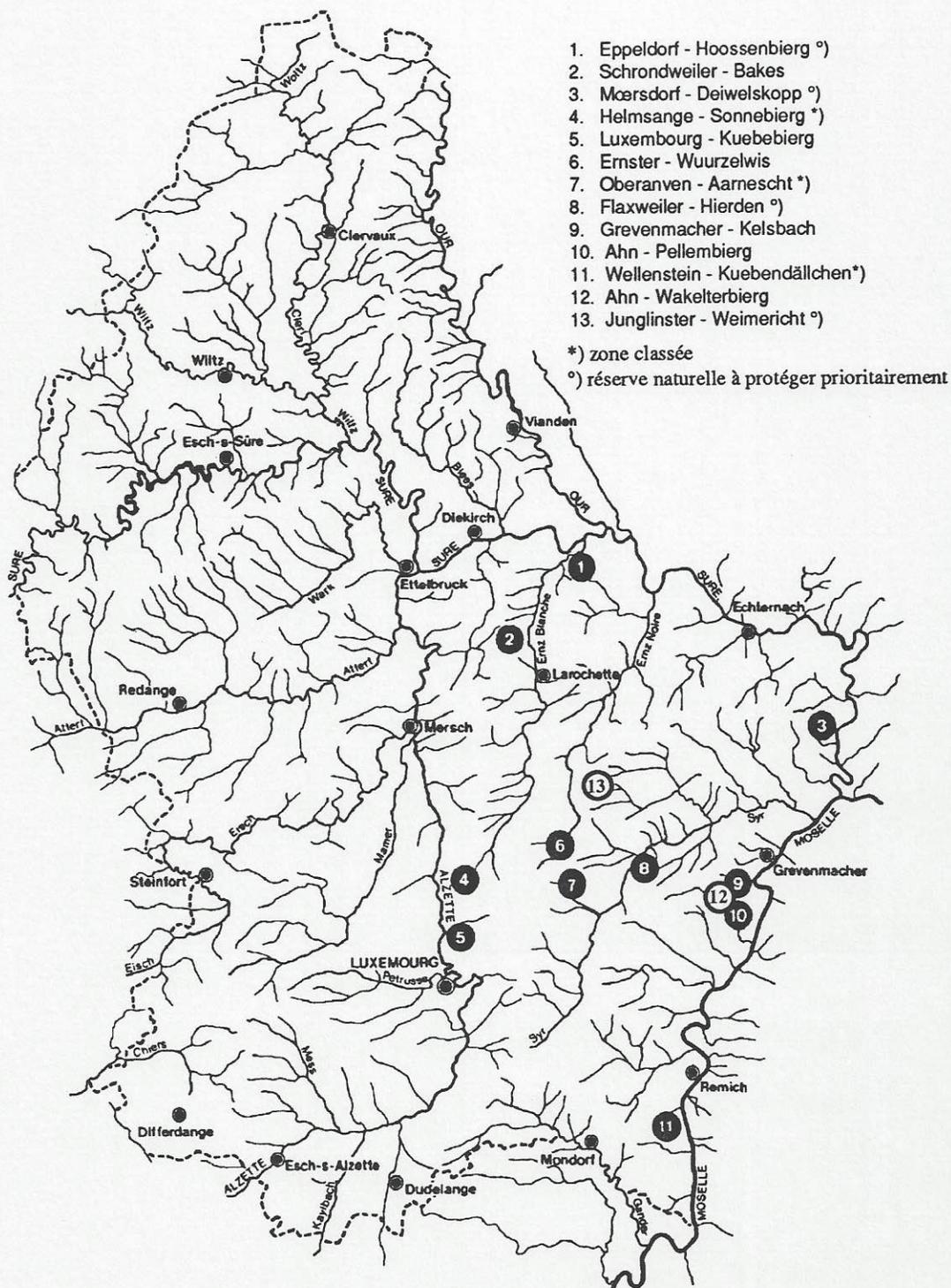
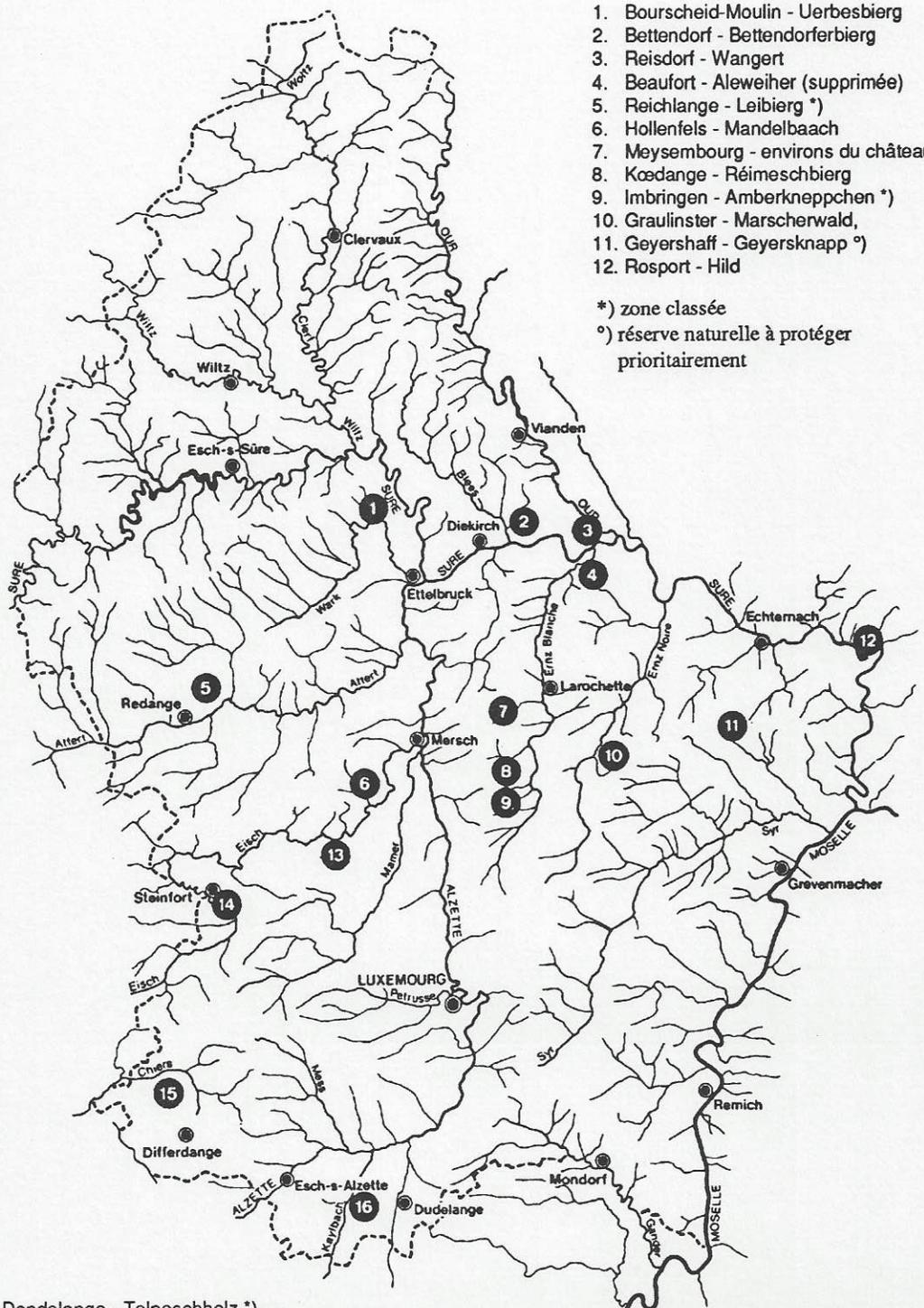


Fig. 346: Réserves diverses: liste des réserves naturelles prévues par la déclaration d'intention générale du Gouvernement du 24 avril 1981 (N°1-N°15) telle qu'elle a été complétée par la suite (N°16-N°27, non représentés sur la carte).

Situation en mars 1993

23 24 sites



1. Bourscheid-Moulin - Uerbesbiërg
2. Bettendorf - Bettendorferbiërg
3. Reisdorf - Wangert
4. Beaufort - Aleweiher (supprimée)
5. Reichlange - Leibiërg \*)
6. Hollenfels - Mandelbaach
7. Meysembourg - environs du château
8. Kœdange - Réimeschbiërg
9. Imbringen - Amberknëppchen \*)
10. Graulinster - Marscherwald,
11. Geyershaff - Geyersknapp °)
12. Rosport - Hild

\*) zone classée

°) réserve naturelle à protéger prioritairement

13. Dondelange - Telpeschholz \*)
14. Steinfort - Schwaarzenhaff °)
15. Pétange - Prënzebiërg \*)
16. Dudelange - Haardt
17. Gilsdorf - carrières de Gilsdorf °)
18. -
19. Ettelbruck - Ditesbaach
20. Bissen - Laaschtert °)
21. -

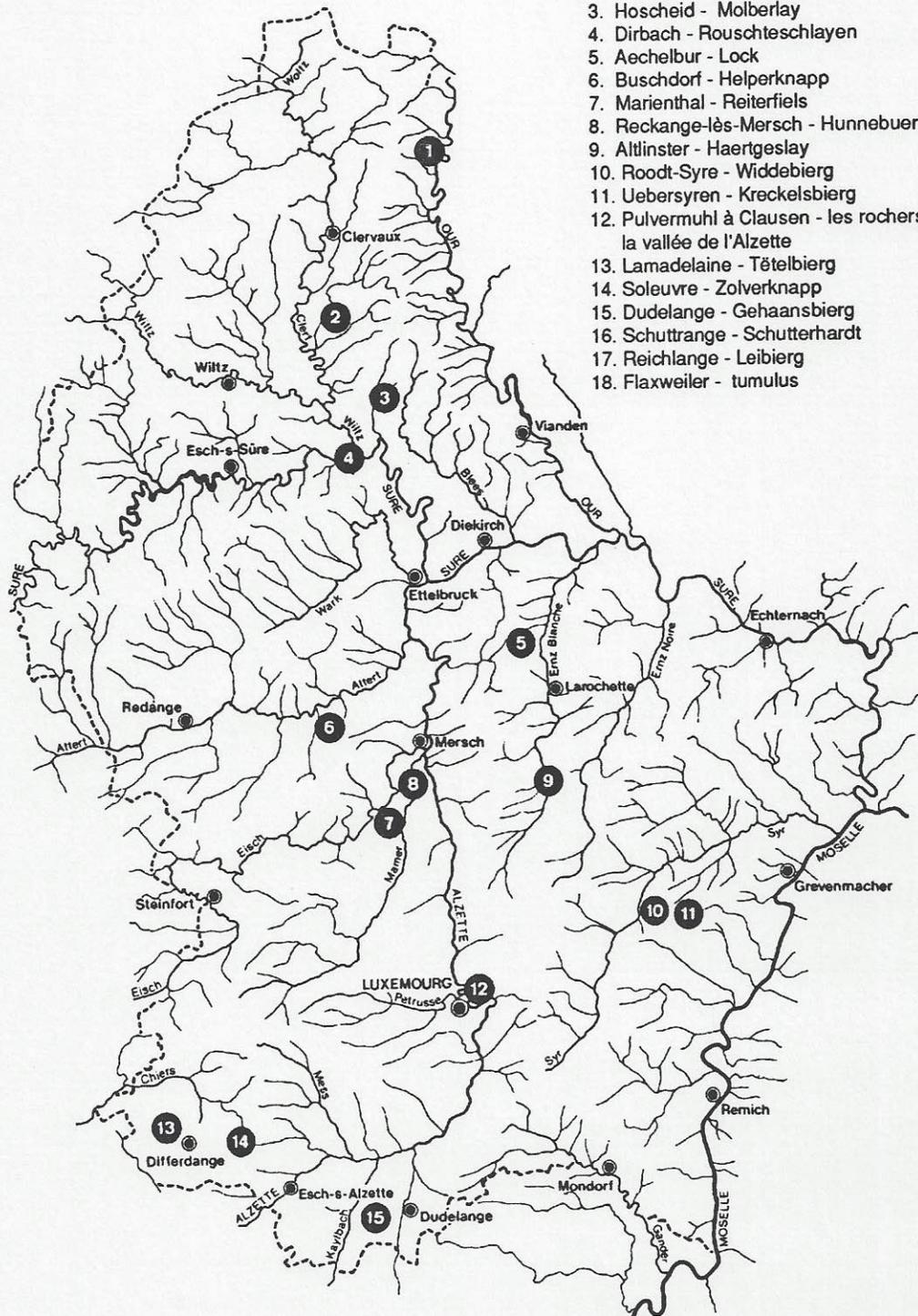
22. -
23. Koërich - Mullenberg (carrère)
24. Helmsange - Haedchen
25. -
26. Bas-Bellain - Schucklai
27. Junglinster - Ronneck
28. Uebersyren - Krekelsbiërg
29. Bettembourg - um Biërg

Fig. 347: Sites et monuments naturels: liste des sites et monuments naturels prévues par la déclaration d'intention générale du Gouvernement du 24 avril 1981 (N°1-N°15) telle qu'elle a été complétée par la suite (N°16-N°18, non représentés sur la carte).

Situation en mars 1993

18 sites

1. Heinerscheid - Kasselslay
2. Lellingen - Lellgerbaach
3. Hoscheid - Molberlay
4. Dirbach - Rouschteschlayen
5. Aechelbur - Lock
6. Buschdorf - Helperknapp
7. Marienthal - Reiterfiels
8. Reckange-lès-Mersch - Hunnebuer
9. Altlinster - Haertgeslay
10. Roodt-Syre - Widdebiert
11. Uebersyren - Kreckelsbiert
12. Pulvermuhl à Clausen - les rochers de la vallée de l'Alzette
13. Lamadelaine - Tételbiert
14. Soleuvre - Zolverknapp
15. Dudelange - Gehaansbiert
16. Schuttrange - Schutterhardt
17. Reichlange - Leibiert
18. Flaxweiler - tumulus



**Liste des réserves forestières  
retenues par la déclaration d'intention générale du Gouvernement  
du 24 avril 1981 telle qu'elle a été complétée par la suite.**

(situation en mars 1993)

20 sites

• Wahlhausen-Akeschterbaach °)	593,9 ha
• Lac de la Haute-Sûre / Kaundorf - Hocksschled	447,1 ha
• Lac de la Haute-Sûre / Neunhausen - Ningserboesch	900,5 ha
• Lac de la Haute-Sûre / Insenborn - Buurgknapp	111,1 ha
• Lac de la Haute-Sûre / Mecher - Schlaedchen	159,7 ha
• Lac de la Haute-Sûre / Bavigne - Kirchberg	12,7 ha
• Burden - Scharflay	135,8 ha
• Beaufort - Saueruecht, Birkbaach	1.095,5 ha
• communes de Berdorf, Consdorf et Echternach (forêts de ravin)	1.305,2 ha
• entre Echternach et Girst (in Wann, Beerwenkel, Howelekslach, Girsterboesch)	761,5 ha
• Nommern - Nommerlayen	179,0 ha
• entre Mertert et Manternach (Manternacher Fiels, Michelslay, Schlammbaach)	709,1 ha
• Mamer - Kielbaach	55,0 ha
• Schengen - Strombiërg *	29,2 ha
• Heinerscheid - Zogel/Kasselslay	77,3 ha
• Lellingen - Freng/Baerel	363,9 ha
• Hoscheid - Molberlay	162,2 ha
• Flaxweiler - Widdebiërg	582,3 ha
• Hautcharage - Griechten	251,3 ha
• Lintgen - Laaschenterboesch	171,5 ha
• Surface totale:	8.103,8 ha

\* *rohe Lëmie*

°) réserve naturelle à protéger prioritairement

## 5.6.2. Protection des espèces animales

### Règlement grand-ducal du 8 avril 1986 concernant la protection intégrale et partielle de certaines espèces animales de la faune sauvage (Mém. A, N° 31 du 23 avril 1986, p. 1175)

Ce règlement distingue entre espèces intégralement protégées et espèces partiellement protégées.

#### 1. Animaux intégralement protégés (article 1<sup>er</sup>)

##### • Mammifères

- Chiroptera spp., Chauves-souris, Fledermäuse;
- Soricidae spp., Musaraignes, Spitzmäuse;
- *Erinaceus europaeus*, Hérisson, Igel;
- *Talpa europaea*, Taupe, Maulwurf;
- *Apodemus flavicollis*, Mulot à collier fauve, Gelbhalsmaus;
- *Cricetus cricetus*, Hamster, Hamster;
- *Muscardinus avellanarius*, Muscardin, Haselmaus;
- *Glis glis*, Loir gris, Siebenschläfer;
- *Eliomys quercinus*, Lérot, Gartenschläfer;
- *Felis sylvestris*, Chat sauvage, Wildkatze;
- *Lutra lutra*, Loutre, Fischotter;
- *Meles meles*, Blaireau, Dachs.

La Taupe n'est pas protégée dans les jardins, les exploitations maraîchères et les pelouses affectées à la pratique de sports.

##### • Oiseaux

Tous les Oiseaux vivant à l'état sauvage en Europe sont intégralement protégés,

à l'exception:

- des oiseaux classés comme gibier (protection partielle);
- du Pigeon domestique retourné à l'état sauvage;
- de l'Étourneau qui peut être mis à mort en exécution du règlement grand-ducal du 20 juin 1973 autorisant la décimation de l'étourneau.

##### • Reptiles

Tous les Reptiles indigènes appartenant aux groupes taxonomiques suivants sont intégralement protégés:

- Lacertidae, Lézards, Eidechsen;
- Anguillidae, Orvets, Blindschleichen;
- Serpentes, Serpents, Schlangen;
- Emydidae, Cistudes, Sumpfschildkröten.

##### • Amphibiens

Tous les Amphibiens indigènes appartenant aux groupes taxonomiques suivants sont intégralement protégés:

- Salamandridae (Salamandres, Salamander; Tritons, Molche);
- Discoglossidae, Discoglossidés, Scheibenzüngler;
- Pelobatidae, Pélobatidés, Krötenfrösche;

- Bufonidae, Bufonidés, Kröten;
- Hylidae, Hylidés, Baumfrösche;
- Ranidae, Ranidés, Echte Frösche;

##### • Poissons

Les espèces suivantes sont intégralement protégées:

- *Lampetra planeri*, Petite Lamproie, Bachneunauge;
- *Phoxinus phoxinus*, Vairon, Elritze;
- *Rhodeus sericeus*, Bouvière, Bitterling;
- *Noemacheilus barbatulus*, Loche franche, Schmerle;
- *Misgurnus fossilis*, Loche d'étang, Schlammpeitzger;
- *Cobitis taenia*, Loche de rivière, Steinbeißer;
- *Cottus gobio*, Chabot, Kaulkopf.

##### • Mollusques

- *Helix aspersa*, Petit-Gris, Gebänderte Schnirkelschnecke;
- Unionidae, Unionidés, Flußmuscheln.

##### • Crustacés

- *Astacus astacus*, Ecrevisse de rivière, Flußkrebis;
- *Astacus torrentium*, Ecrevisse des torrents, Steinkrebis.

##### • Insectes

Odonatoptères:

- *Odonata* spp., Libellules, Libellen;

Plécoptères, Plécoptères, Steinfliegen;

Ephéméroptères: Ephéméroptères, Eintagsfliegen;

Orthoptères:

- *Mantis religiosa*, Mante religieuse, Gottesanbeterin;

Hémiptères:

- *Cicadetta montana*, Cicadette de montagne, Bergzikade;
- *Ranatra linearis*, Ranatre, Stabwanze;

Névroptères:

- *Myrmeleon formicarius*, Fourmilion, Ameisenlöwe;

Hyménoptères:

- *Formica* spp., Fourmis rousses, Rote Waldameisen;

Coléoptères:

- *Calosoma* spp., Calosomes, Puppenräuber;
- *Carabus* spp., Carabes, Großlaufkäfer;
- *Hydrous* spp., Hydrophiles, Kolbenwasserkäfer;
- Coccinellidae, Coccinelles, Blattlauskäfer;
- Buprestidae, Buprestes, Prachtkäfer;
- *Cetonia* spp., Cétoines dorées, Rosenkäfer;
- *Oryctes nasicornis*, Rhinocéros, Nashornkäfer;
- *Polyphyla fullo*, Hanneton foulon, Walker;
- Lucanidae, Lucanidés, Hirschkäfer;
- *Prionus coriarius*, Prione tanneur, Lederbock;
- *Aromia moschata*, Capricorne musqué, Moschusbock.

**Lépidoptères:**

- Tous les Papillons diurnes s.l. (Papilionoidea, Tagfalter i.w.S.) sont intégralement protégés, à l'exception de:
  - *Pieris brassicae*, Grand Piéride du chou, Großer Kohlweißling;
  - *Pieris rapae*, Petit Piéride du chou, Kleiner Kohlweißling;
  - *Pieris napi*, Piéride du colza, Rapsweißling;
- Saturniidae s.l. ssp., Paons de nuit, Nachtpfauenaugen.
- Sphingidae ssp., Sphinx, Schwärmer;

- Arctidae ssp., Ecailles, Bärenspinner, à l'exception de:
  - *Spilosoma lubricipeda*, Ecaille blanche, Weiße Tigermotte;
  - *Spilosoma luteum*, Ecaille jaune, Gelbe Tigermotte;
  - *Phragmatobia fuliginosa*, Ecaille rousse, Rostbär oder Zimtbär;
- Lasiocampidae, Lasiocampidés, Glucken, à l'exception de:
  - *Malacosoma neustria*, Bombyx à livrée, Ringelspinner;
- Noctuidae, Noctuidés, Eulen:
  - *Catocala* s.l. spp., Catocales, Ordensbänder;
  - *Ephesia fulminea*, Gelbes Ordensband.

Les exploitants agricoles et forestiers agissant dans le cadre d'une gestion normale de leurs propriétés sont libérés des obligations leur imposées par le présent règlement en matière de protection d'insectes.

## 2. Animaux partiellement protégés (article 2)

### • Mammifères classés gibier

Leur exploitation se fait conformément aux dispositions de la législation sur la chasse.

### • Oiseaux classés gibier

Leur exploitation se fait conformément aux dispositions de la législation sur la chasse.

Sauf autorisation ministérielle, les Mammifères et Oiseaux classés comme gibier ne peuvent être tenus en captivité ou rendus à la vie sauvage.

### • Poissons

Leur exploitation se fait conformément aux dispositions de la législation sur la pêche, excepté les espèces citées à l'article 1<sup>er</sup>, qui sont intégralement protégées.

La pêche du Spirlin (*Alburnoides bipunctatus*, Schneider) est interdite dans les eaux intérieures, courantes ou stagnantes, à l'exception des étangs, fossés, canaux, viviers, réservoirs et plans d'eau qui n'ont avec les autres eaux intérieures ou frontalières aucune communication permettant le passage des poissons.

### • Escargots

- *Helix pomatia*, Escargot de Bourgogne, Weinbergsschnecke.

Le ramassage des Escargots de Bourgogne sur les fonds faisant partie du domaine public ou du domaine privé de l'Etat ou des communes est interdit.

Sur les fonds appartenant à des particuliers, leur ramassage est interdit à toute personne du 1<sup>er</sup> avril au 30 juin. En dehors de cette période, leur ramassage peut être pratiqué par les propriétaires, les locataires ou les usufruitiers de ces fonds ou par les personnes que ces propriétaires ou leurs ayants cause ont autorisées à ce faire.

L'autorisation doit être accordée par écrit et présentée à toute réquisition des agents chargés du contrôle.

Cependant, il est interdit de ramasser des spécimens vivants et de les céder à titre gratuit ou onéreux en tout temps lorsque la coquille présente un diamètre inférieur à 3 cm.

Les personnes qui pratiquent le ramassage des Escargots de Bourgogne doivent être munies d'un anneau de calibrage de trois centimètres de diamètre.

## 3. Délogement des animaux trouvés dans une habitation (article 3)

Par dérogation aux articles qui précèdent, tout animal appartenant à une espèce protégée intégralement ou partiellement, peut être délogé d'une habitation.

### Littérature à consulter:

*Lëtzebuenger Natur- a Vulleschutzliga* (1986), *Ligue Luxembourgeoise pour l'Etude et la Protection des Oiseaux* (1982, 1989), *Natura* (1975).

### 5.6.3. Protection des espèces végétales

#### Règlement grand-ducal du 19 août 1989 concernant la protection intégrale et partielle de certaines espèces végétales de la flore sauvage (Mém. A n° 61 du 20 septembre 1989, p. 1103)

#### 1. Plantes intégralement protégées (article 1<sup>er</sup>)

Elles ne peuvent être enlevées de leur station, ni être endommagées ou détruites.

L'achat, le transport, l'importation, l'exportation, le colportage et la vente de ces plantes à l'état frais ou desséché sont interdits. La même interdiction s'applique aux parties de ces plantes.

#### Liste des plantes intégralement protégées (annexe A du règlement)

Les plantes intégralement protégées sont énumérées à l'annexe A du règlement dont il est question. Cette annexe comporte 115 taxons, généralement des espèces, parfois tout un genre ou même toute une famille: Lichens (4 taxons), Bryophytes (1 taxon), Ptéridophytes (19 taxons), Spermatophytes (91 taxons).

#### Principales espèces intégralement protégées:

##### • Lichens (Flechten):

- *Bryoria* sp.,
- *Cladina* sp.,
- *Cladonia* sp.,
- *Usnea* sp.

##### • Bryophytes (Moose):

- *Sphagnum* sp. (Sphaignes, Torfmoose).

##### • Ptéridophytes (Farnpflanzen):

- *Asplenium scolopendrium*, Langue de cerf, Hirschnägelchen;
- *Asplenium viride*, Doradille verte, Grüner Streifenfarn;
- *Blechnum spicant*, Blechnum en épi, Rippenfarn;
- *Botrychium lunaria*, Botryche lunaire, Echte Mondraute;
- *Equisetum sylvaticum*, Prêle des bois, Wald-Schachtelhalm;
- *Equisetum telmateia*, Grande Prêle, Riesen-Schachtelhalm;
- *Hymenophyllum tunbrigense*, Hyménophylle, Englischer Hautfarn;
- *Ophioglossum vulgatum*, Ophioglosse vulgaire, Gemeine Natternzunge;
- *Osmunda regalis*, Osmonde royale, Königsfarn;
- *Polystichum lonchitis*, Polystichonchite, Lanzen-Schildfarn; etc.

##### • Spermatophytes (Samenpflanzen):

- *Aconitum vulparia*, Aconit tue-loup, Wolfs-Eisenhut;
- *Amelanchier ovalis*, Amélanche, Felsenbirne;

- *Anemone pulsatilla*, Anémone pulsatille, Gemeine Küchenschelle;
- *Aquilegia vulgaris*, Ancolie vulgaire, Gemeine Akelei;
- *Arnica montana*, Arnica des montagnes, Berg-Wohlverleih;
- *Buxus sempervirens*, Buis, Buchsbaum;
- *Daphne mezereum*, Joli bois, Seidelbast;
- *Dianthus* (Oeillets, Nelken): toutes les espèces;
- *Digitalis grandiflora*, Digitale à grandes fleurs, Großblütiger Fingerhut;
- *Digitalis lutea*, Digitale jaune, Gelber Fingerhut;
- *Drosera* (Rosolis, Sonnentau): toutes les espèces;
- Gentianaceae (Gentianes, Erythées, etc., Enziane, Tausendgüldenkräuter usw.): toutes les espèces;
- *Helleborus* (Hellébore, Nieswurze): toutes les espèces;
- *Ilex aquifolium*, Houx, Stechpalme;
- *Juniperus communis*, Genévrier commun, Wacholder;
- *Lunaria rediviva*, Lunaire vivace, Wildes Silberblatt;
- *Menyanthes trifoliata*, Trèfle d'eau, Sumpf-Fieberklee;
- *Narcissus pseudonarcissus*, Jonquille, Gelbe Narzisse;
- *Nuphar lutea*, Nénuphar jaune, Gelbe Teichrose;
- Orchidaceae (Orchidées, Orchideen): toutes les espèces;
- *Scilla bifolia*, Scille à deux feuilles, Blaustern;
- *Sempervivum tectorum*, Joubarbe des toits, Dachwurz;
- *Tamus communis*, Tamier, Herbe aux femmes battues, Schmerzwurz;
- *Typha angustifolia*, Massette à feuilles étroites, Schmalblättriger Rohrkolben;
- *Utricularia* (Utriculaires, Wasserschläuche): toutes les espèces;
- etc.

Littérature à consulter: Reichling (1974), Mangen et al. (1993).

#### Un cas particulier: les rochers du Grès de Luxembourg (article 2)

Toutes les espèces de Lichens, Mousses et Fougères des rochers du Grès de Luxembourg sont intégralement protégées. Il s'agit des sites situés sur le territoire des communes de Beaufort, Bech, Beckerich, Berdorf, Bertrange, Boevange-sur-Attert, Consdorf, Contern, Dalheim, Echternach, Ermsdorf, Fischbach, Flaxweiler, Frisange, Heffingen, Hesperange, Hobscheid, Junglinster, Kehlen, Koerich, Kopstal, Larochette, Lintgen, Lorentzweiler, Luxembourg, Mamer, Medernach, Mersch, Mondorf-les-Bains, Niederanven, Nommern, Reisdorf, Saetul, Sandweiler, Schuttrange, Septfontaines, Steinfort, Steinsel, Strassen, Tuntange, Waldbillig, Waldbredimus, Walferdange, Weiler-la-Tour.

## 2. Plantes partiellement protégées (articles 3 à 5)

D'après l'article 3:

- il est interdit d'arracher, d'endommager ou de détruire les parties souterraines des plantes partiellement protégées;
- il est interdit d'enlever avec motte de terre des plantes de ces espèces;
- seules les parties aériennes de ces plantes peuvent être cueillies.

Les plantes partiellement protégées sont énumérées aux annexes B<sub>1</sub> (17 taxons de Spermatophytes) et B<sub>2</sub> (37 taxons de Champignons) du règlement.

### Bouquets de fleurs (article 4)

Les dimensions des bouquets des parties aériennes des plantes de l'annexe B<sub>1</sub>, cueillies dans un but non lucratif, devront être limitées de façon que les tiges ou les rameaux prélevés forment un faisceau ne dépassant pas deux centimètres de diamètre.

Il ne pourra être cueilli plus d'un bouquet par personne et par espèce.

Il est interdit de récolter les parties aériennes de ces plantes dans un but lucratif; l'achat, la vente et le colportage en sont interdits.

#### Annexe B<sub>1</sub>: Spermatophytes partiellement protégées (cueillette réglementée):

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Anemone ranunculoides</i>, Anémone fausse renoncule, Gelbes Windröschen;</li> <li>- <i>Butomus umbellatus</i>, Jonc fleuri, Schwänenblume;</li> <li>- <i>Centaurea montana</i>, Centaurée des montagnes, Berg-Flockenblume;</li> <li>- <i>Convallaria majalis</i>, Muguet, Maiglöckchen;</li> <li>- <i>Gagea</i> sp., Gagées, Gelbsterne;</li> <li>- <i>Geranium sanguineum</i>, Géranium sanguin, Blutstorchschnabel;</li> <li>- <i>Iris pseudacorus</i>, Iris jaune, Gelbe Schwertlilie;</li> <li>- <i>Jasione montana</i>, Jasione des montagnes, Sandknöpfchen;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Nymphaea alba</i>, Nénuphar blanc, Weisse Seerose;</li> <li>- <i>Peucedanum carviifolia</i>, Peucedan à feuilles de carvi, Kümmelblatt-Haarstrang,</li> <li>- <i>Sagittaria sagittifolia</i>, Sagittaire flèche d'eau, Pfeilkraut;</li> <li>- <i>Salvia pratensis</i>, Sauge des prés, Wiesen-Salbei;</li> <li>- <i>Sanguisorba officinalis</i>, Sanguisorbe, Blutkraut;</li> <li>- <i>Scorzonera humilis</i>, Scorzonère des prés, Niedrige Schwarzwurzel;</li> <li>- <i>Tragopogon pratensis</i> subsp. <i>orientalis</i>, Salsifis des prés, Wiesen-Bocksbart;</li> <li>- <i>Viola palustris</i>, Violette des marais, Sumpf-Veilchen.</li> </ul> |
|--|--|

### Cueillette des champignons (article 5)

La cueillette dans un but non lucratif des champignons comestibles énumérés à l'annexe B<sub>2</sub> est limitée à 1 kg (poids frais) par personne et par jour.

Une autorisation ministérielle est requise pour la cueillette des champignons comestibles de l'annexe B<sub>2</sub> dans un but lucratif. L'autorisation doit être présentée à toute réquisition des agents chargés du contrôle.

De toutes les autres espèces de champignons il ne peut être prélevé que trois carpophores (*Fruchtkörper*) au maximum par personne.

Quelques exemples choisis parmi les 37 taxons de champignons partiellement protégés énumérés à l'annexe B<sub>2</sub> (cueillette réglementée):

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Boletus edulis</i>, Cèpe de Bordeaux, Steinpilz;</li> <li>- <i>Suillus luteus</i>, Bolet à chair jaune, Butterpilz;</li> <li>- <i>Cantharellus cibarius</i>, Chanterelle, Pfifferling;</li> <li>- <i>Armillariella mellea</i>, Armillaire couleur de miel, Hallimasch;</li> <li>- <i>Macrolepiota procera</i>, Lépiote élevée, Riesenschirmling;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Lactarius deliciosus</i>, Lactaire délicieux, Echter Reizker;</li> <li>- <i>Coprinus comatus</i>, Coprin chevelu, Schopftintling;</li> <li>- <i>Langermannia gigantea</i>, Vesse de loup géante, Riesenschnitzpilz;</li> <li>- etc.</li> </ul> |
|---|--|

### 5.6.4. Les listes rouges

Les listes rouges (*Rote Listen, red data lists*) représentent des documents plus ou moins officiels qui énumèrent les espèces animales ou végétales éteintes ou disparues, les espèces (très) menacées de disparition et les espèces potentiellement menacées de disparition. Ces listes fournissent la base scientifique pour une meilleure politique de la protection des espèces (*Artenschutz*).

Au Luxembourg, une première liste rouge a été publiée dès 1976. Elle se rapportait aux Oiseaux nicheurs indigènes et reflétait la situation de notre avifaune telle qu'elle se présentait en 1975 (Weiss, 1976). Elle a été peaufinée et adaptée par la suite. La cinquième édition de la liste rouge des Oiseaux nicheurs luxembourgeois (situation 1991) est parue en 1992 (Weiss, 1992a,b); elle comporte 45,7% de nos Oiseaux nicheurs dont le nombre total est de 140:

- espèces éteintes ou disparues: 10 (7,1%)
- espèces risquant de disparaître: 13 (9,3%)
- espèces fortement menacées: 21 (15 %)
- espèces menacées: 9 (6,4%)
- espèces potentiellement menacées: 11 (7,9%)

D'autres listes rouges ont été publiées. Elles se rapportent aux groupes suivants:

- Lépidoptères (Meyer & Pellen, 1981),
- Poissons (voir: M. Molitor et al., 1985),
- Bryophytes (Werner, 1987),
- Orthoptères (Meyer, 1988).

Des listes existent encore pour les groupes suivants:

- Reptiles et Amphibiens (Parent & Thorn),
- Lichens (P. Diederich),
- Champignons.

D'autres listes sont en élaboration.

Parmi les publications de vulgarisation consacrées au sujet, citons:

«*Loosst d'Päiperlécke liewen*», «*Vu Fräschen a Mouken*», «*Fledermäuse*» et «*Op der rouder Lëscht*» éditées par le Musée National d'Histoire Naturelle de Luxembourg.

Fig. 348: Situation de la faune et de la flore au Luxembourg d'après quelques listes rouges.

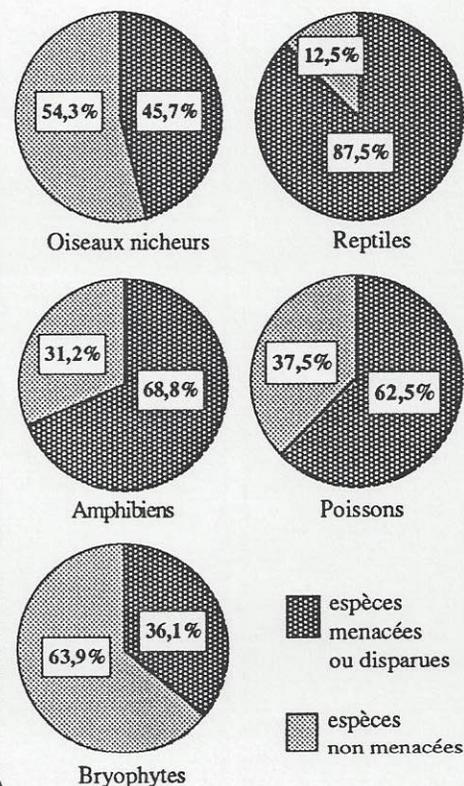


Fig. 349: Liste rouge des Oiseaux nicheurs luxembourgeois: espèces par catégories (en %).

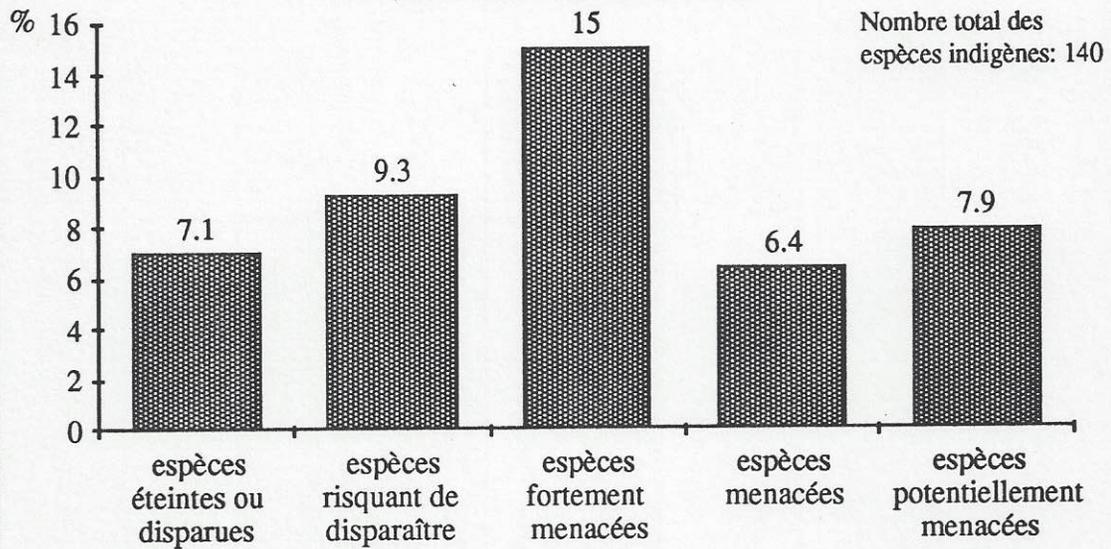


Fig. 350: Liste rouge des Poissons luxembourgeois: espèces par catégories. (en %)

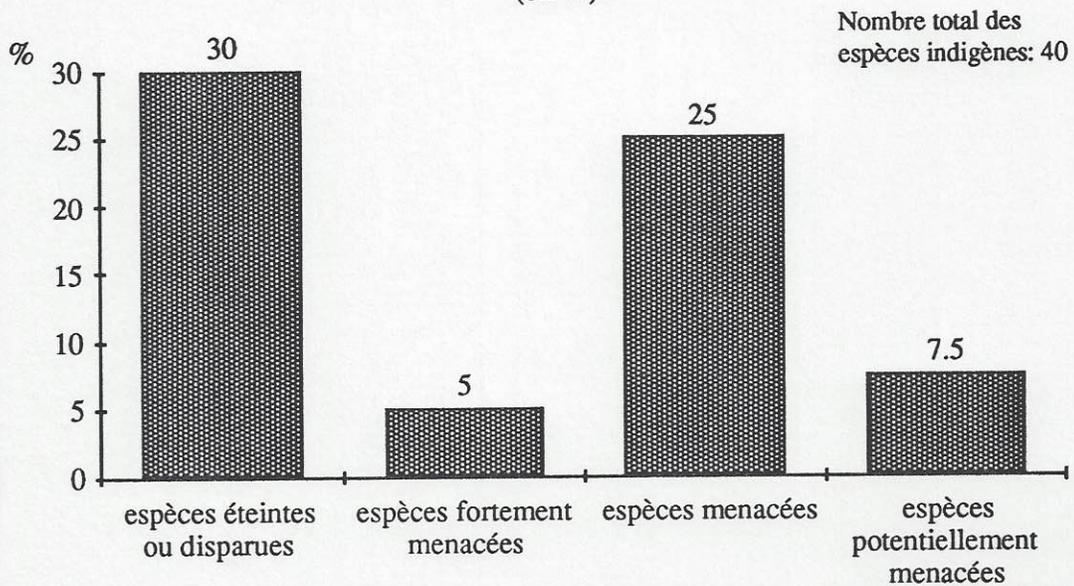
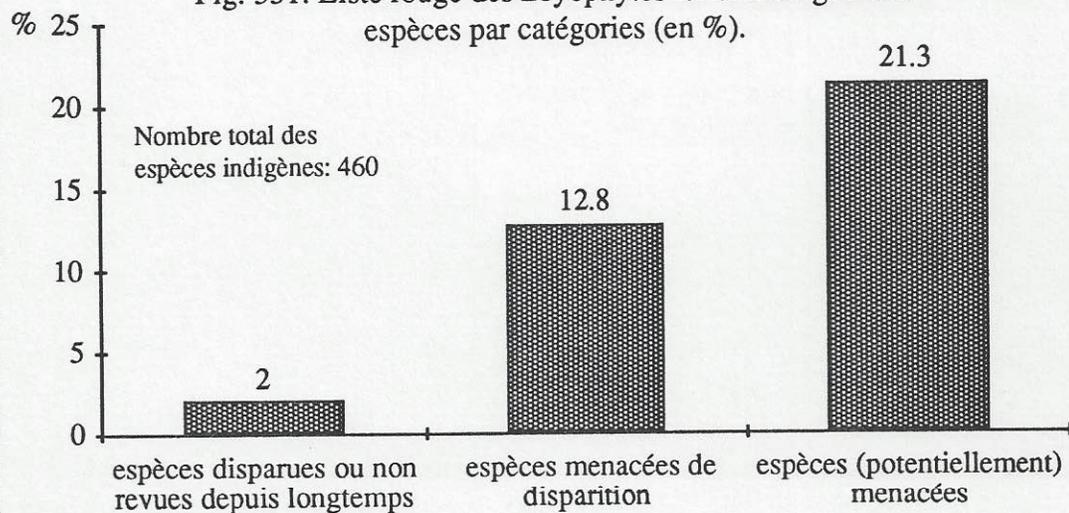


Fig. 351: Liste rouge des Bryophytes luxembourgeois: espèces par catégories (en %).





## 6. Principaux ouvrages et articles consultés

### Ouvrages généraux

- Ahlheim, K.H. et al. (1975): *Wie funktioniert das? Die Umwelt des Menschen*. - Mannheim, Meyers Lexikonverlag, 552 p.
- Arrignon, J. (1976): *Aménagement écologique et piscicole des eaux douces*. 3e éd. - Paris, Gauthier-Villars, 340 p.
- Barbault, R. (1983): *Ecologie générale*. - Paris, Masson, 224 p.
- Barnes, R.S.K. & K.H. Mann (1991): *Fundamentals of aquatic ecology*. 2nd ed. - Oxford, Blackwell Scientific Publications, 270 p.
- Barth, W.E. (1987): *Praktischer Umwelt- und Naturschutz*. - Hamburg, P. Parey, 310 p.
- Baustert, R. (1992): *Chimie et environnement. Complément pour les cours de chimie de l'enseignement secondaire*. - Luxembourg, Minist. Educ. natn., 75 p.
- Begon, M. et al. (1990): *Ecology. Individuals, Populations and Communities*. - Cambridge (USA), Blackwell Scientific Publications, 945 p.
- Blot, J. (1959): *Le monde animal. Sciences naturelles, Classe de Première M<sup>1</sup>*. 2e éd. - Paris, Les Editions de l'Ecole, 490 p.
- Boden, J.P. et al. (1984): *Ecologie. Classe de seconde*. - Paris, Armand Collin, 208 p. (= Collection Désiré).
- Böhlmann, D. (1991): *Ökologie von Umweltbelastungen unserer Atmosphäre*. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 102 p. (= Basiswissen Biologie, 4).
- Böhlmann, D. (1991): *Ökologie von Umweltbelastungen in Boden und Nahrung*. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 115 p. (= Basiswissen Biologie, 5).
- Bossel, H. (1990): *Umweltwissen. Daten, Fakten, Zusammenhänge*. - Berlin, Springer-Vlg., 169 S.
- Brun-Cottan, F. et al. (1982): *Sciences naturelles, 2e. Eléments d'écologie*. - Paris, Belin, 192 p.
- Butin, H. (1983): *Krankheiten der Wald- und Parkbäume*. - Stuttgart, G. Thieme Vlg., 172 p.
- Chauvin, R. (1967): *Die Welt der Insekten*. - München, Kindler Vlg., 256 p.
- Chovin, P. & A. Roussel (1972): *La pollution atmosphérique*. - Paris, PUF, 128 p. (= Que sais-je?, 1330).
- Christner, J. (1990): *Abiturwissen Evolution*. 3. Aufl. - Stuttgart, E. Klett Vlg., 142 p.
- Cobut, J.G. et al. (1968): *Biologie - Botanique. Par une réunion de professeurs*. - Bruxelles, De Boeck, 356 p.
- Cobut, J.G. et al. (1976): *Initiation écologique au cours de zoologie. Etude d'un milieu dulcicole et d'un milieu terrestre*. - Bruxelles, 152 p. (= Documentation, 51).
- Cobut, J.G. et al. (1977): *Initiation écologique au cours de zoologie. Parasitisme, comportement social, etc.* - Bruxelles, 116 p. (= Documentation, 52).
- Cobut, J.G. et al. (1979): *Initiation écologique au cours de zoologie. Le monde des animaux unicellulaires ou Protozoaires. Le Littoral de la mer du Nord*. - Bruxelles, 128 p. (= Documentation, 50).
- Colas, R. (1977): *La pollution des eaux*. - Paris, PUF, 128 p. (= Que sais-je?, 983).
- Conseil de l'Europe (1989): *Agriculture et vie sauvage*. - Strasbourg, 43 p.
- Cox, C.B. & P.D. Moore (1987): *Einführung in die Biogeographie*. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 311 p.
- Dajoz, R. (1982): *Précis d'écologie*. 4e édition. - Paris, Gauthier-Villars, 503 p.
- Decerier, A. et al. (1987): *Biologie - Géologie, 2e. Sciences et techniques biologiques et géologie*. - Paris, Nathan, 256 p. (= Collection Jacques Escalier).
- Degen, K. & C. Walther (o.D.): *Naturkunde. Ökosysteme*. - Studiengemeinschaft Darmstadt, 99 p.
- De Roose, F. & P. Van Parijs (1991): *La pensée écologiste*. - Bruxelles, De Boeck, 203 p.
- Di Marco, A. (1992): *La pollution: origines, effets, remèdes. Complément pour les cours de chimie de l'enseignement secondaire*. - Luxembourg, Minist. Educ. natn., 103 p.
- Dorst, J. (1978): *Avant que Nature meure*. - Neuchâtel, Delachaux & Niestlé, 556 p.
- Duchauffour, P. (1970): *Précis de pédologie*. - Paris, Masson, 481 p.
- Duvigneaud, P. (1980): *La synthèse écologique*. 2e édition. - Paris, Doin, 380 p.
- Dylla, K. & G. Krätzner (1972): *Das biologische Gleichgewicht in der Lebensgemeinschaft Wald*. - Heidelberg, Quelle & Meyer, 146 p. (= Biologische Arbeitsbücher, 9).
- Emons, H.H. & H. Kaden (1990): *Luft: nur zum Atmen?* - Köln, Aulis Vlg. Deubner, 123 p. (= Wir und die Natur).
- Escalier, J. et al. (1977): *L'Homme et la Nature. Biologie 6e*. - Paris, F. Nathan, 144 p.
- Eschenhagen, D., U. Katmann & D. Rodi (Hrsg.) (1991): *Umwelt (Umweltbeziehungen, Ökosysteme, Umweltschutz)*. - Köln, Aulis Vlg. Deubner, 377 p. (= Handbuch des Biologieunterrichts, Sekundarbereich I, Bd. 8).
- Fellenberg, G. (1985): *Ökologische Probleme der Umweltbelastung*. - Berlin, Springer-Vlg., 188 p.
- Ford-Robertson, J. (1991): *Revised Biology: a complete revision course for GCSE*. 5th ed. - London, BPP, 222 p.
- Godron, M. (1984): *Ecologie de la végétation terrestre*. - Paris, Masson, 196 p.
- Heinrich, D. & M. Hergt (1991): *dtv-Atlas zur Ökologie*. - München, 283 p. (= dtv N° 3228).
- Illies, J. & W. Klausewitz (1973): *Grzimeks Tierleben. Sonderband «Ökologie»*. - Zürich, Kindler Vlg., 744 p.
- Joger, U. (Hrsg.), W. Matthey et al. (1989): *Praktische Ökologie*. - Frankfurt a. M., Diesterweg, XV+334 p. (= Laborbücher Biologie).
- Kalusche, D. (1989): *Wechselwirkungen zwischen Organismen*. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 99 p. (= Basiswissen Biologie, 2).
- Kinzelbach, R. (1989): *Ökologie, Naturschutz, Umweltschutz*. - Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 180 p. (= Dimensionen der modernen Biologie, Bd. 6).
- Knodel, H. & U. Kull (1981): *Ökologie und Umweltschutz*. 2. Aufl. - Stuttgart, J.B. Metzler, 228 p. (= Studienreihe Biologie, 4).
- Leibundgut, H. (Hrsg.) (1971): *Schutz unseres Lebensraumes*. - München, BLV, 524 p.
- Lemaire, F.C. & E. Lemaire (1975): *Dictionnaire de l'environnement*. - Verviers, 317 p. (= Marabout Université, N° 260).
- Leroy, J.B. (1981): *Les déchets et leur traitement*. - Paris, PUF, 128 p. (= Que sais-je?, 1946).
- Mader, S.S. (1988): *Biologie: évolution, diversité et environnement*. - Québec, Trécarrière-Goulet, 767 p.
- Moreau, F. (1960): *Botanique*. - Paris, Gallimard, 1533 p. (= Encyclopédie de la Pléiade).
- Nachtigall, W. (1985): *Unbekannte Umwelt*. - München, 310 p. (= Heyne Bücher, Nr. 1280).
- Naturwissenschaften im Unterricht: *Biologie (1981): N° 29/10 (Der Baggersee)*.
- Odum, E.P. (1980): *Grundlagen der Ökologie*. Bd. 1-2. - Stuttgart, G. Thieme Vlg., XXVI+836 p.
- Olivier, G. (1980): *L'écologie humaine*. 2e édition. - Paris, PUF, 128 p. (= Que sais-je?, 1607).
- Pesson, P. (éd.) (1980): *Actualités d'écologie forestière. Sol, flore, faune*. - Paris, Gauthier-Villars, 517 p.
- Praxis der Naturwissenschaften: *Biologie (1985-1993):*

- N° 1/34 (Kurskonzept Ökologie: Stoffkreislauf, Humanökologie), N° 6/34 (Kurskonzept Ökologie: Biozönotische Gleichgewichte und Energiefluß), N° 2/35 (Naturschutz in der Schule), N° 5/35 (Biologie und Jagd), N° 2/37 (Waldschäden), N° 6/37 (Artenschutz), N° 7/39 (Stadt-Ökologie), N° 6/40 (Ökosystem Stadtteich), N° 2/41 (Dorf-Ökologie), N° 6/41 (Biotope aus zweiter Hand), N° 1/42 (Gewässergefährdung).
- Ramade, F. (1992): Précis d'écotoxicologie. - Paris, Masson, 300 p.
- Reichelt, G. & W. Schwoerbel (1981): Ökologie. - Bielefeld, Cornelsen-Velhagen & Klasing, 64 p. (= Reihe CVK-Biologie-Kolleg).
- Remmert, H. (1989): Ökologie. Ein Lehrbuch. 4. Aufl. - Berlin, Springer Vlg., 374 p.
- Salviat, N. et al. (1987): Sciences et techniques biologiques. 5e collégés. - Paris, Magnard, 185 p.
- Schmeil, O. & A. Seybold (1958): Lehrbuch der Botanik. Bd. 1. 57. Aufl. - Heidelberg, Quelle & Meyer, 491 p.
- Schmidt, E. (1974): Ökosystem See. - Heidelberg, Quelle & Meyer, 170 p. (= Biologische Arbeitsbücher, 12).
- Schua, L. (1970): Lebensraum Wasser. - Kosmos-Bibliothek, 268: 1-88.
- Stern, H. et al. (1983): Rettet den Wald. - München, 444 p. (= Heyne-Buch, 01/7220).
- Stern, H. et al. (1985): Rettet die Vögel. - München, 379 p. (= Heyne-Buch, 01/7263).
- Strasburger, E. (1991): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 33. Aufl. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 1033 p.
- Streit, B. (1980): Ökologie. - Stuttgart, G. Thieme Vlg., 235 p.
- Stripf, R. & G. Polzer (o.D.): Biologie. Ökologie I. - Studiengemeinschaft Darmstadt, 57 p.
- Stripf, R. & G. Polzer (o.D.): Biologie. Ökologie II. - Studiengemeinschaft Darmstadt, 60 p.
- Stugren, B. (1978): Grundlagen der Allgemeinen Ökologie. - Jena, G. Fischer Vlg., 312 p.
- Terver, D. (1982): Poissons de nos rivières. - Colmar, Editions S.A.E.P., 97 p.
- Théron, A. & J. Vallin (1972): Sciences naturelles. Classe de 1re D. Tome 1: Ecologie. - Paris, Bordas, 128 p. (= Collection de sciences naturelles, Ch. Désiré).
- Tischler, W. (1979): Einführung in die Ökologie. 2. Aufl. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 306 p.
- Uhlman, D. (1988): Hydrobiologie. Ein Grundriß für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 3. Aufl. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 298 p.
- Unterricht Biologie (1979-1992): N° 39 (Wild), N° 55 (Vegetationskunde), N° 57 (Bodenbiologie), N° 59 (Fließgewässer), N° 99 (Waldsterben), N° 108 (Naturschutz), N° 112 (Räuber und Beute), N° 115 (Ökologischer Landbau), N° 131 (Bioindikatoren), N° 134 (Umwelterziehung), N° 143 (Stadtökologie), N° 144 (Bodenschutz), N° 155 (Trinkwasser), N° 158 (Regulation), N° 162 (Gefährdung der Biosphäre), N° 171 (Konkurrenz bei Tieren), N° 173 (Angepaßtheit bei Pflanzen), N° 175 (Gräser und Getreide).
- Vernier, J. (1992): L'environnement. - Paris, PUF, 128 p. (= Que sais-je?, 2667).
- Walder, P. et al. (1970): Biologie et protection des eaux. - Berne, Dépt. fédéral de l'Intérieur, 85 p.
- Wildermuth, H. (1986): Natur als Aufgabe. - Ravensburg, Otto Meyer Vlg., 256 p.
- Winkler, S. (1980): Einführung in die Pflanzenökologie. 2. Aufl. - Stuttgart, G. Fischer Vlg., 256 p.
- Wagner, C. (1991): Stichwort Ökologie. - München, Knauer, 224 p.

#### Ouvrages et articles en rapport avec le Grand-Duché de Luxembourg ou les régions limitrophes

- Administration de l'Environnement (1984): Saure Niederschläge in Luxemburg. - Luxembourg, dépliant.
- Administration de l'Environnement (s.d.): Réseau de mesure de la qualité de l'air. - Luxembourg, 11 p.
- Administration des Eaux et Forêts (1971): La forêt du Grand-Duché de Luxembourg. - Luxembourg, 95 p.
- Administration des Eaux et Forêts (1981): Arbres remarquables du Grand-Duché de Luxembourg. - Luxembourg, 157 p.
- Administration des Eaux et Forêts (1988): La forêt luxembourgeoise, un objet de grande valeur. - Luxembourg, 32 p.
- Aluseau (éd.) (1977): L'eau potable au Grand-Duché de Luxembourg. - Luxembourg, n.p.
- Aluseau (éd.) (1987): L'eau potable au Grand-Duché de Luxembourg. - Luxembourg, 40 p.
- Anonyme (1975): Internationales Abwasserklärwerk Echternach-Weilerbach an der Sauer in Echternach. - Internationaler Abwasserverband Echternach-Weilerbach, 16 p.
- Anonyme (1977): SIDOR. - Sidor (éd.) [brochure publiée lors de l'inauguration en 1977].
- Anonyme (1979): Der Jäger, der den letzten Luxemburger Wolf erlegte! - Chasse et Chien, 6 (79): 14.
- Anonyme (1987): L'alimentation en eau potable du Grand-Duché de Luxembourg. - Sebes (éd.), 14 p.
- APSEL (1987): Porte ouverte aux stations d'épuration, 26 septembre 1987. - Luxembourg, Association du Personnel des Stations d'Épuration, n.p.
- Assa, René (1983): Waschbären (*Procyon lotor*) in Luxemburg. - Lujana, 1: 20, Luxembourg.
- Barkman, J. (1947): Quelques remarques sur une station de *Schistostega osmundacea* et *Heterocladium wulfsbergii* dans le Grand-Duché de Luxembourg. - Archs Inst. g.-d., Sect. Sci., NS 17: 57-58.
- Barkman, J. (1949): Notes sur quelques associations épiphytiques de la Petite Suisse Luxembourgeoise. - Archs Inst. g.-d., Sect. Sci., NS 18: 79-94.
- Barthel, Josy (1957): Considérations sur l'état physico-chimique des eaux de la Sûre et de la Moselle. - Archs Inst. g.-d., Sect. Sci., NS 24: 127-148.
- Barthel, Josy (1964): Gesundes Wasser, gesundes Leben. - Luxembourg, Croix Rouge luxemb., 16 p.
- Barthel, Josy (1969): La qualité des eaux provenant des nappes captives du grès de Luxembourg. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 70 (1965): 83-89.
- Bauer, Erich (1980): Die Wälder der Eifel in der Heimatgeschichte. - Heimatkalender 1981 Landkreis Bitburg-Prüm: 121-128.
- Bauer, Erich (1981): Der Bergwald kämmt den Nebel aus. Ergebnisse von Niederschlagsmessungen in Eifel und Hunsrück. - Heimatkalender 1982 Landkreis Bitburg-Prüm: 138-141.
- Bauer, Erich et al. (1985): Deutsch-Luxemburgischer Naturpark. - HB Naturmagazin draußen, 41: 1-99.
- Beaufort, François de (1987): Le Loup en France: éléments d'écologie historique. - Encyclopédie des Carnivores de France, 1: 1-32.
- Bechtle, W. (1972): Die Wildkatzen des Herrn Professors. - Kosmos, 11/72: 455-457.
- Bintz, Jacques (1969): Les possibilités de renforcement de notre alimentation en eau par forages-captages d'eaux souterraines. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 70 (1965): 90-108.
- Blum, Martin (1898): Dominik Constantin München's Versuch einer kurz gefaßten Statistisch-Bürgerlichen Geschichte des Herzogtums Lützelburg. - Luxembourg, 463 p.
- Bores, Heinz (1989): Irrel. Ortschaft im Prüm- und Nimstal. - in Erle - Irrel. Geschichte und Gegenwart. Trier: 225-243.
- Brieda, F. et al. (1985): Emissionskataster für das Stadtgebiet Luxemburg. - Ministerium für Umwelt, Großherzogtum Luxemburg, 54 p.

- Bruch, Robert (1959): Dem Decimus Magnus Ausonius séng Rees op d'Musel. - in Mosella. Schwebsingen: 11-70 [édition de luxe: Luxembourg, 1960, 67 p.].
- Bournérias, M. (1979): Guide des groupements végétaux de la région parisienne. 3e éd. - Paris, Sedes - Masson, 483 p.
- Chauvet, Jean-Yves (1986): Les loups en Lorraine. - Le Coteau, Ed. Horvath, 172 p.
- Comité national pour la protection de l'environnement (1984): Livre blanc sur l'environnement. - Luxembourg, 144 p.
- Commission internationale pour la protection de la Moselle contre la pollution (1991): Résultats d'analyses, année 1990. - s.l., 47 p.
- Conrardy, Marcel (1958): Unsere Moselfische, einst und jetzt. - in La Moselle, son passé, son avenir. Luxembourg: 311-329.
- Courrier de l'Education nationale (1971): N° A1/71: 1-63 (Conservation de la nature).
- Courrier de l'Education nationale (1973): N° A1/73: 8-15 (Naturlehrpfad Hollenfels, Naturlehrpfad Diekirch).
- Courrier de l'Education nationale (1974): N° A2/74: 1-68 (Guide pratique pour l'étude et la Protection de l'environnement).
- Courrier de l'Education nationale (1987): N° A1/87: 1-56 (Promenade écologique à travers la Ville de Luxembourg).
- Courrier de l'Education nationale (1988): N° spécial: 1-16 (L'Homme et la Nature).
- Courrier de l'Education nationale (1991): N° A7/1991: 63-73 (Service éducatif du Musée National d'Histoire Naturelle).
- Courrier de l'Education nationale (1992): N° A1/1992: 4-24, N° A10: 159-168 (Huelmes-Info).
- Courrier de l'Education nationale (s.d.): N° spécial: 1-197 (Müll. Bericht einer Projektwoche im LTN Wiltz).
- Coiteaux, Michel (1966): Le passage de la toundra de la fin du Würm aux forêts tempérées actuelles: recherches dans le méandre abandonné de la Sûre à Echternach. - Archs Inst. g.-d., Sect. Sci., NS 31 (1964/65): 297-298.
- Coiteaux, Michel (1970): Etude palynologique des dépôts quaternaires de la Vallée de la Sûre à Echternach et à Berdorf, et de la Moselle à Mertert. - Archs Inst. g.-d., Sect. Sci., NS 34 (1968/69): 297-336.
- Delanghe, J.-E. et al. (1973): Nouvelle flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines. - Bruxelles, 821 p.
- Diederich, Jules (1987): Weitgereiste Wintergäste. - Regulus, 4/87: 84-86.
- Diederich, Paul (1981): Cartographie de la pollution atmosphérique au Grand-Duché de Luxembourg à l'aide de bioindicateurs. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 83-84 (1978-1979): 7-39.
- Diederich, Paul (1990): Les peuplements relictuels de *Pinus sylvestris* L. au Luxembourg. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 90: 143-152.
- Diederich, Paul (1991): Les forêts luxembourgeoises à longue continuité historique. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 92: 31-39.
- Dubost, G. (1962): L'invasion de la Lorraine par le Rat musqué (*Ondatra zibethica* L.). - Mammalia, 26: 56-63.
- Eichhorn, Alphonse (1958): Aperçu sur l'étendue de la forêt luxembourgeoise à travers les âges. - Archs Inst. g.-d., Sect. Sci., NS 25: 75-93.
- Faber, Ernest (1908): Der Wolf, seine Lebensweise und frühere Verbreitung im Großherzogtum. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 28: 389-394, 411-419.
- Faber, Robert (1971): Climatologie du Grand-Duché de Luxembourg. - Luxembourg, 48 p.
- Faber, Robert (1975): La place de l'Epicéa dans la forêt luxembourgeoise. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 78 (1973): 62-65.
- Faber, Robert (1976): Notice statistique sur l'importance et la nature de la forêt luxembourgeoise. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 79 (1974): 30-38.
- Faber, Théid et al. (1992): Natur an Emwält zu Lëtzebuerg. - Kompostkalenner 1992.
- Feltgen, Ernest (1902): Vademecum des Luxemburger Fischerei-Liebhäbers. - Luxembourg, 148 p.
- Felten, J.C., G. Mathey, M. May-Rehlinger & J. Thomé (1990): Biologie, 4e option. - Luxembourg, SIRP - Ministère de l'Education nationale, 189 p.
- Ferrant, Victor (1902): Faune des Mollusques terrestres et fluviatiles du Grand-Duché de Luxembourg. - Luxembourg, M. Huss, 232 p.
- Ferrant, Victor (1930-1931): Faune du Grand-Duché de Luxembourg. 4e partie. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 40 (1930), suppl.: 1-64; 41 (1931), suppl.: 65-105.
- Fetter-Keulen, C. et S. (1990): La Loutre. - Liège, Education-Environnement et S.F.E.P.M., 32 p.
- Fischer, Eugène (1882): Plantes phanérogames nouvelles ou rares de la flore luxembourgeoise. - Rec. Mém. Trav. Soc. bot. G.-D. Luxemb., 6-8 (1880-1882): 116-124.
- Fontaine, Alphonse de la (1862): Robinier - Acacia. - Bull. Soc. Sci. nat. G.-D. Luxemb., 5 (1857-1862): 89.
- Fontaine, Alphonse de la (1869): Faune du Pays de Luxembourg. 1ère partie. Mammifères. - Bull. Soc. Sci. nat. G.-D. Luxemb., 10 (1867-1868): 140-253 [tiré à part: Luxembourg, V. Bück, 128 p.].
- Fontaine, Alphonse de la (1873): [Faune du Pays de Luxembourg]. Quatrième classe: Poissons. - Publs Inst. r. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., 13: 1-80.
- Fontaine, Alphonse de la (1897): Trente années d'observations sur les migrations des Oiseaux de la faune luxembourgeoise. Années 1863-1894. - Publs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., 25: 1-238.
- Frühauf, Dulli & R. Kollwelter (1987): Umweltatlas für Luxemburg. - Luxembourg, 227 p.
- Geiser, Franz (1990): Nos poissons d'eau douce: comme un poisson dans l'eau? - Luxembourg, Admin. Eaux et Forêts: 28 p. (= Protection de la nature, 3/90, Bâle).
- Gengler, Claude (1991): Le Luxembourg dans tous ses états. - La Garenne-Colombes, Editions de l'Espace Européen, 246 p.
- Glaesener, Jean-Pierre (1893): Diekirch et ses environs. - Diekirch, 164 p.
- Heinen, P.H. (1979): Der letzte Eifelluchs. - Heimatkalender 1979 Landkreis Bitburg-Prüm: 44-45.
- Herzhoff, Bernhard (1984): Der Walfisch der Mosel: Wels oder Stör? Beobachtungen zum Fischkatalog in der "Mosella" des Ausonius. - Jhb. Friedrich-Wilhelm-Gymnasium Trier 1983/84: 199-207.
- Heuertz, Marcel (1957): Premières captures de Rats Musqués au Grand-Duché de Luxembourg. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 24: 41-51.
- Heuertz, Marcel (1966): Quelques mots d'histoire naturelle sur la région d'Echternach. - in Guide officiel, Société d'Embellissement d'Echternach: 68-72.
- Heuertz, Marcel (1969): Documents préhistoriques du territoire luxembourgeois. - Luxembourg, 295 p.
- Heuertz, Marcel & R. Faber (1963): Séance du 7 mars 1960 [Répartition du Cerf et de la Loutre au Luxembourg]. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 65 (1960): 90-95.
- Hoffmann, Jos. (1956): Vom «*Acipenser sturio*» oder vom Stör. - De Letzeburger Sportfischer, 15 (5-8): 111-112.
- Hoffmann, Jos. (1958): «Mosel» und «Südländer». - in La Moselle, son passé, son avenir. Luxembourg: 330-333.
- Hoffmann, Jos. (1963): Faune des Amphipodes du Grand-Duché de Luxembourg. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 29 (1962): 77-128.
- Hoffmann, Jos. et al. (1957): ... bis der Segen, den das Meer immer schickte, auf einmal ausblieb. Ein Nekrolog. *Salmo salar*, Linné (1758). - De Letzeburger Sportfischer 1957 (1-2): 3-32.
- Hoffmann, Jules A. (1964): Faune des Triclades Paludicoles du Grand-Duché de Luxembourg. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 30 (1963): 181-261.
- Hulten, Marcel (1963): Von früheren Brutvögeln. - Regulus, 43 (7): 300-308, 315-321.
- Hulten, Marcel & V. Wassenich (1960): Die Vogelfauna Luxemburgs. I. Teil. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 27: 294-422.

- Hulten, Marcel & V. Wassenich (1962): Die Vogelfauna Luxemburgs. II. Teil - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 28 (1961): 423-488.
- Infras - Schroeder & Associés (1991): Emissions- und Immissionskataster für die Agglomération Luxembourg. - Luxembourg, Umweltverwaltung, 81+24 p.
- Jeunes et Environnement, (1976): Juegd an Naturschutz. - Luxembourg, 100 p.
- Jeunes et Environnement (1978): Baggerweieren Remerschen/Wëntreng: Erhuelung an Naturschutz oder Ausverkauf von enger Landschaft? - Luxembourg, 90 p.
- Kinzelbach, Ragnar (1985): Stör oder Wels? Zum Fischkatalog in der «Mosella» des Ausonius. - Mainzer naturw. Arch., 23: 223-230.
- Kinzelbach, Ragnar (1987): Das ehemalige Vorkommen des Störs (*Acipenser sturio*) im Einzugsgebiet des Rheins. - Z. Angewandte Zool., 74 (2): 167-200.
- Kinzelbach, Ragnar (1992): Die westliche Verbreitungsgrenze des Welses, *Silurus glanis*, an Rhein und Elbe. - Fischökologie, 6: 7-20.
- Kirpach, Jean-Claude (1982): Die natürlichen Waldgesellschaften Luxemburgs. - Revue technique luxembourgeoise, 1982 (4): 97-106.
- Kirpach, Jean-Claude (1984): Les motifs de la protection de réserves naturelles. - Revue technique luxembourgeoise, 1984 (3): 77-84.
- Kirpach, Jean-Claude (1988): La réserve naturelle de l'Aarnesch (commune de Niederanven), pelouse sèche. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 88: 125-131 [89 (1989): 38].
- Kirpach, Jean-Claude (1989a): La réserve naturelle Kuebebieng. Propositions en vue de la création d'une zone protégée. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 89: 21-38.
- Kirpach, Jean-Claude (1989b): La réserve naturelle Boufferdanger Muer (Grand-Duché de Luxembourg). - Bull. Soc. Nat. luxemb., 89: 63-80.
- Kirpach, Jean-Claude (1990): Réserve naturelle Roeserbann. Propositions en vue de la création d'une zone protégée. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 90: 29-40.
- Kirpach, Jean-Claude (1991): La réserve naturelle «Lénger Wisen» à Linger. Propositions en vue de la création d'une zone protégée. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 92: 3-16.
- Kirpach, Jean-Claude & J. Werner (1990): Réserve naturelle Haedchen à Helmsange. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 90: 41-54.
- Kitschener, Jos. (1984): D'Salemsfescherei séngerzäit zu Ierpeldéng. - in 100e Anniversaire de la Société de Chant et de Musique Concordia Erpeldange: 153-158.
- Klees, Henri (o.D.): Luxemburger Pflanzennamen. - Inst. g.-d., Sect. linguist. Luxemb.: 1-187 (= Beiträge zur Luxemburgischen Sprach- und Volkskunde, 8).
- Klees, Henri (1981): Luxemburger Tiernamen. - Inst. g.-d., Sect. linguist. Luxemb.: 1-131 (= Beiträge zur Luxemburgischen Sprach- und Volkskunde, 14).
- Klein, Edmond J. (1915): Die Mistel (*Viscum album*) und ihre Verbreitung im Grossherzogtum Luxemburg. - Bull. Soc. Nat. luxemb., Livre jubilé: 1-80.
- Klein, Edmond J. (1916): *Hymenophyllum tunbridgense* (L.) Sm., das Juwel des Luxemburger Sandsteins. Ein Beitrag zur Pflanzengeographie des Großherzogtums. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 26: 150-168, 190-192, 204-210.
- Klein, Edmond J. (1926): *Hymenophyllum tunbridgense* (L.) Sm., das Juwel des Luxemburger Sandsteins. Ein neuer Beitrag zur Pflanzengeographie des Grossherzogtums. - Cahiers luxemb., 1926: (1) 3-33. (2) 97-125.
- Krier, Ady (1989a): Ist die Grenzsauer eine Brachsenregion? - Fëscher a Jéer, 1989 (2): 53.
- Krier, Ady (1989b): Kommt der Lachs zurück? - Fëscher a Jéer, 1989 (3): 40-41; 1989 (4): 10-11.
- Krombach, H., J. Barthel & A. Molitor (1954): Etude sur la pollution de l'Alzette. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 21: 115-144.
- Lahr, Eugène (1964): Temps et climat au Grand-Duché de Luxembourg. - Luxembourg, 289 p.
- Lëtzeburger Natur- a Vulleschützliga (éd.) (1986): Die wildlebenden Säugetiere Luxemburgs und ihre Spuren. - Luxembourg, 64 p.
- Ligue Luxembourgeoise pour l'Etude et la Protection des Oiseaux (éd.) (1982): Die häufigsten Vögel, Fledermäuse, Amphibien Luxemburgs. - Luxembourg, 96 p. [une édition revue et complétée est parue en 1989].
- Mangen, Jean-Marie, G. Colling, J. A. Massard & E. Medernach (1993): Die Orchideen Luxemburgs. - Luxembourg, Musée national d'Histoire naturelle et Société des Naturalistes luxembourgeois, 143 p.
- Massard, Jos. A. (1986): Wölfe in Luxemburg. - in Lëtzeburger Almanach 1987: 353-374.
- Massard, Jos. A. (1990): La Société des Naturalistes Luxembourgeois du point de vue historique. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 91: 5-214.
- Massard, Jos. A. & G. Geimer (1983): Initiation à l'écologie. L'environnement au Luxembourg. Cours d'écologie. Classe de IIIe C. - Luxembourg, Ministère de l'Education, 207 p.
- Massard, Jos. A. & G. Geimer (1985): La région d'Echternach. Géologie et écosystèmes forestiers. - Echternach, Lycée Classique d'Echternach, 24 p.
- Massard, Jos. A. & G. Geimer (1987): Note sur la présence de l'Hydrozoaire *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) dans la Moselle allemande et luxembourgeoise. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 87: 75-83.
- Massard, Jos. A. & G. Geimer (1992): Découverte de *Gammarus tigrinus* Sexton, 1939 dans la Moselle frontalière entre le Luxembourg et l'Allemagne (Crustacea: Amphipoda). - Bull. Soc. Nat. luxemb., 93: 195-198.
- Massard, Jos. A. & P. Hansen (1989): Eist Waasser. Informationsschrift zu dem Thema Trinkwasserversorgung, Abwasserbehandlung und Gewässerschutz in Luxemburg. 1ère + 2e éd. - Luxembourg, Admin. de l'Environnement, 53 p. (3e éd. en 1991, 54 p.).
- Massard, Jos. A. & P. Kintziger (1992): Rapport d'expertise concernant l'introduction du Mouflon (*Ovis ammon musimon*) dans le milieu naturel luxembourgeois. - Rapport pour le tribunal de paix de Diekirch, 18+2 p. (non publié).
- May-Rehlinger, Myriam et al. (1988): Flechten. Bioindikatoren der Luftverschmutzung. Ein Unterrichtsprojekt. - Luxembourg, S.I.R.P. & Ökologie- u. Jugendzentrum Hollenfels, 76 p.
- Meisch, Claude (1978): Nachweis der Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis*). - in Jeunes et Environnement: Baggerweieren Remerschen/Wëntreng. Luxembourg: 40.
- Melchior, Edouard, E. Mentgen, R. Peltzer, R. Schmitt & J. Weiss (1987): Atlas der Brutvögel Luxemburgs. Atlas des Oiseaux nicheurs du Grand-Duché de Luxembourg. Atlas of Breeding Birds in Luxembourg. - Luxembourg, Lëtzeburger Natur- a Vulleschützliga, 336 p.
- Melchior, Edouard & J. Weiss (1989): Die Entwicklung der Luxemburger Brutvogelfauna in den letzten 150 Jahren. 1839-1989. - Regulus, 1989 (4): 108-114.
- Mersch, Jacques, A. Jeanjean, H. Spor, J. C. Pihan (1992): The freshwater mussel *Dreissena polymorpha* as a bioindicator for trace metals, organochlorines and radionuclides. - Limnologie aktuell, 4: 227-244.
- Metz, Jean-Paul (1986): Der schnelle Wandel von Mittel- und Untersauer vom Weißfischgewässer zum Salmonidenfluß. - Fëscher a Jéer, 1986 (6): 14-15.
- Meyer, Marc (1988): Provisorische Rote Liste der Heuschrecken Luxemburgs (Orthoptera, Saltatoria). - Päiperlék, 10 (2): 75-78.
- Meyer, Marc & A. Pelles (1981): Atlas provisoire des Insectes du Grand-Duché de Luxembourg. Lepidoptera, 1ère partie. - Trav. sci. Mus. Hist. nat. Luxemb.: 1-147.
- Meyer, Marc & A. Pelles (1981): Rote Liste der Schmetterlinge Luxemburgs. - Bull. Soc. Nat. luxemb.,

- 83-84 (1978-1979): 41-52.
- Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et des Eaux et Forêts (1981): Débats parlementaires sur le projet de budget 1982. Vol. 2: Rapport sur la politique forestière et l'environnement naturel. - Luxembourg, 82 p.
- Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et des Eaux et Forêts (1982): Débats parlementaires sur le projet de budget 1983. Vol. 2: Rapport sur la politique forestière et l'environnement naturel. - Luxembourg, 52 p.
- Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et des Eaux et Forêts (1983): Débats parlementaires sur le projet de budget 1984. Vol. 2: La forêt luxembourgeoise, etc. Luxembourg, 36 p.
- Ministère de l'Education Nationale (éd.) (1971): Atlas du Luxembourg. - Luxembourg, n.p.
- Ministère de l'Education, Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'Environnement & NATURA (éd.) (1980): Education et environnement. - Luxembourg, 1980, n.p.
- Ministère de l'Environnement (1979): Exposé budgétaire de Monsieur le Ministre. - Luxembourg, 85 p.
- Ministère de l'Environnement (1981): Exposé budgétaire de Monsieur le Ministre. - Luxembourg, 193 p.
- Ministère de l'Environnement (1982): Exposé budgétaire de Monsieur le Ministre. - Luxembourg, 175 p.
- Ministère de l'Environnement (1983): Exposé budgétaire de Monsieur le Ministre. - Luxembourg, 134 p.
- Ministère de l'Environnement (1984): Exposé budgétaire de Monsieur le Ministre. - Luxembourg, 213 p.
- Ministère de l'Environnement (1986): Rapport d'activité 1985. - Luxembourg, 132 p.
- Ministère de l'Environnement (1987): Rapport d'activité 1986. - Luxembourg, 141 p.
- Ministère de l'Environnement (1988): Rapport d'activité 1987. - Luxembourg, 149 p.
- Ministère de l'Environnement (1989): Rapport d'activité 1988. - Luxembourg, 158 p.
- Ministère de l'Environnement (1990): Rapport d'activité 1989. - Luxembourg, 221 p.
- Ministère de l'Environnement (1991): Rapport d'activité 1990. - Luxembourg, 214 p.
- Ministère de l'Environnement (1992): Rapport d'activité 1991. - Luxembourg, 201 p.
- Ministère de l'Environnement (1993): Rapport d'activité 1992. - Luxembourg, 216 p.
- Ministère de l'Environnement (1993): Ozon in der Stratosphäre und auf der Erde. - Luxembourg, 24 p.
- Ministère de l'Environnement (s.d.): Le Bruit. - Luxembourg, n.p.
- Ministère de l'Environnement (s.d.): La pollution de l'air due aux installations de chauffage. - Luxembourg, 26 p.
- Ministère de l'Environnement (s.d.): Maach-mat-Aktioun "d'Superdrecks-këscht". - Luxembourg, n.p.
- Ministère de l'Environnement (s.d.): Maach-mat-Aktioun "d'Superfreonskëscht". - Luxembourg, n.p.
- Ministère de l'Intérieur (1973): Plan sectoriel concernant la protection de l'environnement naturel. - Luxembourg, 32 p.
- Ministère de l'Intérieur (1979): Naturschutz und Naturschutzgesetzgebung. - Luxembourg, 46 p.
- Ministère de la Santé (1986): Les conséquences radiologiques de l'accident nucléaire de Tchernobyl au Luxembourg. - Luxembourg, 74 p.
- Ministère des Finances (1975): Programme directeur de l'aménagement du territoire. Avant-projet. Tome 1. Cadre général. - Luxembourg: 1-285.
- Ministère des Finances (1976): Programme directeur de l'aménagement du territoire. Avant-projet. Tome 2. Développement spatial (1ère partie). - Luxembourg: 286-575.
- Ministère des Finances (1976): Programme directeur de l'aménagement du territoire. Avant-projet. Tome 3. Développement spatial (2e partie). - Luxembourg: 576-927.
- Ministère des Finances (1978): Programme directeur de l'aménagement du territoire. - Luxembourg, 361 p.
- Modert, Paul (1975): Vom Weinbau an unserer Mosel, der Weinsteuern sowie dem Weinabsatz. 1. Teil. - Luxembourg, 47 p.
- Modert, Paul (1979): Fischzucht im Großherzogtum Luxemburg während der letzten hundert Jahre (Schluß). - Letzeburger Bauere-Kalenner, 31: 45-51.
- Modert, Paul (1981): Die Entwicklung der Waldschweinemast. Materialien Bd. 1. - Inst. g.-d., Sect. linguist., 208 p. (= Materialien, 1).
- Modert, Paul (1982): Von der Nadelholz-Kultur im Luxemburger Land. - Letzeburger Bauere-Kalenner, 34: 143-153.
- Molitor, Jos & J.M. Gehring (1984): Milieu naturel. - in P. Margue et al.: Luxembourg. - Le Puy, Christine Bonneton: 218-284, 381-384 (bibliographie).
- Molitor, Léon & J. Barthel (1957): Etude sur la pollution de l'atmosphère au Grand-Duché de Luxembourg. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 24: 173-187.
- Molitor, Madeleine (1976): Analyse hydrobiologique des cours d'eau du Grand-Duché de Luxembourg. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 79 (1974): 53-78.
- Molitor, Madeleine, R. Schauls & G. Zangerlé (1985): Ons Fësch an hierer Liewensraum. - Luxembourg: 1-65, annexe 1-20.
- Morbach, Johann (1939): Vögel der Heimat. Band 1. - Esch/Alzette, 292 p.
- Morbach, Johann (1940): Vögel der Heimat. Band 2. - Esch/Alzette, 248 p.
- Morbach, Johann (1943): Vögel der Heimat. Band 3. - Esch/Alzette, 304 p.
- Morbach, Johann (1962): Vögel der Heimat. Band 4. - Esch/Alzette, 228 p.
- Morbach, Johann (1963): Vögel der Heimat. Band 5. - Esch/Alzette, 207 p.
- Mouvement écologique (1987): Manner Offfall, méi recycléieren. - Luxembourg, 48 p.
- Mouvet, C. (1988): Contamination des cours d'eau du Grand-Duché de Luxembourg par les micropolluants métalliques et organochlorés. Etude par la méthode des mousses aquatiques. - Laboratoire d'Ecologie, Université de Metz; Administration luxembourgeoise de l'Environnement, division des déchets, 99 p.
- Muller, François (1975): Plan sectoriel concernant la protection de l'environnement naturel. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 77 (1972): 3-14.
- Musée d'Histoire naturelle, Service éducatif (1983): Déieren am Bësch I. - Lëtzebuerg, 39 p.
- Musée d'Histoire naturelle, Service éducatif (1984): Lebensraum Hecke. - Luxembourg, 64 p.
- Musée d'Histoire naturelle, Service éducatif (1985): Déieren am Bësch II. - Lëtzebuerg, 36 p. + annexes.
- Musée d'Histoire naturelle (1987): Loosst d'Päiperlécke liewen. - Ministère de l'Environnement, Luxembourg, n.p.
- Musée d'Histoire naturelle (1989): Vu Fräschen a Mouken. - Luxembourg, n.p. (13 p.).
- Musée National d'Histoire naturelle (1992): Fledermäuse. Hinweise zum Artenschutz in Luxemburg. - Luxembourg, 31 p.
- Musée National d'Histoire naturelle (s.d.): Pass op an der Natur! - Luxembourg, n.p.
- Musée National d'Histoire naturelle (s.d.): Op der roudler Lëscht. 1. Serie. - Luxembourg, n.p.
- Natura (1975): In Luxemburg geschützte Tiere. Säugetiere, Amphibien und Reptilien, wirbellose Tiere. - Luxembourg, 63 p.
- Niethammer, G. (1963): Die Einbürgerung von Säugetieren und Vögeln in Europa. Ergebnisse und Aussichten. - Hamburg, Vlg. P. Parey, 319 p.
- Oken, L. (1845): Ueber Ausons Fische in der Mosel. - Isis, 1845 (1): 5-44.
- Oeko-Bureau (1987): Bevor uns die Luft ausgeht. - Luxembourg, Ministère de l'Environnement, 11 p.
- Oeko-Bureau (1991): Naturlehrpfad Ellergon. - Luxembourg, Administration des Eaux et Forêts, 8 p.
- Oeko-Fonds (1990): Naturpark Uewersauer. - de Kéi-

- sécker 6/1990: 1- 57.
- Oeko-Service-Luxemburg (1991): Viel Müll und ein Programm. - Luxemburg, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 32 p.
- Pelz, G.R. (1991): Lebensraum und Fischfauna der Grenzgewässer Mosel, Sauer, Our. - Köln, Advanced Biology Verlagsges., 276 S.
- Philippart, J. et al. (1990): Le programme de réintroduction du Saumon atlantique *Salmo salar* (L.) dans le bassin belge de la Meuse. - in Ruralité-Environnement-Développement: Mesures de protection de la faune. UGET 3. Attart (Belgique): 20-35.
- Rasqué-Besch, D. (1978): Les biocides dans le barrage d'Esch-sur-Sûre. Comparaison avec quelques barrages allemands. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 81 (1976): 95-99.
- Reichling, Léopold (1954): L'élément atlantique dans la végétation de la vallée inférieure de l'Ernz Noire. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 21: 99-114.
- Reichling, Léopold (1966): Séance du 23 novembre 1964. (Exposé sur la découverte de *Hymenophyllum tunbrigense*). - Bull. Soc. Nat. luxemb. 69 (1964): 144-145.
- Reichling, Léopold (1974): In Luxemburg geschützte Pflanzen. - Luxemburg, NATURA, 23 p.
- Reichling, Léopold (1993): Botanische Kostbarkeiten im Raume Befort. - in Beaufort, Bd. 2. Luxemburg: 333-342.
- Rompae, E. van & L. Delvosalle (1979): Atlas de la flore belge et luxembourgeoise. Ptéridophytes et Spermatophytes. 2e édition. - Meise, Jardin botanique national de Belgique, n.p.
- Schäfer, Michael (1844): Moselfauna. 1. Theil: Wirbeltiere: Säugethiere, Vögel, Reptilien und Fische. Trier.
- Schank, Marco & A. Van Westerop (s.d.) «Emweltschutz doheem». Bd. 1. - Luxemburg, Oekofonds, 155 p.
- Schiltz, Fernand (1991): Das Naturschutzgebiet «Arnecht» bei Niederaanven. - de Kéisécker, 3/91: 15.
- Schmidt, Gérard (1992): Le lac d'Echternach. Etude du milieu et proposition de gestion. Rapport 91/92. - Luxembourg, Oeko-Fonds [rapport non publié].
- Schmidt, Gérard & S. Adam (1992): La loutre, symbole d'eau pure et de rivière naturelle. - de Kéisécker, 1/92: 31-34.
- Schmit, G. & Wiese, B. (1981): Le Luxembourg en cartes et photos aériennes. - Luxembourg, 169 p.
- Schmit, Raymond (1985): Der Vogel mit der Nummer H-30566. - Luxemburger Marienkalender, 105 (1986): 162-171.
- Schmithüsen, Josef (1940): Das Luxemburger Land. - Leipzig, G. Hirzel, 431 p. (= Forschungen zur Deutschen Landeskunde, 34).
- Schmitt, René (1964): Die Vögel des Luxemburger Stadtparks heute und früher. - Luxembourg, 40 p.
- Schmitt, René (1980): Un recensement des effectifs de la Buse variable (*Buteo buteo*) dans les alentours de la ville de Luxembourg en 1969. - Bull. Soc. Nat. luxemb., 82 (1977): 29.
- Schmitz, Jean-Pierre (1982): Erste sichere Uhubrut seit 1904 in Luxemburg. - Regulus, 1982 (4): 200-201.
- Schweitzer, H.-J. (1982): Der Hautfarn, Berdorfs botanisches Kleinod. - in Livre d'Or Berdorf 1982: 187-189.
- Schwenninger, Jean-Luc (1989): Pollen analysis and community structure of Holocene forests: a regional palynological study of the Middle and Upper Postglacial from semi-subhydric alder carr sediments at Berdorf (Luxembourg). - Bull. Soc. Nat. luxemb., 89: 157-196.
- Sinner, Jean-Marie (1991): Naturwaldreservate, eine vordringliche Herausforderung für den Naturschutz in Luxemburg. - de Kéisécker, 3/91: 16-19.
- Spautz, Roger (1982): Bebrillte Koblode in unseren Wäldern. - Revue 1982 (43): 46-50.
- Sprunck, Alphonse (1958): Decimus Magnus Ausonius und seine Moseldichtung. - in La Moselle, son passé, son avenir. Luxembourg: 127-133.
- Stater (1987-1993): Annuaire statistique. - Service Central de la Statistique et des Etudes Economiques, Luxembourg.
- Stomp, Norbert (1969): *Sminthurinus concolor* (Meinert, 1896) au Grand-Duché de Luxembourg (Insecta, Colémbola). - Bull. Soc. Nat. luxemb., 70 (1965): 175-184.
- Stumper, Robert & A. Willems (1947): La pluie de boue du 29 mars 1947. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS17: 105-106.
- Ternes, Charles-Marie (éd.) (1972): D. Magnus Ausonius: Mosella. Edition, introduction et commentaire de Charles-Marie Ternes. - Paris, PUF, 103 p.
- Ternes, Charles-Marie (1983a): Catervae fluitantes: Muselfesch. - Die Warte, 36 (5/1312): 2.
- Ternes, Charles-Marie (1983b): Ausonii pisces. Eng Baakescht Muselfesch. - Die Warte, 36 (9/1316): 2.
- Ternes, Charles-Marie (1983c): Etudes ausoniennes (1-10). Ausone historien (1-7). - Luxembourg, Centre Alexandre-Wiltheim, 55 p.
- Theves, Georges (1988): Wassermoose, beste Kronzeugen für Umweltdetektive. - Féscher a Jéer, 1988 (4): 36.
- Theves, Georges (1988): Grüne Klärsysteme, Retter in der Not? - Féscher a Jéer, 1988 (6): 24.
- Thiry, Roland & P. Jungers (1992): Zur Siedlungsdichte der Elster (*Pica pica*) im Süden Luxemburgs. - Regulus, Wissenschaftliche Berichte, 11: 18-20.
- Thurm, Nicolas (1949): Sur la dispersion du Gui dans le Grand-Duché de Luxembourg. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 18 (1948-1949): 71-78.
- Turmes, Claude (1992): Luftverschmutzung: Dicke Luft in Stadt Luxemburg und deren Randgemeinden. - de Kéisécker, 2/92: 20-23.
- Veit, Manfred (1979): Luxembourg. - Heroldsberg, Glock u. Lutz, 336 p. (= Bibliothek Kultur der Nationen, 36).
- W., Th. (1981): Der Lachs, sein Fang in Sauer und Our. - Heimatkalender 1982 Landkr. Bitburg-Prüm: 76-78.
- Wagner-Schaber, E. (1987): Répartition et écologie des Macrolichens épiphytiques dans le Grand-Duché de Luxembourg. - Trav. sci. Mus. Hist. nat. Luxemb., 8: 1-169.
- Weber, Paul (1981): La protection de l'environnement au Grand-Duché de Luxembourg. - Service Inform. Presse Luxemb., Bull. Doc., No spéc., août 1981: 9-16.
- Weinachter, Pierre (1937): Poissons migrateurs. - Chasse et Pêche, 11 (3): 12-14. (4): 16-17. (5): 15-16. (6): 15-16.
- Weiss, Jean (1976): Rote Liste der Brutvögel Luxemburgs (Stand 1975). - Regulus, 12 (2): 32-34.
- Weiss, Jean (1982): Kann unser Niederwild noch überleben? - Luxemburger Wort 1982 (11. Dez.): 13.
- Weiss, Jean (1992a): Wenn die Natur rote Zahlen schreibt: Vögel der Roten Liste. - Regulus, 3/92: 75-77.
- Weiss, Jean (1992b): Rote Liste der Brutvögel Luxemburgs. - Regulus, Wiss. Ber., 10: 23-29.
- Wennig, Robert (1974): Evaluation de résidus de pesticides organohalogénés persistants contenus dans les tissus adipeux. - Rapport CEE du Congrès Européen du 14-16.5.74 à Luxembourg. Luxembourg.
- Wennig, Robert (1975): Über den Gehalt von persistenten Organochlorverbindungen im Menschen. - Luxembourg, Inst. Hyg. et de Santé publ., (dactyl.).
- Werner, Jean (1987): Liste rouge des Bryophytes du Grand-Duché de Luxembourg. - Trav. sci. Mus. Hist. nat. Luxemb., 11: 1-42.
- Werner, Jean (1993): Bedeutende Moosstandorte in der Gemeinde Befort. - in Beaufort, Bd. 2. Luxemburg: 343-347.
- Werveke, Nicolas van (1923-1926): Kulturgeschichte des Luxemburger Landes. - Luxembourg, 3 Bd. [réédition, 1983].
- Wolff-Lux, Lydie (1982): Fledermäuse in ihrer Umwelt. - Emwelterzéiong an der Schoul, 2: 1-53, Luxembourg.
- Zangerlé, Gilbert (1982): Les Poissons des eaux courantes du Grand-Duché de Luxembourg. - Archs Inst. g.-d. Luxemb., Sect. Sci., NS 39 (1979-1980): 55-70.
- Zens, Georges (1992): Kompostwoche in Düdelingen: Initiativen gegen den Hausmüll. - Revue 1992 (4): 36-37.

## 7. Index

## Index botanique et zoologique

- Ablette 59, 185  
 Acariens 48, 82, 83  
*Acipenser sturio* (voir: Esturgeon)  
 Aconit tue-loup 64, 272  
 Aconits 63s  
*Aconitum vulparia* (voir: Aconit tue-loup)  
 Actinie 65  
*Adoxa moschatellina* (voir: Moscatelline)  
*Aeschna* 176  
 Agêlène 58  
 Aigle 107  
*Alburnoides bipunctatus* (voir: Spirilin)  
 Algues 48, 63, 103, 155  
 Algues vertes 92, 113  
*Alligator mississippiensis* 103  
*Amelanchier ovalis* 272  
 Amibe 38  
 Amphibiens 133, 155, 270, 274  
 Ancolie vulgaire 272  
 Anémone des bois 28, 31, 157  
 Anémone fausserenoncule 273  
*Anemone pulsatilla* 21, 272  
*Anemone ranunculoides* (voir: Anémone fausse renoncule)  
*Anguilla anguilla* (voir: Anguille)  
 Anguille 14, 121, 185  
 Annélides 48  
 Anodonte 179  
 Aoûtât 50  
*Apodemus flavicollis* (voir: Mulot à collier fauve)  
*Aquilegia vulgaris* (voir: Ancolie vulgaire)  
 Arachnides 155  
 Araignée-loup 50, 58  
 Araignées 58, 95  
*Arachnia levana* (voir: Carte-géographique)  
*Ardea cinerea* (voir: Héron)  
 Argiope 58  
*Armillariella mellea* (Armillaire couleur de miel) 273  
 Arnica des montagnes (*Arnica montana*) 45, 46, 272  
*Aromia moschata* (voir: Capricorne musqué)  
 Arthropodes 48  
*Arum maculatum* (voir: Gouet tacheté)  
 Aselle 231, 232  
 Asperges 29  
*Aspergillus* 52  
*Asplenium scolopendrium* (voir: Langue de cerf)  
*Asplenium viride* 272  
*Astacus astacus* (voir: Écrevisse de rivière)  
*Astacus torrentium* (voir: Écrevisse des torrents)  
*Atelura* (voir: Lépisme des Fourmis)  
 Aulnaie 164  
 Aulne (Aune) 164, 167  
 Aurochs 127  
 Autour 118, 126  
 Avoine 30  
  
 Bactéries 48, 52, 65, 97, 155, 179, 181, 231, 232  
 Bactéries dénitrifiantes 204  
*Baëtis* 176, 232  
 Balbuzard fluviatile 136  
  
 Baleine 110  
 Baleine bleue 110  
 Barbeau 183, 184, 185  
 Batraciens (voir: Amphibiens) 133, 155  
*Belba* 50  
 Belette 70, 129, 133, 156  
 Belle-Dame 14  
 Bergzikade (voir: Cicadette des montagnes)  
 Bernard-l'Érmitte 65  
 Bison européen 127  
 Blaireau 25, 156, 270  
 Blé 30, 56, 115  
*Blechnum spicant* 272  
 Boeuf 67  
 Bolet à chair jaune 66, 273  
 Bolet élégant 66  
 Bolet scabre 66  
*Boletus edulis* (voir: Cèpe de Bordeaux)  
*Boletus elegans* (voir: Bolet élégant)  
*Boletus scaber* (voir: Bolet scabre)  
 Bombyx à livrée 271  
 Bombyx du Pin 145  
*Botrychium lunaria* 272  
 Bouleau 66, 159, 164, 167  
 Bourdons 63, 64  
 Bourse-à-pasteur 31  
 Bousier 93  
 Bouvière 270  
 Braconides 83  
 Brème 183, 184, 185  
*Brevicoryne brassicae* (voir: Pou du chou)  
 Brochet 59, 92, 185, 186  
 Bruyère 22, 45  
 Bryophytes (voir: Mousses)  
*Bryoria* 272  
 Bryozoaires 176  
 Buchsbaum (voir: Buis)  
 Bufonides 270,  
 Buis 21, 22, 169, 272  
*Bupalus piniarius* (voir: Fidonie du Pin) 74  
 Buprestidae 270  
 Buse variable 69, 70  
*Butomus umbellatus* (voir: Jonc fleuri)  
*Buxus sempervirens* (voir: Buis)  
  
 Cactée 37  
*Calliactis parasitica* 65  
 Calosome 270  
*Cambarus affinis* (voir: Écrevisse américaine)  
 Campagnol 70, 92, 95, 133, 155  
 Campagnol agreste 94  
 Campagnol des champs 79, 80  
 Campagnol roussâtre 94  
*Campodea* 51  
 Canard sauvage 57  
 Canard souchet 57  
 Canne à sucre 139  
 Canneton 59  
*Cantharellus cibarius* (voir: Chanterelle)  
 Capricorne musqué 270  
 Carabe 51, 83, 270  
*Carex* 177, 178  
 Carnivores (Mammifères) 129  
 Carpe 186  
 Carpino-Prunetum 152  
  
 Carte-géographique 35, 36  
 Castor 120, 127, 130  
*Catocala* 271  
 Céleri 29  
*Centaurea montana* (Centaurée des montagnes) 273  
 Cèpe de Bordeaux 67, 273  
 Cephalanthero-Fagetum 152  
 Céphalanthère rouge (*Cephalanthera rubra*) 46  
 Cératophylle 178  
 Céréales 111  
 Cerf 34, 129, 130, 140  
 Cerisier 18  
 Cétoine dorée (*Cetonia*) 270  
 Chabot 185, 270  
 Chalcographe 213  
 Champignons 52, 56, 60, 155, 273, 274  
 Chanterelle 273  
 Charme 164, 167  
 Chat 76  
 Chat sauvage 128, 133, 270  
 Chauves-souris 25, 34, 138, 270  
 Chênaie 95, 157, 164, 171  
 Chênaie xéro-thermophile 169  
 Chênaie-charmaie 44, 58, 169  
 Chênaie-hêtraie 44  
 Chêne 61, 62, 95, 152, 157, 164, 170  
 Chêne d'Amérique 167  
 Chêne pédonculé 167, 169  
 Chêne pubescent 169  
 Chêne rouvre 167  
 Chêne sessile 93, 169  
 Chevaie 185  
 Cheval 67  
 Chevreuil 129, 130, 256  
 Chicorée 29  
 Chironome 179, 231, 232  
 Chiroptères (voir: Chauves-souris)  
*Chlorella* 113  
 Chrysanthèmes 31  
 Cicadette de montagne (*Cicadetta montana*) 21, 270  
 Cigogne blanche 4  
 Ciliés 81  
 Cincle plongeur 58  
 Cistudes 270  
*Cladina* 272  
*Cladonia* 272  
 Clausilie (*Clausilia*) 50  
 Cloportes 51  
*Clostridium* 52  
*Cobitis taenia* (voir: Loche de rivière)  
 Coccinelles 270  
 Coléoptères 31, 73, 77, 78, 270,  
 Colibris 13  
 Collemboles 48, 51, 83, 149  
*Cololejeunia microscopica* 149  
 Conifères 45, 214  
*Convallaria majalis* (voir: Muguet)  
*Coprinus comatus* (Coprin chevelu) 273  
 Coquelicot 22  
*Cordylophora caspia* 244  
 Corydale (*Corydalis solida*) 58  
*Cottus gobio* (voir: Chabot)  
 Couleuvre lisse 26  
 Crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) 144  
*Cradeonycteris thonglongyai* 13  
  
*Crenobia* (= *Planaria*) *alpina* 15, 57  
*Cricetus cricetus* (voir: Hamster)  
 Criquet migrateur 78, 79  
 Crocus 22  
 Crustacés 33, 180, 184, 270,  
 Cyanophycées 52  
 Cyclamen 22  
 Cygne tuberculé 57  
 Cynips 61  
 Cypéracées 164  
 Cyprinidés 183  
*Cytophaga* 52  
  
 Dahlia 31  
 Daim 129  
*Daphne mezereum* (voir: Joli bois)  
 Daphnie 92, 179  
*Didinium nasutum* 81  
 Digitale 45  
 Digitale à grandes fleurs (*Digitalis grandiflora*) 46, 272  
 Digitale jaune (*Digitalis lutea*) 272  
 Dinosauriens 209  
 Diploures 51  
 Diptères 51  
 Discoglossidés 270  
 Doryphore 11, 83, 142s  
 Douglassie (Douglas vert) 167, 170  
*Drosera rotundifolia* (voir: Rosolis)  
 Drosselrohrsänger (Crocophalus arundinaceus) 21  
*Dugesia* (= *Planaria*) *gonocophala* 15, 57, 231, 232  
 Dytique 176  
  
 Écaille blanche 271  
 Écaille jaune 271  
 Écaille rousse 271  
*Ecdyonurus* 231, 232  
*Echiniscus* 50  
 Écrevisse américaine 55  
 Écrevisse de rivière 55, 270  
 Écrevisse des torrents 270  
 Écrevisses 176, 186, 233  
*Ectobius* 51  
*Ectyonurus* 176  
 Écureuil 25, 26  
 Effraie 59, 80, 118  
 Élan 127  
 Éléphant d'Afrique 12  
 Éléphant d'Asie 12  
*Eliomys quercinus* (voir: Léroty)  
 Élodée du Canada 175, 178  
 Enchytréidés 48, 50  
*Eosentomon* 51  
 Épeire diadème 58  
 Épervier 118  
 Épervière piloselle 55, 56  
*Ephesia fulminea* 271  
 Ephémères 176, 177, 182, 231, 232  
 Ephéméroptères 270,  
 Épicéa 22, 61, 126, 145, 157, 159, 165, 167, 170, 171, 211, 214  
 Épinard 30  
*Eptesicus serotinus* 34  
*Equisetum sylvaticum* 272  
*Equisetum telmateia* 272  
 Érable 169

- Érable champêtre 167  
 Érable plane 167  
 Érable sycamore 167  
 Érablière de ravin (forêt de ravin) 169, 269  
*Erinaceus europaeus* (voir: Hérisson)  
*Eriocheir sinensis* (voir: Crabe chinois)  
 Éristale 177, 231, 232  
 Érythrées 272  
 Escargot 47, 133, 156, 271  
 Escargot de Bourgogne 271  
 Esturgeon 188  
 Étoile de mer 38  
 Étourneau 35, 270  
*Euglypha* 50  
*Euphorbia cyparissias* 60, 61
- Fabacées (Papilionacées) 65  
*Fagus orientalis* 16  
*Fagus sylvatica* (voir: Hêtre)  
 Faisan 82, 129, 130  
 Fannie 51  
 Faucon pèlerin 118, 128, 136  
*Felis sylvestris* (voir: Chat sauvage)  
 Fennec 13  
 Fidonie du Pin 74, 75  
 Ficaire (*Ficaria verna*) 58  
*Fomes fomentarius* (voir: Polypore amadouvier)  
 Forficule 51  
*Formica* (voir: Fourmi)  
 Fougère-aigle 45  
 Fougères 155, 272,  
 Fouine 129, 156  
 Fourmi rousse 270  
 Fourmi 51, 63, 156  
 Fourmilion 270  
 Frêne 167  
 Fuligule milouin 57
- Gagea* 273  
 Gammare 33  
*Gammarus pulex* 231, 232  
*Gammarus tigrinus* 244  
 Gardon 59, 92, 185, 186, 258  
 Gastéropodes 50, 155, 184  
 Geai 32  
 Genêt 45  
 Génévrier commun 272  
 Gentiane 272  
 Géophile 51  
*Geranium sanguineum* 273  
 Gerris 176  
*Glis glis* (voir: Loir gris)  
*Glomeris* 51  
 Gobe-mouche 58  
 Goéland argenté 70  
 Gouet tacheté 58, 63, 64  
 Goujon 185  
 Graminées 92, 164  
 Grand corbeau 137  
 Grenouille 38, 59, 176  
 Grenouille verte 177  
 Grive 62  
 Gui 62
- Hamster 26, 70, 270  
 Hanneton 93  
 Hanneton foulon 270  
 Hareng 110  
 Haricot 30  
 Harle huppé 57  
*Helix aspersa* (voir: Petit-Gris)  
*Helix pomatia* (voir: Escargot de Bourgogne)  
*Helleborus* (Hellébore) 272  
 Hépatique 149  
 Herbe aux femmes battues (voir: Tamier)  
 Hérisson 25, 26, 156, 270  
 Hermine 25, 70, 92, 156  
 Héron 75  
*Herpobdella* 231, 232  
*Heterocladium wulfsbergii* 149
- Hêtraie 68, 104, 152, 155, 157, 158, 160, 164, 169, 171  
 Hêtraie submontagnarde 17, 169  
 Hêtraie submontagnarde de l'Oesling 16  
 Hêtre 16, 22, 29, 60, 61, 67, 152, 157, 159, 162, 164, 167, 170, 171  
 Hibou 92  
 Hibou grand-duc 135  
*Hieracium pilosella* (voir: Epervière piloselle)  
 Hirondelle de cheminées (*Hirundo rustica*) 24  
 Homme 31, 109, 120  
 Hotu 185  
 Houx 16, 22, 272  
 Hulotte 94  
 Hydre 176  
 Hydrophile (Coléoptère) 270  
 Hydropsyche 231, 232  
*Hydrous* (voir: Hydrophile)  
 Hylidés 270,  
 Hyménoptères 270  
*Hymenophyllum tunbri(d)-gense* 148, 272
- Ichneumon* 126  
*Ilex aquifolium* (voir: Houx)  
 Insectes 38, 47, 48, 63, 78, 133, 155, 156, 176, 177, 270,  
 Invertébré 35  
 Iris jaune (*Iris pseudacorus*) 273  
 Isopodes 155  
 Iule 50
- Jacinthe 22  
 Jasionne des montagnes (*Jasione montana*) 273  
 Joli bois 272  
 Jonc 177  
 Jonc fleuri 273  
 Jonquille 272  
 Joubarbe des toits 37, 272  
*Juglans* (voir: Noyer)  
*Juniperus communis* (voir: Génévrier commun)
- Kermes abietis* (voir: Puceron)  
 Kreuzdorn (*Rhamnus*) 21  
 Krill 110  
 Kröte, Grüne (*Bufo viridis*) 21
- Lactarius deliciosus* (Lactaire délicieux) 273  
*Lampetra fluviatilis* (voir: Lamproie fluviatile) 14  
*Lampetra planeri* (voir: Petite Lamproie) 270  
*Langermannia gigantea* (voir: Vesse de loup géante)  
 Langue de cerf 272  
 Lapin 67, 70, 73, 76, 94, 130, 139  
 Lapin sauvage 75, 129  
 Lasiocampidés 271  
 Lemming des toundras 78  
 Lentilles d'eau 177  
 Lépidoptères (voir: Papillons)  
 Lépiote élevée 273  
 Lépisme des Fourmis 63  
*Lepomis* 103  
*Leptinotarsa decemlineata* (voir: Doryphore)  
*Lepus americanus* (voir: Lièvre américain)  
 Lérot 270  
 Levure 73  
 Lézard 78, 270  
 Libellules 176, 270,  
 Lichens 63, 65, 66, 155, 201, 202, 272, 274  
 Lièvre 82, 129, 130, 133  
 Lièvre américain 81  
 Lilas 18
- Limace (*Limax*) 50, 156  
 Limnée 176  
 Limnée, Petite 231, 232  
*Limnophilus* 231, 232  
 Lithobie (*Lithobius*) 51  
 Loche d'étang 270  
 Loche de rivière 270  
 Loche franche 185, 270  
*Locusta migratoria* (voir: Criquet migrateur)  
 Loir 156  
 Loir gris 25, 270  
 Lombric 47, 93, 95 (voir aussi: Ver de terre)  
 Loup 68, 128, 131ss  
 Loup-cervier 131  
 Loutre 121, 128, 134, 270  
 Lucanidés 270  
 Lumbricidés 48  
*Lumbricus terrestris* (voir: Ver de terre)  
*Lunaria rediviva* (Lunaire vivace) 272  
*Lutra lutra* (voir: Loutre)  
 Luzerne 65  
 Lynx 70, 128, 131  
 Lynx du Canada (*Lynx canadensis*) 81
- Machilis 51  
*Macrolepiota procera* (voir: Lépiote élevée)  
 Mais 115  
*Malacosoma neustria* (voir: Bombyx à livrée)  
 Mammifères 31, 34, 38, 156, 271  
 Mammouth 12  
 Manchot des Galapagos 13  
 Manchot du Cap 13  
 Manchot impérial 13  
 Mangouste 139  
 Mante religieuse (*Mantis religiosa*) 270  
 Marmotte 25, 26  
 Marmotte des Alpes 25  
 Marronnier 18  
 Marsouin 110  
 Martre 68, 129, 156  
 Massette à feuilles étroites 178, 272  
*Meles meles* (voir: Blaireau)  
 Mêleze 22, 66, 167  
 Méliot blanc (*Melilotus albus*) 55  
*Menyanthes trifoliata* (voir: Trèfle d'eau)  
 Merisier 167  
 Merle 58, 70  
 Mésange 95  
 Mésange bleue 58  
 Mésange charbonnière 58  
 Mésange nonnette 58  
 Mesobrometum 152  
 Microchampignons 48  
 Millet 30  
*Misgurnus fossilis* (voir: Loche d'étang)  
 Mollusques 176, 270,  
 Morpion 61  
 Moscatelline 58  
 Mouflon 129, 140s  
 Moule d'eau douce (*Dreissena polymorpha*) 124  
 Mousses 63, 149, 155, 157, 160, 272, 274, 275  
 Mousses aquatiques 124, 241  
 Mouton 74  
*Mucor* 52  
 Muguet 22, 28, 273  
 Mulot 94  
 Mulot à collier fauve 270  
 Mûrier 59  
 Musaraigne aquatique 94  
 Musaraigne carrellet 94  
 Musaraigne pygmée 94  
 Musaraignes 47, 59, 93, 95,
- 133, 155, 270  
 Muscardin (*Muscardinus avelanarius*) 270  
 Mycétophile 51  
 Myriapodes 155  
*Myrmeleon formicarius* (voir: Fourmilion)  
 Myrtille 22, 45, 47
- Narcissus pseudonarcissus* (voir: Jonquille)  
*Naucrates ductor* (voir: Poisson pilote)  
 Nécropore 93  
 Nématodes 48, 50  
 Nénuphar blanc 177, 178, 273  
 Nénuphar jaune 177, 178, 272  
 Nèpe 176, 177  
 Névroptères 270  
*Nicotiana sylvestris* (voir: Tabac) 30  
 Nid d'oiseau (*Neottia nidus-avis*) 28  
*Niphargus* 33  
*Nitrobacter* 97  
*Nitrosomonas* 97  
 Noctuidés 271  
*Noemacheilus barbatulus* (voir: Loche franche)  
 Noisetier 164  
 Nonne 145  
*Nostoc* 52  
 Noyer 55  
*Nuphar lutea* (voir: Nénuphar jaune)  
*Nymphaea alba* (voir: Nénuphar blanc)
- Odonatoptères (voir: Libellules)  
*Oedipoda migratoria* (voir: *Locusta migratoria*)  
 Oeillet 272  
 Oie cendrée 57  
 Oie des moissons 57  
 Oiseaux 31, 34, 59, 68, 133, 156, 270, 271  
 Oiseaux migrants 24  
 Oiseaux-Mouches 13  
 Oiseaux nicheurs 274, 275  
 Ombre 183, 184, 186  
*Ophioglossum vulgatum* 272  
 Ophrys bourdon (*Ophrys fuciflora*, *O. holosericea*) 4, 46  
 Opilion 50  
*Opuntia* 37  
 Orchidées 4, 28, 45, 46, 66, 169, 272  
 Orge 30  
 Oribatides 50  
 Orme 167, 169  
 Orpheusgrasmücke (*Sylvia hortensis*) 21  
 Orpin brûlant 37  
 Orque 110  
 Orthoptères 270, 274  
 Ortie 22, 36, 46, 58  
 Orvet 270  
*Oryctes nasicornis* (voir: Rhinocéros)  
 Osmonde royale (*Osmunda regalis*) 272  
 Ours blanc 12  
 Ours brun 25, 128, 131  
 Ours malais 12
- Pachytylus migratorius* (voir: *Locusta migratoria*)  
 Pachyure étrusque 13  
 Paons de nuit 271  
 Papilionacées 65  
 Papillons 74, 271, 274  
*Paramacium caudatum* 72  
 Paramécie 72, 81  
 Parisette 22  
 Pâturin annuel 14, 22  
 Pélobatidés 270

- Penicillium* 52  
*Penicillium notatum* 56  
 Perche 92, 120, 185, 258  
 Perdrix 82, 129, 130  
 Perle 232  
 Perliques 182  
 Pervenche 22  
 Petit Fer-à-cheval 138  
 Petit-Gris 270  
*Peucedanum carvifolia* (Peucedan à feuille de carvi) 273  
 Peuplier 22, 62  
*Philodina* 50  
*Phoxinus phoxinus* (voir: Vairon)  
*Phragmatobia fuliginosa* (voir: Ecaïlle rousse)  
 Pic 156  
 Pic épeiche 126  
 Pic noir 57  
 Pie 70  
 Piéride du chou (*Pieris brassicae*) 145  
 Piéride du chou, Grand (*Pieris brassicae*) 271  
 Piéride du chou, Petit (*Pieris rapae*) 271  
 Piéride du colza (*Pieris napi*) 271  
 Pigeon colombin 56, 57  
 Pigeon domestique 270  
 Pigeon ramier 56, 57  
 Pin 22, 157, 159, 164, 170  
 Pin de Weymouth 167  
 Pin sylvestre 66, 165, 167  
 Pinson 68  
 Pipistrelle commune 138  
 Pissenlit 22, 29  
*Planaria alpina* (voir: *Crenobia alpina*)  
*Planaria gonocephala* (voir: *Dugesia gonocephala*)  
 Plane 167  
 Pléocoptères 231, 270  
*Poa annua* (voir: Pâturin annuel) 14  
 Poirier 62  
 Pois 30, 65  
 Poisson pilote 63  
 Poissons 33, 38, 103, 119, 176, 177, 180, 181, 256, 270, 271, 274, 275  
*Polycelis felina* 15  
 Polydesme 50  
*Polyphylla fullo* (voir: Hanne-ton foulon)  
 Polypore amadouvier 61  
*Polystichum lonchitis* 272  
 Pomme de terre 22, 29, 83, 113, 142, 143  
 Pommier 18, 62  
 Porc 62  
 Potamot 178  
 Pou 60, 61  
 Pou du chou 83  
 Poule d'eau 177  
 Prêle (voir: *Equisetum*)  
 Primevère 28  
 Prionetanneur (*Prionus coriarius*) 270  
*Protée* (*Proteus anguinus*) 33  
 Protoures 51  
 Protozoaires 48, 155  
 Prunellier 18  
 Pseudoscorpion 50  
*Pseudotritia* 50  
 Psychodine 64  
 Ptéridophytes (voir: Fougères)  
 Puce 61  
 Puceron 61  
 Punaise 51, 82  
 Putois 129, 156  
  
*Radix ovata* 231, 232  
 Ranatre (*Ranatra linearis*) 176, 177, 270  
 Ranidés 270  
 Rapaces 128, 136, 156  
 Rat 76, 139  
 Rat musqué 120, 139s  
 Raton laveur 141  
 Renard 59, 68, 70, 129, 156  
 Renard d'Europe 13  
 Renard polaire 13  
 Renne 77  
 Renoncule aquatique 175  
 Reptiles 103, 270, 274  
 Rhinocéros (Coléoptère) 270  
*Rhizobium* 52, 65, 97  
*Rhizopertha dominica* 73  
*Rhizopus* 52  
*Rhodeus sericeus* (voir: Bouvière)  
 Robinier faux-acacia 167  
 Rongeur 59, 78, 129, 133  
 Roseau 177, 178  
 Rosier 61  
 Rossolis 59, 60, 272  
 Rotengle 185  
 Rotifères 50, 180  
 Rouge-gorge 69  
 Ruminant 67  
  
 Sagittaire flèche d'eau (*Sagittaria sagittifolia*) 273  
*Sagittaria lorata* 103  
 Salamandre 270  
*Salix cinerea* (voir: Saule cendré)  
*Salmo salar* (voir: Saumon)  
 Salmonidés 183, 184  
 Salsifis des prés 273  
*Salvia pratensis* (voir: Saugue des prés)  
 Sanglier 129, 130, 140  
 Sangsue 184  
 Sanguisorbe (*Sanguisorba officinalis*) 273  
 Sapin 211, 214  
 Sapin des Vosges 165, 167  
 Sarcelle d'hiver 57  
 Sarcopse de la gale 61  
 Sattel(träger)schrecke (*Ephippiger*) 21  
 Saturniidae 271  
 Saugue des prés 273  
 Saule 164, 178  
 Saule cendré 73  
 Saumon 186, 187, 233  
 Sauterelle 92  
 Scarabée 93  
*Scenedesmus* 92, 113  
 Scille à deux feuilles (*Scilla bifolia*) 272  
 Scolyte 126, 213  
 Scorzonère des prés (*Scorzonera humilis*) 273  
*Scutigera* 50  
*Sedum acre* (voir: Orpin brulant)  
 Seigle 30  
*Sempervivum tectorum* (voir: Joubarbe des toits)  
 Sérotine commune 34  
 Serpents 270  
*Sialis* 232  
 Silure glane (*Silurus glanis*) 188  
 Smaragdeidechse (*Lacerta viridis*) 21  
*Sminthurus concolor* 149  
 Soricidae (voir: Musaraignes)  
 Souris 59, 78  
 Spermatophytes 155, 272, 273  
 Spermophile 26  
*Sphaerotilus* 231, 232  
 Sphaignes (*Sphagnum*) 272  
 Spingidae 271  
 Sphinx 271  
*Spilosoma lubricipeda* (voir: Ecaïlle blanche)  
*Spilosoma luteum* (voir: Ecaïlle jaune)  
 Spirlin 185, 271  
 Springfrosch (*Rana dalmanina*) 21  
*Stenophylax* 231, 232  
 Streifenwanze 21  
*Streptomyces* 52  
 Sucepin 28  
*Suillus luteus* (voir: Bolet à chair jaune)  
*Suncus etruscus* (voir: Pachyure étrusque)  
 Sycomore 167  
 Symphytes 50  
 Syrphes 83  
  
 Tabac 30  
*Taenia solium* (voir: Ténia)  
*Talpa europaea* (voir: Taupe)  
 Tamier (*Tamus communis*) 21, 272  
 Tanche 186  
 Tardigrades 50, 155  
 Taupe 33, 47, 59, 94, 270  
 Ténia 60, 62  
 Tenhrède 51  
 Termites 67  
 Thécamibiens 50  
*Thrombicula autumnalis* (voir: Aôttat)  
 Thyssanours 51  
 Tilleul 164, 167, 169  
*Tinca vulgaris* (voir: Tanche)  
 Tipule 51  
 Tournesol 31  
*Tragopogon pratensis orientalis* (voir: Salsifis des prés)  
 Trèfle 65  
 Trèfle d'eau 272  
 Tremble 167  
*Tribolium* 77, 78  
 Trichoptères 184, 231, 232  
 Triticale 112, 122  
 Triton 270  
 Troglodyte 33  
 Truite 183, 184, 186  
 Truite de mer 187  
 Truite de rivière 185  
*Tubifex* 179, 231, 232  
 Tulipe 22  
 Turbellariés 15, 231  
 Tussilage 47  
*Typha angustifolia* (voir: Massette à feuilles étroites)  
 Typographe 145, 213  
  
 Unionidés 270  
*Uromyces pisi* 60  
*Urtica dioica* (voir: Ortie)  
*Usnea* 272  
 Utriculaire (*Utricularia*) 272  
  
 Vache 59  
 Vairon 120, 270  
 Vandoise 185  
*Vanessa cardui* (voir: Belle-Dame)  
 Ver à queue 177  
 Ver à soie 59  
 Ver de terre 38, 50, 54 (voir aussi: Lombric)  
 Ver de vase 176, 231  
 Ver solitaire (voir: Ténia)  
 Vers 155, 184  
 Vertébrés 34, 67, 155  
 Vesse de loup géante 273  
 Violette 31  
 Violette des marais (*Viola palustris*) 273  
 Vison 120, 121  
  
 Weidenlaubsänger = Zilpzalp (*Phylloscopus collybita*) 21  
 Xanthoria parietina 66

## Index géographique

- Aarnesch 263, 266  
 Aechelbur 268  
 Aesbach 166  
 Afrique 24, 79  
 Ahlbach 241, 242  
 Ahn 169, 266  
 Ahrdorf 141  
 Aix 79  
 Alaska 77  
 Algérie 79  
 Allemagne 74, 118, 119, 133, 134, 139, 140, 142, 144, 211 (voir aussi: RFA, RDA)  
 Aller (rivière) 144  
 Alsace 140  
 Altlinster 268  
  
 Alzette (rivière) 183, 186, 187, 227, 233, 239, 241, 242, 265  
 Alzette (vallée) 18, 202  
 Amberknappchen 263, 267  
 Amérique Centrale 142  
 Amérique du Nord 139, 142, 175  
 Angleterre 75, 79, 121  
 Anvers 144  
 Ardennes 127, 161, 165  
 Ars-sur-Moselle 245  
 Asie 79  
 Asie Mineure 79  
 Aspelt 265  
 Attert (rivière) 134, 183, 186, 241  
  
 Attart (vallée) 202  
 Australie 139  
 Autriche 140, 211  
  
 Balcan 13  
 Bangladesh 110  
 Barrage de l'Our 174  
 Barrage de la Haute-Sûre 174  
 Barrage de Rosport 174  
 Bas-Bellain 267  
 Bassin de Paris 165  
 Bassin minier 152, 195, 262  
 Baumbusch 262  
 Bavière 141, 269  
 Beaufort 148, 166, 213, 236, 267, 269, 272  
  
 Bech 265, 272  
 Bech-Kleinmacher 244  
 Beckerich 265, 272  
 Beggen 236  
 Beiler 265  
 Belfort 140  
 Belgique 133, 135, 136, 137, 138, 142, 144, 200  
 Berbourg 20, 265  
 Berdorf 137, 148, 149, 165, 166, 170, 213, 269, 272  
 Berg 186  
 Bergem 243  
 Bergen 149  
 Berlenga (fle) 76  
 Berlin 144

- Bertrange 263, 265, 272  
 Bettembourg 202, 236, 265  
 Bettendorf 267  
 Binsfeld 265  
 Bissen 165, 265, 267  
 Biwer 127, 129, 236  
 Biwescht 127  
 Blees (rivière) 183, 186, 241, 243, 262  
 Bleesbruck 234, 236  
 Boevange-sur-Attert 263, 272  
 Bohème 140  
 Bollendorf 148  
 Bonnevoie 196, 234, 236  
 Bordeaux 142, 188  
 Born 265  
 Boufferdanger Muer 263, 265  
 Boulaide 265  
 Boulonnais 144  
 Bourglinster 236  
 Bourscheid 170  
 Bourscheid-Moulin 267  
 Breidfeld 265  
 Breidweiler-Pont 166  
 Brème 142  
 Bridel 265  
 Brill (am) 263, 265  
 Brouch 265  
 Burden 269  
 Buschdorf 268
- Calmus 265  
 Cameroun 24  
 Canach 265  
 Cattenom 258  
 Chiers (rivière) 183, 187, 233, 239, 243  
 Chiers (vallée) 265  
 Chimay 131  
 Chine 144  
 Christnach 141  
 Clairefontaine 137  
 Clausen 268  
 Clemency 236  
 Clervaux 236, 265  
 Clerve (Clerf) 186, 241, 262  
 Coblenze 245  
 Colmar 186  
 Cologne 165  
 Colpach-Bas 265  
 Congo 24  
 Congo belge 79  
 Consdorf 137, 236, 265, 269, 272  
 Contern 175, 204, 272  
 Corée 144  
 Corse 140  
 Cruchten 265
- Dahlem 265  
 Dalheim 20, 272  
 Danemark 144  
 Dellen 265  
 Département des Forêts 165  
 Derenbach 265  
 Diekirch 18, 20, 137, 186, 194, 201, 202, 233  
 Differdange 195, 198, 202, 223, 236, 265  
 Dirbach 268  
 Dobris (Dobrisch) 139  
 Dondelange 263, 267  
 Dosterhof 137  
 Dosteschachtal 137  
 Dudelage 202, 214, 267, 268  
 Düdellingerbach 241, 242
- Echternach 20, 75, 131, 133, 135, 163, 164, 166, 169, 180, 185, 187, 202, 234, 236, 269, 272  
 Echternach (canton) 137  
 Ecuador 110  
 Ehlerange 70  
 Eifel 127, 131, 133, 138, 140, 141, 161  
 Eisch (rivière) 134, 183, 186, 234, 241  
 Eisch (vallée) 262  
 Eischen 137, 143  
 Elbe 144  
 Ell 265  
 Ellergonn 263, 265  
 Elvange 196  
 Eppeldorf 265, 266  
 Ermsdorf 272  
 Ernster 266  
 Ernze blanche 186, 241  
 Ernze noire 166, 241, 262  
 Erpeldange 186, 187, 224  
 Escaut 144  
 Esch-sur-Alzette 194, 195, 196, 198, 199, 202, 223, 224, 234, 236, 263, 265  
 Esch-sur-Sûre 123, 174  
 Eschweiler 236  
 Espagne 13  
 Ettelbruck 187, 201, 202, 267  
 Europe 141, 142, 144, 175  
 Europe centrale 139, 163  
 Everlange 246
- Fensterdall 263, 265  
 Fetschenhof 20  
 Finlande 44, 144  
 Fischbach 133, 272  
 Flandre française 144  
 Flaxweiler 20, 266, 268s, 272  
 Floride 99, 103  
 Fœtz 265  
 France 13, 19, 79, 127, 131, 132, 140, 142, 210, 211  
 Frisange 272  
 Frise 121
- Gabon 24  
 Gaichel 137  
 Gander 241  
 Gasperich 194  
 Geyershauff 267  
 Ghana 24  
 Gilsdorf 267  
 Gironde 144  
 Girst 269  
 Gonderange 265  
 Gorge du Loup 169  
 Graulinster 267  
 Grèce 13, 142  
 Grevenmacher 62, 129, 133, 194, 244, 245, 266  
 Grosbous 265  
 Grundhof 187  
 Grunewald 133, 140, 165, 172, 262  
 Gutland 47, 201, 213
- Hachiville 265  
 Haebicht 226  
 Haff Réimech 265  
 Hagen 265  
 Halerbach 166  
 Hambourg 144  
 Haupeschbach 166  
 Haut-Jura 131  
 Hautbellain 265  
 Hautcharage 263, 265, 269  
 Haute-Belgique 155  
 Haute-Sûre 134, 180, 262  
 Haye (forêt de) 133  
 Heffingen 141, 272  
 Heiderscheidergrund 234  
 Heinerscheid 268, 269  
 Helmdange 265  
 Helmsange 266, 267  
 Hemstal 265  
 Herborn 265  
 Hesperange 236, 272  
 Hesse 141  
 Hillesheim 133  
 Hobscheid 234, 272  
 Hoffelt 265  
 Hollenfels 267  
 Hongrie 79  
 Hoscheid 268, 269
- Hosingen 141  
 Howald 165  
 Hunsdorf 265  
 Hunsruck 161
- Imbringen 267  
 Insenborn 269  
 Irrel 187  
 Italie 13, 33, 142  
 Itzig 175
- Jamaïque 139  
 Japon 124  
 Juckelsboesch 165  
 Junglinster 263, 266, 267, 272  
 Jura 131
- Kaesfurt 265  
 Kalborn (moulin) 185  
 Kalkesbach 137  
 Kapland 79  
 Kaundorf 141, 269  
 Kautenbach 135, 137  
 Kayl 135  
 Kaylbach 241  
 Kehlen 272  
 Kénya 110  
 Kiem 131  
 Kockelscheuer 265  
 Kœdange 265, 267  
 Koerich 234, 246, 267, 272  
 Koptal 250, 272  
 Kuebendellchen 263, 266
- Lac d'Echternach 174, 179, 180  
 Lac de la Haute-Sûre 269,  
 Lallange 265  
 Lamadelaine 268  
 Lameschmillen (Noertzange) 243  
 Lameschmillen (Winseler) 243  
 Langsur 188  
 Languedoc 127  
 Laroche 136  
 Larochette 213, 262, 272  
 Léi (Bertrange) 263, 265  
 Leiberg 263, 267  
 Lellingen 268, 269  
 Läschen 163, 164  
 Letzlingen 74  
 Leudelage 236, 265  
 Limpach 70  
 Limpertsberg 142, 143  
 Linger 265  
 Lintgen 233, 272, 265, 269  
 Loire 144  
 Londres 200, 201  
 Lorentzweiler 272  
 Lorraine 133, 136, 142, 161  
 Los Angeles 206  
 Lullange 265  
 Luxembourg (pays) 14, 15, 16, 17, 18, 24, 33, 36, 43, 44, 46, 47, 57, 62, 69, 75, 82, 118, 119, 130, 131, 132, 135, 136, 137, 138, 140, 149, 150, 163, 165, 167, 168, 169, 171, 175, 183, 187, 189, 190, 193, 194, 196, 198, 199, 211, 218, 220, 233, 238, 246ss, 251, 252, 254ss, 260ss,  
 Luxembourg (ville) 137, 192, 195, 196, 197, 199, 201, 202, 207, 223, 250, 266, 272
- Machtum 136, 137  
 Madère 24  
 Madine, lac de la 124  
 Magdebourg 144  
 Mamer (localité) 136, 142, 143, 165, 226, 236, 269, 272  
 Mamer (rivière) 183, 241  
 Mamer (vallée) 262,  
 Manternach 20, 133, 136, 265, 269  
 Marienthal 135, 136, 137, 268
- Marion County 102  
 Maroc 24, 79  
 Marscherwald 135, 265, 267  
 Martelange 234, 265  
 Mecher 141, 269  
 Medernach 236, 272  
 Mensdorf 20  
 Mersch 18, 131, 170, 233, 236, 272  
 Merscherwald 131  
 Mertert 187, 269  
 Mertzig 236  
 Mess 241, 243, 262  
 Meurthe-et-Moselle 133  
 Meuse (fleuve) 144, 187  
 Meuse (vallée) 200  
 Meysemburg 137, 267  
 Michelbuch 265  
 Minamata 124  
 Moersdorf 188, 266  
 Moldau 144  
 Mompach 20, 265  
 Mondercange 70, 224, 265  
 Mondorf-les-Bains 236, 272  
 Montagnes Rocheuses 142  
 Moselle (dépt.) 133  
 Moselle (région) 18  
 Moselle (rivière) 21, 124, 136, 140, 144, 183, 185, 186, 187, 188, 233, 234, 241, 244, 245, 256, 258  
 Moselle (vallée) 17, 18, 20, 21, 262  
 Mühlheim/Ruhr 142  
 Mullerthal 136, 137, 166  
 Munshausen 141
- Neuhäuschen 142, 143  
 Neunhausen 235, 269  
 Niederanven 272  
 Niederwampach 243  
 Noertzange 243  
 Nommerlayen 137, 269  
 Nommern 269, 272  
 Norvège 121, 149  
 Nürburg 161
- Oberanven 263, 266  
 Oder (fleuve) 144  
 Oesling 16, 17, 18, 44, 47, 112, 129, 133, 141, 169, 213  
 Olingen 131  
 Our (rivière) 185, 186, 187, 234, 241  
 Our (vallée) 135, 262
- Palmberg 169, 266  
 Palzem 245  
 Pays de Galles 75, 149  
 Pays-Bas 121, 142, 144, 211, 244  
 Pétange 202, 263, 267  
 Pettange 265  
 Pleitrang 265  
 Pologne 127, 211  
 Pont-à-Mousson 133  
 Pont-Misère 180, 234, 265  
 Prague 139, 144  
 Prénzeberg 263, 267  
 Pribylov (fles) 77  
 Prüm (ville) 131, 133  
 Prüm (rivière) 187  
 Pulvermühl 137, 250, 268  
 Pyrénées 131
- Ramescher (Winrange) 263  
 Rammlay 137  
 RDA 211  
 Reckange/Mersch 268  
 Reckange/Mess 236, 265  
 Reckingerhauff 265  
 Redange 236  
 Reichlange 263, 267, 268  
 Reims 165  
 Reisdorf 267, 272  
 Remerschen 134, 144, 174, 265

- Remich 188  
Rennes 77  
Reuler 265  
RFA 211  
Rhénanie 136  
Rhin 186, 187, 188, 244  
Rhône 127  
Rodange 265  
Rodenbourg 265  
Roeser 265  
Rollingen (Mersch) 135  
Ronneberg 224  
Roodt/Syre 268  
Rosport 267  
Rumelange 202  
Rumlange 265  
Russie 44, 79
- Saeul 272  
Sahara 79, 190  
Sandweiler 223, 265, 272  
Sanem 70  
Sardaigne 79, 140  
Schaedhaff 265 (voir: Scheidhof)  
Schälheck 165  
Scheidhof 175, 246 (voir: Schaedhaff)  
Schengen 136, 258, 265, 269  
Schiffange 224, 234, 236, 263, 265  
Schimpach-Station 243  
Schronweiler 266  
Schuttrange 268, 272  
Schwebsange 185  
Seine 144  
Septfontaines 272  
Sierck 188  
Silver Springs 99, 101, 102, 103  
Slovaquie 140  
Soleuvre 70, 268  
Somalie 110  
Somme 144  
Sonlez 265  
Sonneberg (Walferdange) 263, 266  
Stadtbredimus 167, 265  
Steinfort 236, 267, 272  
Steinsel 142, 272  
Strassen 272  
Stromberg 136, 269  
Suède 44, 118, 121, 124, 144, 211  
Suisse 131, 142, 161, 211  
Suisse saxonne 149  
Sûre (rivière) 183, 185, 186, 187, 233, 234, 239, 241, 244, 256  
Sûre (vallée) 137, 202, 262
- Syre 137, 183, 241, 262
- Tasmanie 74  
Tchécoslovaquie 211  
Tchernobyl 254, 257  
Telpeschholz 263, 267  
Thaïlande 13  
Thull 163  
Torralba 79  
Toul 124  
Trèves 124, 133, 188, 244  
Tristan da Cunha 76  
Troine 265  
Trois-Ponts 246  
Troisvierges 170, 265  
Tuntange 79, 272  
Turquie 79, 142  
Tutschemillen 243
- Uebersyren 236, 265, 268  
USA 118
- Vianden 20, 135, 137, 174, 186, 187, 196, 197, 207, 236  
Vosges 131, 133, 149, 165
- Wahlhausen 269  
Wahlhausenerdickt 265  
Waldbillig 272
- Waldbredimus 20, 272  
Walferdange 137, 263, 272  
Wangert (lieu-dit) 20  
Wark 183, 186, 187, 241, 262  
Wasserbillig 183, 244  
Wecker 236, 265  
Weicherdange 265  
Weiler-la-Tour 170, 223, 272  
Weilerbach 185  
Weisbach 252  
Weiswampach 174  
Wellenstein 263, 265, 266  
Weser 144  
Weser-Bergland 133  
Weydig 265  
Wiesbaden 140  
Willibrordusquelle 252  
Wiltz (localité) 236  
Wiltz (rivière) 186, 187, 227, 241, 242, 243, 262  
Wilwerdange 265  
Wilwerwiltz 170  
Wintrange 263, 265  
Windhof 235, 236  
Wintrange 174, 244, 265  
Wormeldange 188
- Yougoslavie 33  
Zaire 24

## Index des matières et des noms de personnes

- Abattoir 230  
Acide chlorhydrique 210  
Acide fluorhydrique 201  
Acide monochloroacétique 234  
Acide nitrique 210  
Acide sulfureux 214  
Acide sulfurique 193, 210  
ACTH 78  
Aérosols 191  
Age de la Chêne mixte 164  
Age du Bouleau et du Pin 164  
Age du Hêtre 164  
Age du Noisetier 164  
Air 162, 189, 190  
Aire de répartition 16, 57, 143  
Aliments 114  
Allélopathie 55  
Allen, Joel Asaph 12  
Aluminium 191, 199  
Ammoniac 190, 191, 229  
Ammonium 97  
Anadrome 186  
Analyse pollinique 152, 163  
Anhydride sulfureux 214  
Animal à fourrure 140  
Animaux protégés 270s  
Antidépouillant 197  
Aquifères 247  
Arsenic 241  
Asbeste 195  
Asbestose 195  
Assimilation chlorophyllienne 181  
Atmosphère 6, 7  
Aulnaie 164  
Ausonius, Decimus Magnus (Ausone) 188  
Autoépuration 228, 232  
Autoécologie 8, 9ss
- Barkman, J. 165  
Barthel, Josy 227, 244  
Bédégar (bédégua) 61  
Benthos 178, 179, 181  
Benzopyrène 191, 197  
Bergmann, Carl G. L. C. 12  
Bioaccumulation 117ss, 120, 121, 123, 124, 138, 256, 258  
Biocénose 5, 126, 139  
Bioindicateur 124, 202, 231s, 241ss
- Biomasse 100, 101, 102, 108, 155  
Biosphère 6, 7, 98  
Biotope 5  
Borlaug, N.E. 122  
Boues 236  
Boues activées 234, 235  
Boues d'épuration 225, 255  
Bouquets de fleurs 273  
Brouillard 161  
Bruch, Robert 188  
Bruit 215ss  
Buffon, comte de 127
- Cadmium 124, 241  
Calcaire coquillier 169, 246, 252  
Calendrier de chasse 128, 130  
Callender 208  
Cancer broncho-pulmonaire 195  
Cannibalisme 78  
Capacité limite 72, 73  
Carbonate 181  
Carson, Rachel 120  
Cécidies 61  
Ceinture verte de la ville de Luxembourg 262  
Cendres 191  
Cendres volantes 222, 224  
Césium 118, 254, 255, 256, 258  
CFC 203, 204, 205, 208, 224  
Chablis 213  
Chaîne alimentaire 92ss, 102, 113, 117, 120, 254, 258  
Chaîne alimentaire collatérale 93  
Chaînes détritiques 100  
Chaméphyte 22  
Champ 158  
Champ à macrophytes 235  
Charge polluante 230, 237  
Chasse 128ss  
Chasseur 129  
Chêne 95, 157, 164, 171  
Chêne xéro-thermophile 169  
Chêne charmaie 44, 58, 169  
Chêne hêtraie 44  
Chlore 191  
Chlorofluorocarbones (voir: CFC)
- Chlorométhane 190  
Chlorophylle 180  
Chlorures 244, 245  
Chrome 124, 199, 241, 242  
Climat 159  
Climat général 148  
Climat local 148  
Climax 152  
Colloredo-Mannsfeld (Prince) 139  
Commensalisme 3, 63  
Commissariat à la Protection des Eaux 233  
Commission internationale pour la Protection du Rhin 187  
Communauté biologique 5  
Compétition interspécifique 3, 55, 77  
Compétition intraspécifique 3, 68, 77  
Compostage 221, 224  
Condé (professeur) 133  
Consommateurs 90  
Couche d'ozone 203  
Coupe rase 145  
Cours d'eau 182ss, 238, 241  
Cours d'eau luxembourgeois 186  
Coûteaux, Michel 165  
Crénal 182  
Crénobionte 182  
Crénon 182  
Crétacé 209  
Croissance exponentielle 72  
Croissance logistique 72, 73  
Cryptophyte 22  
Cuivre 124, 241  
Culture d'algues 113  
Culture mixte 145  
Cyanose 251  
Cycle alimentaire 96  
Cycle de l'azote 97, 98  
Cycle de l'eau 98, 161  
Cycle de l'eau (Luxembourg) 249  
Cycle de la matière 89, 96ss, 105  
Cycle du carbone 97, 98  
Cycle hydrologique 161
- Cycles biogéochimiques 96
- Dahm, Jacques 244  
Darwin, Charles 54  
DBO 229, 230, 238, 240  
DDT 118, 119, 121, 122, 123, 241, 243  
Décharge brute 221  
Décharge contrôlée 221  
Déchets 219ss  
Déchets encombrants 220, 223, 224  
Déchets industriels 220, 224, 226  
Déchets ménagers 220, 223, 224  
Déchets municipaux 220  
Déchets spéciaux 224  
Décibel 216  
Décomposeur 91  
Degré de pollution 239, 240  
Demande biologique en oxygène (voir: DBO)  
Démécologie (Démécologie) 8, 71ss  
Dénitrification 97, 234  
Densité de population 73, 74  
Dépassement des forêts 197, 206, 210, 211ss, 214  
Dépôts secs 211, 212  
Détritivore 91, 155, 179, 228  
Dévonien 44, 252  
Diederich, Paul 165, 166  
Dieldrine 121  
Dioxine 226  
Dioxyde de carbone 191, 206, 208  
Dioxyde de soufre 191, 192, 193, 194, 201, 202, 210, 214  
Dogger 18, 169, 246  
Domaine vital 70  
Dräimännerwäin 20  
Du Pont de Nemours 204  
Duc de Bavière 140  
Dumortier, Barthélémy-Charles 148  
Dynamique des populations 74ss
- Eau 3, 37, 160, 175, 227ss  
Eau courante 174

- Eau douce 173ss  
 Eau potable 246ss  
 Eau saumâtre 244  
 Eau stagnante 174  
 Ecoclimat 148, 157  
 Ecologie 2, 8, 71  
 Ecologie des populations 8  
 Ecologisme 2  
 Ecosystème 5, 104, 105, 127, 147ss, 152, 153, 173, 177, 181  
 Ecosystème forêt 147ss  
 Ecosystèmes des eaux douces 173ss  
 Ecosystèmes terrestres 106  
 Ecosystème étang 177ss  
 Ectoparasite 60, 61  
 Ectotherme 10  
 Effet de masse 78s  
 Effet de serre 206, 208s  
 Effet réfrigérant 206, 208, 209  
 Emigration 78  
 Emission 192  
 Endoparasite 60  
 Endotherme 10  
 Engrais 112, 229, 251  
 Engrais vert 65  
 Epiphyte 24, 28, 63, 157  
 Epoque glaciaire 152  
 Equilibre biologique 80, 125ss, 156, 162  
 Equivalent-habitant 230, 233  
 Erablière de ravin (voir: forêt de ravin)  
 Erosion du sol 160  
 Essences d'ombre 157  
 Essences de lumière 157  
 Essences indigènes 167  
 Essences introduites 167  
 Etang 174, 177ss  
 Etang artificiel 174  
 Etang de gravières 174  
 Etiollement 29  
 Eurofloor 241  
 Eurytherme 14, 15  
 Eusymbiose 63, 65ss  
 Eutrophe 179, 180  
 Eutrophisation 229, 233  
 Evapotranspiration 159, 161
- Facteur abiotique 3, 9  
 Facteur biotique 3, 4, 53ss  
 Facteur climatique 3, 4  
 Facteur écologique 3  
 Facteur édaphique 3, 4  
 Facteur limitant 72  
 Facteur orographique 3  
 Faim 110  
 Faux hibernants 24  
 Fédération Luxembourgeoise des Eleveurs de Lièvres 129  
 Feed-back 126  
 Feltgen, Ernest 79, 131, 187  
 Ferrant, Victor 47, 75, 133, 134, 137  
 Feuillus 28, 167, 170  
 Fischer, Eugène 175  
 Fleuve 182  
 Floraison du Pommier 18  
 Floraison printanière 18  
 Fluctuation 74  
 Fluorose 201  
 Fluorure de silicium 201  
 Flux d'énergie 89, 99ss, 104, 105, 109  
 Fontaine, Alphonse de la 136, 137, 167, 187, 188  
 Forage-captage 246  
 Forêt 54, 153ss  
 Forêt communale 171  
 Forêt de feuillus 44  
 Forêt de ravin (erablière de ravin) 169, 269  
 Forêt domaniale 171, 172  
 Forêt luxembourgeoise 167, 213  
 Forêt naturelle 169
- Forêt privée 171, 172  
 Forêt résineuse 44, 158, 161  
 Forêt soumise 171, 172  
 Forêt vierge 28  
 Fréon 203, 224  
 Fumée noire 199  
 Futaie 166  
 Futaie feuillue 170, 172  
 Futaie résineuse 172
- Galles 60, 61  
 Gaz carbonique 97, 175  
 Gaz organique 192  
 Geimer, Gaby 165  
 Géologie 43  
 Géophyte 22, 58, 63  
 Gibier 82, 128, 129, 130, 155, 270, 271  
 Glaciation de Würm 209  
 Glacier 163  
 Glaesener, J.-P. 186  
 Gloger, Wilhelm Lambert 32  
 Godchaux 187  
 Grès bigarré 44, 246, 252  
 Grès de Luxembourg 44, 148, 149, 169, 246, 252  
 Grès de Luxembourg (rochers) 272  
 Grüne Revolution 115
- Haeckel, Ernst 2  
 Halons 203  
 Hein, J. 137  
 Héliophyte 27  
 Hémicryptophyte 22  
 Hémioxyde d'azote 204  
 Hémiparasite 60  
 Hêtraie 68, 104, 152, 155, 157, 158, 160, 164, 169, 171  
 Hêtraie submontagnarde 17, 169  
 Hêtraie submontagnarde de l'Oesling 16  
 Heuertz, Félix 75  
 Hibernant partiel 25  
 Hibernant vrai 25  
 Hibernation 34  
 Hiver 22  
 Hiver nucléaire 209  
 Hoffmann, Jos. 187  
 Homéotherme 10, 11  
 Homme 109, 120  
 Horizon (pédologie) 42  
 Humidité 37  
 Humidité de l'air 3  
 Humidité relative 158  
 Humus 39, 41s, 44s  
 Hydrocarbures 191, 197, 205, 234  
 Hydrogène sulfuré 190  
 Hydrophile 37  
 Hydrosphère 6s  
 Hygrophile 37
- Immission 192, 212  
 Incinération 221  
 Infiltration 161  
 Insecticide 82, 83, 121, 123, 138  
 Interception 160  
 Inversion de température 200  
 Iode 118, 254, 255s  
 Isotherme 16  
 Isotopes radioactifs 117
- Jacoby, H. 187
- Kinzelbach, Ragnar 188  
 Kirpach, Jean-Claude 169  
 Klein, Edmond J. 62, 148, 214  
 Kohn, E. 137  
 Kolkwitz 231  
 Krill 110
- Laboratoire d'Ecologie de l'Université de Metz 241  
 Lac 174
- Lac de barrage 174, 233, 234, 246, 256  
 Lagunage 235  
 Lait 256  
 Lande à Bruyère 44  
 LD-AC, procédé 195  
 Légumes 255  
 Léthargie hibernale 24  
 Liane 28  
 Lias 18  
 Ligne du Nord 186  
 Limnologie 174  
 Lindane 241, 243  
 Lisier 229, 251  
 Listes rouges 274s  
 Lit bactérien 234, 235  
 Lithosphère 6, 7  
 Locomotion 176  
 Lot de chasse 128  
 Luja, Edouard 79  
 Lumière 3, 27ss, 157  
 Luminosité 157  
 Lutte biologique 83
- Mâchefers 221, 222, 224  
 Macigno 246  
 Macroclimat 148  
 Macrophytes 181  
 Maladie de Minamata 124  
 Mansfeld (Comte) 139  
 Mardelles 265  
 Maréchal (Baron) 167  
 Marie-Thérèse 165, 250  
 Marsson 231  
 Massard, Jos. A. 165  
 Meder 137  
 Mélanine 31  
 Ménarce 35  
 Mercure 123, 124, 241, 242  
 Mésoclimat 148  
 Mésophile 37  
 Métaux lourds 117, 123, 124, 197, 199, 211  
 Méthane 208, 229  
 Michel, P. 148  
 Microclimat 148  
 Micropolluants 241ss  
 Milieu 3  
 Minéralisateur 91  
 Minettekompost 224  
 Moder 42, 44  
 Monoculture 145  
 Monoxyde de carbone 191, 192, 193, 195  
 Monument historique 210  
 Monument naturel 263  
 Mor 42, 45  
 Morbach, Jean 136, 137  
 Mue 25, 34  
 Mull 41, 44  
 Mutualisme 63ss  
 Mycorhize 66, 212  
 Myxomatose 73, 139
- Nappe phréatique 161  
 Necton 179  
 Négride 31  
 Niche écologique 56ss, 152, 155  
 Nilles, Nicolas 79  
 Nitrates 46, 65, 97, 181, 204, 229, 240, 251s  
 Nitrification 97, 234  
 Nitrites 97, 204, 251  
 Nitrosamines 251  
 Niveaux de bruit 218  
 Niveaux sonores 217  
 Niveaux trophiques 90ss  
 Nodosités des Fabacées 65
- Odeurs 191, 221  
 Oken, Lorenz 188  
 Omnivore 90  
 Ordures ménagères 220  
 Oreille humaine 216  
 Organismes aquatiques 3  
 Organismes terrestres 3
- Organochlorés, composés 124  
 Osmose 38.  
 Oxydes d'azote 190, 191, 192, 193, 196, 208, 210  
 Oxygène 162, 179, 184  
 Ozone 197, 203ss, 207, 208, 210
- PAN 205, 206, 211  
 Parasite 90, 212  
 Parasitisme 3, 60ss, 77  
 Parc naturel 260, 261  
 Paysage protégé 262  
 PCB 117, 121, 241  
 PCDD 222  
 PCDF 222  
 Pêche 271  
 Pédofaune 47, 50, 51  
 Pédoflore 47, 52  
 Pédologie 39  
 Pédosphère 6, 7  
 Pélosol 45  
 Pelouse 152  
 Pelouse sèche 263, 266  
 Peroxyacynitrates (voir: PAN)  
 Pessière 126, 160, 171  
 Pesticides 113, 117, 120  
 pH 47, 210  
 PhanérophYTE 22  
 Phosphates 180, 181, 229, 232, 233, 234  
 Photooxydant 206, 211  
 Photopériodisme 30ss, 34ss  
 Photosynthèse 10, 212  
 Phototaxie négative 33  
 Phytobiomasse 155  
 Phytophage 59, 67, 90  
 Phytoplancton 178, 179, 180, 181  
 Pigmentation de la peau 31  
 Plan de chasse 128  
 Plancton 178  
 Plante à floraison précoce 28, 157  
 Plante calcifuge 45  
 Plante calciphile 45  
 Plante de jour court 30  
 Plante de jour long 30  
 Plante grasse 37  
 Plante indicatrice 45  
 Plante indifférente 31  
 Plante insectivore 59  
 Plante nitrophile 46  
 Plantes protégées 272s  
 Plomb 124, 191, 197, 198, 199, 241, 242  
 Pluie 160  
 Pluies acides 193, 210, 211, 214  
 Pneumoconiose 195  
 Podzol 44s  
 Poikilotherme 10  
 Pollinisation 63, 158  
 Polluant anthropogène 190  
 Polluant atmosphérique 193ss, 199  
 Polluant métallique 241  
 Polluant naturel 190  
 Polluant radioactif 191  
 Pollution accidentelle 234  
 Pollution de l'air 189ss, 199, 201  
 Pollution de l'eau 134, 124, 227ss, 233s, 238ss  
 Pollution de l'environnement 189ss, 228, 239  
 Pollution radioactive 254  
 Polychloro-dibenzo-dioxine (voir: PCDD)  
 Polychloro-dibenzo-furane (voir: PCDF)  
 Polyculture 145  
 Population 71ss, 127  
 Population humaine 85ss  
 Potamal 182, 183  
 Potamon 182, 184  
 Poussière 191, 192, 195, 198,

- 199, 209  
Prairie 44, 48, 49  
Précipitations 150, 151, 161, 249  
Prédation 3, 59s, 77, 80ss  
Pression cynégétique 129  
Producteurs 90  
Production primaire 99s, 104  
Production secondaire 100  
Productivité 152, 180  
Productivité forestière 171  
Productivité primaire 99ss, 106  
Profil pédologique 42  
Protection de l'environnement 259, 260ss  
Protection de la faune (voir: animaux protégés)  
Protection de la flore (voir: plantes protégées)  
Protection de la forêt 262  
Protection des espèces 259, 274ss  
Protéines 116  
Protéines unicellulaires 116  
Purin 229, 251  
Putréfaction 229  
PVC 221  
Pyramide écologique 107ss  
Pyramide écologique renversée 118  
Pyramide des biomasses 108  
Pyramide des effectifs 107  
Pyramide des énergies 108  
Pyramide des nombres 107, 108  
Pyramide des régulateurs 128  
Pyrofusion 222
- Qualité des cours d'eau 238, 240  
Quatenaire 163
- Radicaux OH 210  
Radioactivité 253ss  
Radionucléides 124, 254, 258  
Raunkiaer, Christen 22  
Recyclage 224  
Réducteur 91  
Règle d'Allen 12
- Règle de Bergmann 12  
Règle de Gloger 31, 32  
Régulateur 127s  
Régulation 76ss  
Régulation de la densité des populations 77, 84  
Relation prédateur-proie 80ss, 126  
Relations interspécifiques 3, 55ss  
Relations intraspécifiques 3, 68ss  
Relations trophiques 156  
Relief 3  
Répartition verticale 178  
Repellents 145  
Réseaux alimentaires 94s, 152  
Réserve forestière 263, 269  
Réserve naturelle 260, 262ss, 267  
Résineux 161, 165, 167, 170  
Respiration 10, 175, 176, 181  
Révolution verte 115  
Rhithral 182, 183  
Rhithron 182, 184  
Roche-mère 42  
Ruisseau 182  
Rythme nyctéméral 34
- Sable saharien (pluie de) 190  
Salade 30  
Salinité 244  
Sapinière 171  
Saprobie 231  
Schäfer, Michael 188  
Schiltz, Pierre 214  
Schwenninger, Jean-Luc 165  
Sciaphyte 27, 28, 157  
Scorie Thomas 112  
SEBES 246, 250, 252  
Sels minéraux 175, 181  
SIAS 236  
SIDA 222  
SIDEK 222, 224  
SIDOR 222, 223, 224, 225, 226  
SIGRE 222  
Silicose 195  
Sites et monuments naturels 260, 263, 268  
Smog 193, 200
- Smog photochimique 193, 197, 206  
Sol 3, 39ss, 119  
Sol brun 44  
Sol dégradé 45  
Sol à gley 45  
Sol à pseudogley 45  
Sonomètre 216  
Sous-alimentation 112ss  
Spectre biologique 24  
Sprunck, Alphonse 188  
Station d'épuration 233, 236  
Sténotherme 14, 15, 182  
Stoklasa, Julius 214  
Stomp, Norbert 149  
Strate endogée 156  
Strates 154  
Stratification de la forêt 154  
Stratosphère 203, 205  
Stress 78  
Strontium 118, 120  
Structure du sol 40  
Stygobionte 33  
Subatlantique 165  
Substance répulsive 145  
Succulente, plante 37  
Sulfate 181  
Sulfure d'hydrogène 229  
Superdreckskscht 224  
Superfreonskscht 224  
Superprédateur 107, 128  
Sylviculture 165  
Symbiose 3, 63ss  
Symbiose vraie 63  
Syndicat de chasse 128  
Synécologie 8, 89ss  
Synusie 5  
Système des saprobies 231, 232
- Taillis 166, 170, 172  
Taux de boisement 165, 166  
Température 3, 10ss, 158, 184, 209  
Température moyenne annuelle 17  
Températures biologiques 10  
Territoire 68ss  
Tétrachlorure de carbone 204  
Texture 39  
Thérophyte 22
- Thomas, procédé 195  
Thomas, scorie 112  
Thurm, Nicolas 62  
Toundra 163, 164  
Trafic automobile 193, 197  
Transformateur 91  
Transmission 192  
Transpiration 159, 161  
Troposphère 6, 203, 205  
Trou d'ozone 203, 205  
Types biologiques de Raunkiaer 22  
Tyvek 204
- Ubiquiste 14  
Usine d'incinération 210  
Usine sidérurgique 195, 214
- Vanadium 199  
Vapeur organique 192  
Végétation rudérale 46  
Vent 3, 158  
Viande 256  
Vigne 19  
Vignoble luxembourgeois 17, 20  
Vivier 174
- Wassenich, Victor 137  
Weinachter, Pierre 188  
Werveke, Nicolas van 131, 188  
Witry, G. 137  
Wolff, Edouard 131
- Xérophile 37
- Yates 241
- Zinc 124, 191, 199  
Zonation horizontale 177  
Zone de protection à vocation récréative 260, 261, 262  
Zone protégée 260, 262s  
Zone humide 263, 264s  
Zone verte interurbaine 260, 262  
Zones piscicoles 183  
Zoobiomasse 155  
Zoophage 59, 90  
Zooplankton 178, 179, 180, 181

### Corrigenda de la première édition (1983)

- p. 13 ligne 2 remplacer «carré» par «rectangle»;  
p. 13 ligne 3 remplacer «4644 cm<sup>2</sup>» par «4644 sq. in. resp. 3 m<sup>2</sup>»;  
p. 13 ligne 4 remplacer «2993 cm<sup>2</sup>» par «2993 sq. in. resp. 1,9 m<sup>2</sup>»;  
p. 13 ligne 11 remplacer «C'est le plus petit Mammifère qui existe» par «C'est l'un des plus petits Mammifères qui existent»;
- p. 16 ligne 9 remplacer «températures externes» par «températures extrêmes»;  
p. 16 ligne 11 remplacer «au-delà desquelles elles ne peuvent» par «au-delà desquelles cette espèce ne peut»;  
p. 17 figure l'Ecosse et l'Irlande sont à exclure de l'aire de répartition naturelle du Hêtre;  
p. 29 ligne 19 remplacer «plus abondante» par «la plus abondante»;  
p. 40 figure remplacer «podsolisation» par «podzolisation» et «podsol» par «podzol»;  
p. 54 ligne 6 remplacer «véneux rare» par «véneux, rare»;  
p. 56 ligne 3 remplacer «mycorrhize» par «mycorrhize»;  
p. 69 ligne 5 remplacer «Un diminution» par «Une diminution»;  
p. 73 figure ajouter «B» pour marquer la courbe stabilisée;  
p. 90 diagr. remplacer «19 %» par «21 %»;  
p. 112 diagr. remplacer «Typographe → Epicéa affaibli» par «Typographe →<sup>+</sup> Epicéa affaibli»;  
p. 117 ligne 16 remplacer «1892» par «1893», id. fig.; biffer la phrase «On cite cependant.....près d'Olm»;  
p. 118 ligne 1 remplacer «1892» par «1893»;  
p. 120 ligne 14 remplacer «sud-ouest» par «sud-est»;  
p. 122 ligne 18 remplacer «Canne-à-sucre» par «Canne à sucre»;  
p. 144 ligne 25 remplacer «800 ans» par «800 ans av. J.-C.»;  
p. 163 colonne 2 remplacer «antidétonnants» par «antidétonants»  
p. 181 ligne 10 remplacer «72 mg/l» par «60 g O<sub>2</sub>»;  
p. 181 ligne 13 remplacer le 2<sup>e</sup> alinéa par:

*La DBO<sub>5</sub> permet de définir l'équivalent-habitant (Einwohnergleichwert), une unité relative utilisée dans le domaine de l'épuration des eaux:*

*1 équivalent-habitant = 60 g DBO<sub>5</sub> par jour et par habitant*

## Quelques échos de la première édition (1983)

*«...Mit wissenschaftlicher Akribie wurde hier sehr viel Material zum Thema Ökologie von den beiden Autoren aufgearbeitet. Kaum ein Aspekt der Ökologie bleibt unbehandelt. (...) Auch wenn die Autoren eingestehen, daß es nicht möglich war, die Komplexität des Themas in all seinen Aspekten zu beleuchten, entstand doch ein Werk, das sicherlich nicht nur die Schüler im Ökologie-Unterricht interessiert, sondern das jedem, der sich mit diesem wohl wichtigsten Thema der Zukunft beschäftigt oder daran interessiert ist, eine ausgezeichnete Grundlage für die weitere Vertiefung seines Wissens über ökologische Zusammenhänge vermittelt. Die beiden Autoren (...) haben mit dieser Veröffentlichung bewiesen, daß wissenschaftliche Arbeit auch in einer für jedermann verständlichen Form dargebracht werden kann.»*

Jos. TELEN, tageblatt, 26. April 1983.

*«Un cours d'initiation à l'écologie destiné à l'enseignement secondaire se doit de rester simple. D'autre part, il sera d'autant mieux compris s'il puise ses exemples dans l'environnement immédiat de l'élève. Ce sont ces deux principes qui sont à la base de la réalisation de ce volume. (...) Les élèves de l'enseignement secondaire disposeront ainsi au Grand-Duché d'un ouvrage d'information et de réflexion qui leur permettra d'aborder avec objectivité la discussion des grands problèmes que l'humanité aura à résoudre dans les prochaines années (pollution, conservation de la nature, préservation des ressources naturelles, lutte contre la faim dans le monde, etc.).»*

J. DUVIGNEAUD, Natura Mosana, 36(1983), no 3.

*«Rédigé à l'initiative du Ministère luxembourgeois de l'Education Nationale, ce cours (...) est basé sur des exemples concrets et des simplifications de la matière. Il peut donc intéresser le grand public. De plus, il constitue une première synthèse des approches écologiques réalisées au Grand-Duché de Luxembourg. Bien que basé sur des données qui restent fragmentaires, il constitue plus que d'autres ouvrages, une excellente approche de l'écologie. A conseiller principalement aux bibliothèques des Provinces de Liège et de Luxembourg.»*

«LECTURES», revue bimestrielle éditée par le  
Centre de Lecture publique de la Communauté française,  
Liège, no 17, janv.-mars 1984, p. 33.

*«...Ce travail me paraît très didactique et apte à constituer une bonne initiation à l'écologie continentale, et son intérêt spécifique pour les milieux du Luxembourg ne peut que sensibiliser davantage vos élèves aux différents problèmes que vous leur exposez.»*

Jean-Loup D'HONDT, Directeur de Recherches au CNRS,  
Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

*«Au Grand-Duché de Luxembourg, un ouvrage d'initiation à l'écologie, fort bien fait, a choisi de nombreux exemples, à la fois botanique et zoologique, dans l'information relative à ce pays (J. MASSARD & G. GEIMER 1983). C'est incontestablement un exemple à suivre.» (...)*

Georges H. PARENT: La botanique de terrain dans le district lorrain. 1. Historique.  
— Inventaires de Faune et de Flore, Muséum National d'Histoire Naturelle,  
Paris, fasc. 37 (1987), p. 321

## POSTFACE

### PLAIDOYER POUR L'HISTOIRE NATURELLE

Des centaines de noms d'animaux et de végétaux ont été mentionnés dans les quelque trois cents pages que comporte le livre que vous tenez en main. Ce n'est qu'un infime échantillon des 1.400.000 espèces animales et des 400.000 espèces végétales qui ont été répertoriées mondialement. Et même du point de vue régional, ces quelques centaines de noms représentent peu de choses, si l'on sait que l'on estime à plus de 30.000 le nombre des espèces animales et à 4.400 environ celui des espèces végétales présentes au Luxembourg. Cela démontre à merveille qu'aucune écologie sérieuse n'est possible sans une connaissance approfondie des espèces. Or, braqués sur la biologie moléculaire, le génie génétique et autres branches «modernes», l'enseignement et la recherche montrent une tendance croissante à négliger les domaines classiques de la botanique et de la zoologie, et singulièrement la recherche taxonomique, celle qui détermine, décrit et classifie les espèces. Au-delà de ces domaines, c'est toute l'histoire naturelle qui est menacée.

Ce danger est réel, au Luxembourg, tout comme dans les autres pays d'Europe. Heureusement, les scientifiques concernés commencent à se mobiliser et à réagir. Ainsi, il s'est constitué en 1991 en France une association dénommée «Muséum 2000» qui s'est fixée pour objectif la défense du prestigieux *Muséum national d'Histoire naturelle* (Paris). Elle a publié un manifeste dont nous tenons à citer le passage essentiel suivant:

*«Jamais époque n'a connu atteinte aussi grave à l'encontre de la nature: extinctions sans*

*cesse plus nombreuses d'espèces animales et végétales, pollution des eaux, altération de l'atmosphère, dégradation de la pellicule pédologique, auxquels s'ajoutent appauvrissement des cultures et malaise généralisé de l'humanité. Ces drames sont le plus souvent les retombées d'une évolution scientifique, technologique, démographique foisonnante et mal maîtrisée. Face à eux, le citoyen pourrait penser qu'il s'impose de privilégier les études sur cette nature - sur tous les aspects de cette nature - ainsi mise à mal. Or, et ce n'est pas le moindre paradoxe de notre époque, dans notre pays tout spécialement, l'Histoire naturelle est la mal-aimée des pouvoirs publics et des technocrates qui les orientent. A tous les stades de l'enseignement aussi bien que dans la Recherche, les sciences naturelles régressent, l'observation est méprisée, l'approche globale est ignorée, le tout au profit de disciplines et de techniques plus «modernes», or n'est-il pas évident que ces dernières - dont l'intérêt est immense - ne sont plus rien si les objets de leur étude comme l'interprétation de leurs résultats ne s'insèrent pas dans le cadre que seules peuvent leur apporter les disciplines naturalistes de base...»*

En ce qui concerne la recherche taxonomique, nous soumettons à l'appréciation du lecteur avisé les réflexions suivantes que le zoologiste allemand Otto Kraus, professeur de zoologie à l'Université de Hambourg, a formulées, en 1975 déjà, dans la traduction allemande de «*Principles of Systematic Zoology*», ouvrage bien connu de Ernst Mayr, professeur de l'Université de Harvard:

*«In den letzten Jahren ist immer deutlicher geworden, daß sich dieses Kerngebiet der Zoologie - im Gegensatz zu anderen aufblü-*

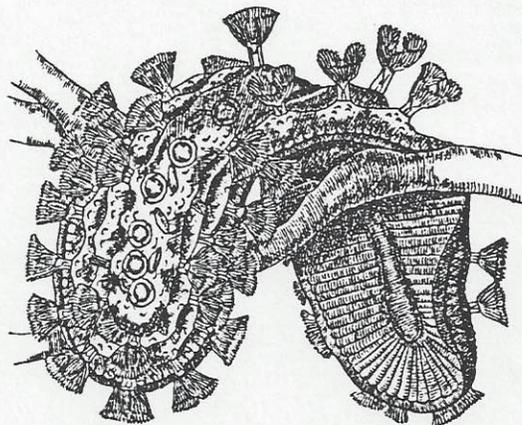
henden Disziplinen - in mancher Hinsicht eher regressiv entwickelt hat. Es waren Physiologen, Ökologen oder Meeresforscher, die feststellen mußten, daß sie bei ihren wissenschaftlichen Aussagen immer größeren Schwierigkeiten gegenüberstanden: in weiten Bereichen fehlen Systematiker, die ihnen sagen können, mit welchen Tieren sie überhaupt gearbeitet haben, wie bestimmte Faunen oder Lebensgemeinschaften zusammengesetzt sind. Wer kann z. B. noch Rädertiere (Rotatoria) - eine für die Hydrobiologie überaus wichtige Gruppe - zuverlässig bestimmen, wer kennt sich beispielsweise heute noch in der Systematik der Land- und Süßwassermollusken warmer Länder aus, Tiere, die doch zum Teil sogar erhebliche Bedeutung als Überträger von Parasiten haben? Kaum ein Zoologe!

Aber die Schwierigkeiten liegen noch tiefer, als es nach diesen Hinweisen zunächst scheinen mag. In den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg hat nämlich dessen ungeachtet die Theorie der Zoologischen Systematik derart wesentliche Impulse erfahren (...), daß sich grundlegende neue Einsichten ergeben haben. Danach sind wir heute sicher, daß wir mit unserer Kenntnis mancher Tiergruppen tatsächlich noch immer fast am Anfang stehen; vermeintlich festgefügte Systeme haben sich als mehr oder weniger typologisch oder gar als künstlich erwiesen, so daß die wirklichen phylogenetischen Zusammenhänge überhaupt erst jetzt erarbeitet werden können. Dies bedeutet jedoch, daß es ganze

Tiergruppen gibt, bei denen die Bezugsbasis für allgemeine Aussagen noch nicht einmal hinlänglich gegeben ist. Es erübrigt sich fast darauf hinzuweisen, daß eine wissenschaftlich fundierte Umweltökologie durch solche limitierenden Faktoren ungemein behindert ist.»

Les auteurs du présent manuel étudient depuis des années les Bryozoaires d'eau douce, un groupe peu connu et difficile d'Invertébrés coloniaux et sédentaires. De par leur propre expérience nationale et internationale, ils ne peuvent que se rallier à ces vues.

Ils voudraient en conséquence saisir l'occasion pour lancer un cri d'alarme en faveur de la recherche luxembourgeoise dans le domaine de l'histoire naturelle, qu'il s'agisse de botanique, de zoologie, de géologie, de paléontologie et de toute autre branche qui s'y rattache. Cette recherche mérite un soutien sinon égal du moins comparable à celui volontiers accordé à d'autres domaines de recherche qui, il est vrai, invoquent des retombées socio-économiques plus directes, mais pas nécessairement plus enrichissantes du point de vue scientifique et culturel.



*Cristatella mucedo* Cuvier, 1798  
(Bryozoa)

<b>Table des matières</b>
---------------------------

Préface .....	III
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1. Définition .....	2
1.2. Le milieu et les facteurs écologiques .....	3
1.3. La notion d'écosystème .....	5
1.4. Subdivision de l'écologie .....	8
<b>2. AUTOÉCOLOGIE .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Facteurs abiotiques .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1. La température .....</b>	<b>10</b>
2.1.1.1. Température interne des organismes et température externe du milieu .....	10
2.1.1.2. Action de la température sur le métabolisme .....	10
2.1.1.3. La température et la morphologie des animaux homéothermes .....	11
Règle de Bergmann (1847) .....	12
Règle d'Allen (1877) .....	12
Les limites de l'homéothermie .....	13
2.1.1.4. La température et la répartition des êtres vivants .....	14
Adaptation aux variations thermiques .....	14
Température maximale ou minimale .....	16
La culture de la Vigne .....	19
Document: «Mosel und Südländer» .....	21
2.1.1.5. Adaptation des êtres vivants à l'hiver .....	22
Le cas des végétaux — Types biologiques de Raunkiaer (1905) .....	22
Adaptation des animaux à l'hiver .....	24
<b>2.1.2. La lumière .....</b>	<b>27</b>
2.1.2.1. La lumière et la nutrition des plantes .....	27
2.1.2.2. La lumière et la morphologie des végétaux .....	28
Le port des arbres .....	28
La forme et la structure des feuilles .....	29
L'étiollement .....	29
Le photopériodisme .....	30
2.1.2.3. La lumière et les animaux .....	31
Influence de la lumière sur la morphologie des animaux .....	31
Pigmentation de la peau — Règle de Gloger (1833) .....	31
Cas des animaux vivant en absence de lumière .....	33
Influence de la lumière sur le comportement et la physiologie des animaux .....	34
Rythme nyctéméral .....	34
Photopériodisme .....	34
Photopériodisme chez les Vertébrés .....	34
Photopériodisme chez les Invertébrés .....	35
<b>2.1.3. L'humidité et l'eau .....</b>	<b>37</b>
<b>2.1.4. Le sol .....</b>	<b>39</b>
2.1.4.1. Définition .....	39
2.1.4.2. Composition chimique .....	39
2.1.4.3. Caractéristiques physiques .....	39
2.1.4.4. Formation de l'humus .....	41
2.1.4.5. Profil du sol .....	42
2.1.4.6. Les principaux types de sols luxembourgeois .....	44

2.1.4.7. Le sol et la répartition des végétaux .....	45
2.1.4.8. Le sol et la répartition des animaux .....	47
2.1.4.9. L'activité biologique du sol .....	47
<b>2.2. Facteurs biotiques .....</b>	<b>53</b>
2.2.1. Action des êtres vivants sur le milieu abiotique .....	54
2.2.2. Action des êtres vivants entre eux. ....	55
2.2.2.1. Relations interspécifiques .....	55
La compétition interspécifique .....	55
La niche écologique .....	56
La prédation .....	59
Le parasitisme .....	60
Le commensalisme .....	63
La symbiose .....	63
Le mutualisme .....	63
L'eusymbiose .....	65
2.2.2.2. Relations intraspécifiques .....	68
La compétition intraspécifique .....	68
Formation de territoires .....	68
<b>3. DÉMÉCOLOGIE .....</b>	<b>71</b>
3.1. La croissance des populations .....	72
3.2. Dynamique des populations .....	74
3.2.1. Les fluctuations de la densité des populations .....	74
3.2.2. Les mécanismes de la régulation de la densité des populations .....	77
Effet régulateur de la compétition intraspécifique .....	77
Document: Coup d'œil luxembourgeois sur les Criquets migrateurs .....	79
Effet régulateur de la relation prédateur-proie .....	80
Schéma de la régulation de la densité de population .....	84
3.3. Croissance de la population humaine .....	85
Document: «Populations and Population Movements in 1991» .....	88
<b>4. SYNÉCOLOGIE .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1. Cycles de la matière et flux d'énergie .....</b>	<b>89</b>
4.1.1. Les niveaux trophiques .....	90
4.1.2. Les chaînes alimentaires .....	92
Les chaînes alimentaires collatérales .....	93
4.1.3. Les réseaux alimentaires .....	94
4.1.4. Le cycle de la matière .....	96
Le cycle alimentaire .....	96
Les cycles biogéochimiques .....	96
Aspects quantitatifs des cycles biogéochimiques .....	98
4.1.5. Flux d'énergie .....	99
Utilisation de l'énergie au niveau des producteurs:	
productivité (production) primaire .....	99
Utilisation au niveau des consommateurs de l'énergie stockée par les producteurs:	
production secondaire .....	100
Utilisation de la biomasse aux autres niveaux de la chaîne principale .....	102
Conclusion générale .....	102
4.1.6. Aperçu sur la productivité primaire nette .....	106
4.1.7. Les pyramides écologiques .....	107
Pyramide des nombres ou pyramide des effectifs .....	107
Pyramide des biomasses .....	108
Pyramide des énergies .....	108
4.1.8. Le flux de l'énergie et l'alimentation de l'Homme .....	109
Considération préliminaire: le raccourcissement de la chaîne alimentaire .....	109

La faim dans le monde .....	110
Discussion des remèdes à la sous-alimentation .....	112
Document: «Superweizen» und die grüne Revolution .....	115
Le problème des protéines .....	116
4.1.9. Accumulation de substances nocives dans la chaîne alimentaire .....	117
Document: Le DDT en question .....	122
Bioaccumulation dans le lac de barrage d'Esch-sur-Sûre .....	123
Bioaccumulation des métaux lourds dans les Moules d'eau douce de la Moselle .....	123
La maladie de Minamata .....	124
<b>4.2. L'équilibre biologique .....</b>	<b>125</b>
4.2.1. Principes fondamentaux .....	126
4.2.2. Perturbation de l'équilibre biologique .....	127
4.2.2.1. Disparition de certains régulateurs .....	127
4.2.2.2. La chasse au Luxembourg .....	128
4.2.2.3. L'appauvrissement de la faune luxembourgeoise .....	131
Le Castor .....	131
L'Ours brun .....	131
Le Lynx ou Loup-cervier .....	131
Le Loup .....	131
Le Chat sauvage .....	133
La Loutre .....	134
Le Hibou grand-duc .....	135
Le Balbuzard fluviatile .....	136
Le Faucon pèlerin .....	136
Le Grand corbeau .....	137
Le cas des Chauves-souris .....	138
4.2.2.4. Introduction d'espèces étrangères dans une biocénose .....	139
Le cas du Rat musqué .....	139
Le cas du Mouflon .....	140
Des Ratons laveurs dans l'Oesling .....	141
L'expansion du Doryphore .....	142
L'introduction du Crabe chinois <i>Eriocheir sinensis</i> en Europe .....	144
4.2.2.5. La monoculture .....	145
<b>4.3. Généralités sur les écosystèmes .....</b>	<b>147</b>
4.3.1. Les conditions climatiques dans les écosystèmes .....	148
Les gorges du Grès de Luxembourg: un microclimat particulièrement intéressant .....	148
4.3.2. L'évolution des écosystèmes .....	152
<b>4.4. L'écosystème forêt .....</b>	<b>153</b>
4.4.1. La stratification de la forêt .....	154
4.4.2. L'écoclimat de la forêt .....	157
4.4.3. Le rôle écologique de la forêt .....	159
Rôle climatique .....	159
Rôle dans la diminution de l'érosion du sol .....	160
Rôle dans la mise en réserve et la filtration de l'eau .....	160
Influence de la forêt sur les brouillards .....	161
Rôle dans la purification de l'air .....	162
Rôle récréatif pour l'Homme .....	162
4.4.4. La forêt au Luxembourg .....	163
4.4.4.1. L'histoire de la forêt dans nos régions .....	163
4.4.4.2. La forêt luxembourgeoise actuelle .....	167
Essences forestières et types de forêts .....	167
La productivité forestière .....	171
Le régime de propriété de la forêt .....	171

<b>4.5. Les écosystèmes des eaux douces .....</b>	<b>173</b>
4.5.1. Généralités .....	174
4.5.2. L'adaptation des êtres vivants à la vie aquatique .....	175
Cas des végétaux .....	175
Cas des animaux .....	176
4.5.3. L'écosystème étang .....	177
La zonation horizontale de l'étang .....	177
La répartition verticale des êtres vivants aquatiques .....	178
Les conditions de vie dans l'étang .....	179
Documentation: Le «lac d'Echternach», un étang eutrophe.....	180
4.5.4. Les cours d'eau .....	182
Documentation: Les cours d'eau luxembourgeois vers 1893 .....	186
Documentation: Le Saumon au Luxembourg .....	186
Documentation: Ausone et l'Esturgeon .....	188
<b>5. POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT AU LUXEMBOURG .....</b>	<b>189</b>
<b>5.1. La pollution de l'air .....</b>	<b>189</b>
5.1.1. Généralités .....	190
Polluants naturels .....	190
Les polluants anthropogènes .....	190
Émission et immission .....	192
5.1.2. Aperçu sur les principaux polluants atmosphériques au Luxembourg.....	193
Le dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) .....	193
Les oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) .....	193
Le monoxyde de carbone (CO) .....	193
Les retombées de poussières .....	195
Le plomb .....	197
Les hydrocarbures .....	197
L'ozone (O <sub>3</sub> ) .....	197
5.1.3. Le smog .....	200
5.1.4. Influence de la pollution de l'air sur la végétation .....	201
5.1.5. Le problème de l'ozone .....	203
Le trou d'ozone .....	203
Le smog photochimique .....	206
5.1.6. L'effet de serre et l'effet réfrigérant .....	206
5.1.7. Les pluies acides .....	210
5.1.8. Le dépérissement des forêts.....	211
Documentation: Miscellanées historiques sur le dépérissement des forêts.....	214
<b>5.2. Le bruit .....</b>	<b>215</b>
5.2.1. Définition du bruit .....	216
5.2.2. Echelle usuelle des niveaux sonores .....	217
5.2.3. Effets du bruit .....	218
<b>5.3. Les déchets .....</b>	<b>219</b>
5.3.1. Production de déchets au Luxembourg .....	220
5.3.2. L'élimination des déchets .....	221
5.3.3. Le recyclage .....	224
5.3.4. Les boues d'épuration .....	225
Document: Ein bewegtes Jahr in Sachen Müll .....	226
<b>5.4. L'eau .....</b>	<b>227</b>
5.4.1. Pollution et autoépuration de l'eau .....	228
L'autoépuration .....	228
Pollution par les matières organiques .....	229
L'eutrophisation .....	229

5.4.2. Détermination du degré de pollution .....	229
Demande biologique en oxygène (DBO) .....	229
Le système des saprobies selon Kolkwitz & Marsson (1902).....	231
5.4.3. La pollution de l'eau au Luxembourg.....	233
Des eaux limpides aux eaux mortes .....	233
Historique du programme d'assainissement .....	233
Les problèmes en suspens ou d'origine récente .....	233
Aperçu sur le traitement des eaux usées .....	234
Documents relatifs à l'état de pollution des cours d'eau luxembourgeois .....	238
Contamination des cours d'eau luxembourgeois par les micropolluants métalliques et organochlorés: résultats obtenus par la méthode des mousses aquatiques .....	240
La salinité de la Moselle et ses conséquences faunistiques .....	246
5.4.4. L'eau potable au Luxembourg .....	246
L'alimentation en eau potable .....	246
Consommation d'eau potable au Luxembourg .....	248
Document: «Die Wasserversorgung der Stadt Luxemburg » .....	250
Le problème des nitrates dans l'eau potable .....	251
<b>5.5. La radioactivité .....</b>	<b>253</b>
5.5.1. La pollution radioactive .....	254
5.5.2. La catastrophe de Tchernobyl et ses effets au Luxembourg .....	254
5.5.3. Contrôle de la radioactivité de la Moselle .....	258
<b>5.6. Protection de l'environnement et protection des espèces .....</b>	<b>259</b>
5.6.1. La protection de l'environnement naturel au Luxembourg .....	260
5.6.2. Protection des espèces animales .....	270
5.6.3. Protection des espèces végétales .....	272
5.6.4. Listes rouges .....	274
<b>6. Principaux ouvrages et articles consultés .....</b>	<b>277</b>
<b>7. Index .....</b>	<b>283</b>
Index botanique et zoologique .....	283
Index géographique .....	285
Index des matières et des noms de personnes .....	287
<b>Corrigenda de la première édition .....</b>	<b>289</b>
<b>Quelques échos de la première édition .....</b>	<b>290</b>
<b>Postface: Plaidoyer pour l'Histoire naturelle .....</b>	<b>291</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>293</b>

## Corrigenda

- p. 74, fig. 114: au lieu de « nombre d'insectes par m<sup>2</sup> » lire « log du nombre d'insectes par m<sup>2</sup> »;
- p. 127, ligne 21: lire « imposées » au lieu de « imposé »;
- p. 127, fig. 176 : lire « disparu » au lieu de « disparus »;
- p. 131, remplacer la dernière phrase de la page par le texte suivant : « Ainsi, il a été rapporté par le Dr. Ernest Feltgen qu'en décembre 1894 un loup aurait été observé au « Marscherwald » près de Mersch. »  
Pour plus de détails voir : Massard, Jos. A., 2015. *Der Mythos vom letzten Wolf in Luxemburg. Der 1893 bei Olingen erlegte Wolf war nicht der letzte. Wölfe traten noch viel später als bisher angenommen in Luxemburg auf. Eine Aufarbeitung in drei Teilen.* — Teil I: Lëtzebuerger Journal 2015, Nr. 258 (5. November): 19. — Teil II: Lëtzebuerger Journal 2015, Nr. 259 (6. November): 19 (*Der Erste Weltkrieg brachte die Wölfe zurück*). — Teil III: Lëtzebuerger Journal 2015, Nr. 260 (7. November): 19 (*1920 – Ein Wolf bei Berg*). [[https://massard.info/pdf/Wolf%201893\\_1920\\_LJ.pdf](https://massard.info/pdf/Wolf%201893_1920_LJ.pdf)].  
Erweiterte Online-Version: [https://massard.info/pdf/Wolf%201893\\_1920er\\_lang.pdf](https://massard.info/pdf/Wolf%201893_1920er_lang.pdf).
- p. 149, ligne 9: lire « *Cololejeunea* » au lieu de « *Cololejeunia* »;
- p. 149, fig. 205: biffer « 200 µm »;
- p. 167, dernier alinéa: remplacer « Alphonse de la Fontaine » par « G. Th. I. de la Fontaine ».