

UNIVERSITE DE LIMOGES

Faculté de Pharmacie

ANNEE 1991

THESE N° 213

**INTERET DE L'ETUDE DES LICHENS
COMME BIOINDICATEURS**

(pollution atmosphérique acide - métaux lourds)

**APPLICATION A LA REGION DE SAILLAT
ET SAINT-JUNIEN (Haute-Vienne et Charente)**

T H E S E

POUR LE

**DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

présentée et soutenue publiquement le 27 Mai 1991

par

Marianne LAURENT

née le 3 Décembre 1965 à Saint-Jean-de-Luz
(Pyrénées-Atlantiques)

EXAMINATEURS de la THESE

- M. A. GHESTEM, *Professeur titulaire de botanique* PRESIDENT
Faculté de Pharmacie de Limoges
- M. M. BOTINEAU, *Maître de conférences de botanique* JUGE
Faculté de Pharmacie de Limoges
- M. A. VILKS, *Maître de conférences de biologie végétale* JUGE
Faculté des Sciences de Limoges
- M. J. SUBRA, *Adjoint au délégué régional à l'Architecture
et à l'Environnement (Limousin)* JUGE
- M. G. LACHATRE, *Maître de conférences de toxicologie* JUGE
Faculté de Pharmacie de Limoges

UNIVERSITE DE LIMOGES

FACULTE DE PHARMACIE

- DOYEN DE LA FACULTE : Monsieur le Professeur **RABY**
- ASSESEURS : Monsieur le Professeur **GHESTEM** (1^{er} Assesseur)
Monsieur **DREYFUSS**, Maître de Conférences (2^{ème} Assesseur)

- PROFESSEURS DES UNIVERSITES

BENEYTOUT Jean-Louis	Biochimie
BERNARD Michel	Physique-Biophysique
BROSSARD Claude	Pharmacotechnie
BUXERAUD Jacques	Chimie Organique, Chimie Thérapeutique
CHULIA Albert	Pharmacognosie
CHULIA Dominique	Pharmacotechnie
DELAGE Christiane	Chimie Générale et Minérale
GALEN François Xavier	Physiologie
GHESTEM Axel	Botanique et Cryptogamie
GUICHARD Claude	Toxicologie
HABRIOUX Gérard	Biochimie Fondamentale
LEFORT des YLOUSES Daniel	Pharmacie Galénique
NICOLAS Jean Albert	Bactériologie et Virologie, Parasitologie
LOUDART Nicole	Pharmacodynamie
PENICAUT Bernard	Chimie Analytique, Bromatologie
RABY Claude	Pharmacie Chimique Chimie Organique
TIXIER Marie	Biochimie

- SECRETARE GENERAL DE LA FACULTE ET CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS : **CELS** René

A MON PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Axel GHESTEM

Professeur de Botanique
à la Faculté de Pharmacie de Limoges

Je le remercie de m'avoir proposé un sujet original et d'actualité, et de m'avoir accueillie au sein du laboratoire de Botanique.

J'ai beaucoup apprécié ses conseils et sa grande disponibilité à mon égard.

Je le remercie aussi de m'avoir permis d'effectuer un stage d'initiation à l'étude pratique des lichens et des mousses à la Station Universitaire de Meymac.

Je le remercie de me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

A MON JURY DE THESE

Monsieur Michel BOTINEAU

Maître de Conférences de Botanique
à la Faculté de Pharmacie de Limoges

Je le remercie sincèrement de m'avoir fait découvrir le monde de la lichénologie en me faisant bénéficier de ses grandes connaissances en ce domaine.

Je le remercie de m'avoir accompagnée sur le terrain lors des différents relevés, de m'avoir constamment guidée dans mon travail en me consacrant beaucoup de son temps et de m'avoir grandement aidée à la détermination des espèces.

J'ai beaucoup apprécié sa gentillesse et ses qualités humaines au cours du stage de Meymac.

C'est grâce à ses nombreux conseils et à son assistance que j'ai pu mener à bien cette étude.

Je le remercie d'accepter de faire partie du jury de cette thèse, avec l'assurance de toute ma reconnaissance.

Monsieur Askolds VILKS

Maître de Conférences de Biologie Végétale
à la Faculté des Sciences de Limoges

J'ai beaucoup apprécié sa bonne humeur et sa compétence en lichénologie au cours de mon séjour à Meymac.

Je le remercie de sa présence dans mon jury de thèse.

Monsieur Gérard LACHATRE

Maître de Conférences de Toxicologie
à la Faculté de Pharmacie de Limoges

Je suis très touchée par l'honneur qu'il me fait en acceptant de participer à mon jury de thèse.

Je lui offre ici tout mon respect.

Monsieur Jacques SUBRA

Adjoint au Délégué Régional à l'Architecture et à l'Environnement du
Limousin.

Je le remercie de me faire l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Avec l'assurance de ma profonde gratitude.

J'adresse également mes remerciements et ma sympathie à ceux qui m'ont aidée :

Madame Christiane DESCUBES-GOUILLY

Maître de Conférences de Botanique
à la Faculté de Pharmacie de Limoges

qui a toujours répondu avec gentillesse à toutes mes questions et demandes.

Monsieur Jean-Pierre VERGER

Maître de Conférences de Biologie Végétale
à la Faculté des Sciences de Limoges

qui m'a assistée et accueillie dans son laboratoire pour effectuer certains dosages.

Monsieur Camille PEYRICHOU

Technicien au laboratoire de Botanique
de la Faculté de Pharmacie de Limoges

qui m'a apporté son aide dans toute la partie pratique de ce travail.

Monsieur Marcel ROGEON

Trésorier de la Société Botanique du Centre-Ouest

qui a bien voulu consacrer une part de son temps à la détermination des mousses.

La Direction d'AUSSEDAT-REY

Monsieur J.B. VOISIN et Monsieur J. RODEAUD

qui m'ont gentiment accueillie à Saillat, et qui ont répondu généreusement à toutes mes questions en me fournissant de nombreux documents.

Madame Catherine LEROUGE

Secrétaire de la Station Universitaire du Limousin

Notre sympathique dactylographe, très dévouée et de bon conseil.

A MES PARENTS

qui ont toujours su me soutenir et m'encourager tout au long de mes études.

Je leur témoigne ici ma profonde affection et ma grande reconnaissance.

A MA FAMILLE

A TOUS MES AMIS

Je dédie ce travail.

PLAN

Introduction

Chapitre I - Les lichens, des êtres symbiotiques

I - Constitution, morphologie et anatomie

- A - Constitution**
- B - Morphologie**
- C - Structure anatomique**

II - Reproduction et multiplication des lichens

- A - La reproduction sexuée**
- B - La multiplication végétative**

III - Physiologie des lichens

- A - L'eau : provenance, absorption et circulation**
- B - Respiration et nutrition**

IV - Epiphytisme

Chapitre II - Les lichens, indicateurs biologiques de la pollution atmosphérique

I - Influence de la pollution atmosphérique sur la flore lichénique

- A - Premières observations. Historique**
- B - Les effets proprement dits de l'urbanisation et de l'industrialisation sur la flore lichénique**

II - Caractères particuliers des lichens justifiant leur choix comme bioindicateurs

- A - **Activité continue**
- B - **Métabolisme lent**
- C - **Pouvoir d'accumulation et absence de moyens de lutte**

III - Les différentes méthodes utilisant les lichens comme indicateurs biologiques de la pollution atmosphérique

- A - **Les méthodes qualitatives**
- B - **Les méthodes quantitatives**
- C - **Les méthodes indirectes**
- D - **Méthode choisie dans notre étude**

IV - La pollution atmosphérique

- A - **Généralités**
- B - **Le cycle du soufre**
- C - **L'anhydride sulfureux SO₂**
- D - **Le phénomène des pluies acides**
- E - **Les autres polluants ayant une action sur les lichens**

Chapitre III - Application à la région de Saillat et Saint-Junien

I - Présentation de la région

- A - **Cadre naturel**
- B - **Les activités humaines**
- C - **Cas particulier : l'usine de Saillat**

II - Pollution atmosphérique acide

A - Présentation de la méthode utilisée

B - Application de cette méthode à notre région d'étude

III - Pollution par les métaux lourds - Dosage du plomb

A - Méthode utilisée

B - Résultats

Conclusion

Bibliographie

Table des matières

INTRODUCTION

Longtemps les lichens ont été ignorés et mal connus par le grand public qui les considérait comme de "la mousse". Cependant ce végétal d'aspect modeste est fort original de par sa constitution; présent partout dans notre environnement, il est également utilisé dans de nombreux domaines tels que l'alimentaire, la parfumerie, le médical

La lichénologie ne connut donc qu'un véritable essor au début du siècle dernier où la nature double des lichens fut découverte par SCHWENDENER en 1867. Longtemps, les travaux des lichénologues consistèrent à établir des catalogues régionaux (LAMY DE LA CHAPELLE en 1880 publia un catalogue pour la Haute-Vienne et le Mont-Dore).

Aujourd'hui, les travaux lichénologiques connaissent un nouvel essor en utilisant les lichens comme indicateurs écologiques, en particulier dans le domaine de la pollution atmosphérique.

Monsieur le Professeur Ghestem nous a confié le soin de réaliser cette étude sur la région de Saillat et Saint-Junien.

Ayant toujours été intéressée par la Botanique au cours de nos études en Pharmacie, et ayant toujours été sensible à la qualité de notre environnement, j'ai été très heureuse de travailler sur ce sujet alliant très étroitement ces deux domaines.

Dans ce travail, après quelques généralités concernant les lichens et leur intérêt comme bioindicateurs de la pollution atmosphérique, en particulier acide, nous avons présenté la région étudiée : cadre naturel, activités humaines et usine de Saillat. Nous avons ensuite présenté la méthode utilisée : principe et protocole opératoire.

Nous nous sommes par la suite efforcés d'appliquer cette méthode d'étude à notre région grâce à l'analyse de la flore lichénique locale effectuée par la technique de cartographie en réseau.

Ainsi, nous avons pu proposer une estimation de la pollution atmosphérique acide de notre région d'étude.

En dernier lieu, nous avons voulu, en effectuant quelques dosages de plomb dans des thalles de lichens prélevés sur deux routes de notre secteur, montrer l'intérêt de ces derniers comme indicateurs biologiques des pollutions par les métaux lourds.

Chapitre I

LES LICHENS,
DES ETRES SYMBIOTIQUES

I - CONSTITUTION, MORPHOLOGIE ET ANATOMIE

A - CONSTITUTION

Les lichens sont des **végétaux symbiotiques** formés par la réunion de deux "partenaires" de nature différente :

- d'une part une algue qualifiée de **phycosymbiote**
- et d'autre part un champignon qualifié de **mycosymbiote**.

1 - Le phycosymbiote

(les phycosymbiotes des lichens ont été appelés gonidies car il leur était attribué autrefois un rôle dans la reproduction)

Les algues qui s'associent aux champignons dans les lichens appartiennent à une trentaine de genres différents, soit du groupe des Cyanophycées (algues bleues), soit le plus souvent du groupe des Chlorophycées (algues vertes). Il existe également un genre de Xanthophycées (algues brunes).

La plupart de ces algues existent également à l'état libre mais certaines espèces ne sont connues que comme symbiotes lichéniques (DERUELLE et LALLEMANT, 1983).

Parmi cette trentaine de genres différents, trois dominent très largement, puisqu'ils regroupent 90% des phycosymbiotes (AHMADJIAN, 1967 in SOUCHON, 1971). Ce sont les genres :

- *Nostoc* (Cyanophycées, Nostocales, Nostocacées)
- *Trentepohlia* (Chlorophycées, Trentepohliales, Trentepohliacées)
- *Trebouxia* (Chlorophycées, Chlorococcales, Chlorococcacées).

2 - Le mycosymbiote

Il s'agit d'un champignon supérieur :

- le plus souvent Ascomycètes chez les Ascolichens (soit Discomycètes, soit Pyrénomycètes),
- ou Basidiomycètes chez les Basidiolichens.

3 - Les autres constituants symbiotiques (SOUCHON, 1971)

En plus de leurs deux constituants fondamentaux, quelques lichens ont un "hôte" supplémentaire qui peut être :

- un cyanophyte (certains champignons, en plus des algues vertes, hébergent des algues bleues en îlots, pouvant être externes ou internes. Ces îlots sont nommés Céphalodies.),
- un autre champignon chez les "doubles-lichens",
- ou même une bactérie selon certains auteurs.

B - MORPHOLOGIE

Les lichens sont des **Thallophytes** : leur appareil végétatif est donc un thalle ne présentant ni feuille, ni tige, ni racine, ni appareil conducteur; c'est à dire un amas plus ou moins régulier de cellules en lames plus ou moins découpées ou en axes plus ou moins ramifiés. Nous pouvons cependant distinguer plusieurs grands types morphologiques.

1 - Les thalles fruticuleux (figures A1, A2 et A3)

Le thalle est divisé en tiges cylindriques ramifiées ou en lanières aplaties entières ou divisées. Il adhère au support par un crampon réduit et peut donner des touffes pendantes ou dressées d'assez grande dimension.

exemples : *Usnea florida* *

Ramalina fraxinea *

Evernia prunastri *

* la nomenclature utilisée est celle de CLAUZADE, G. et ROUX, C, 1985

2 - Les thalles foliacés (figures B1 et B2)

Ils sont formés par des lames plus ou moins lobées, étalées sur le substrat auquel elles sont fixées par de nombreux petits crampons appelés rhizines ou par un seul pour les thalles dits ombiliqués.

exemples : *Parmelia caperata*

Xanthoria parietina.

3 - Les thalles squamuleux (figure C)

Ils sont formés de petites écailles juxtaposées ou imbriquées adhérant assez étroitement au substrat.

4 - Les thalles crustacés (figure D)

Ils sont fortement appliqués au substrat et il est impossible de les en détacher. Le thalle semble parfois être totalement incorporé au support.

exemples : *Pertusaria amara*

Phlyctis argena.

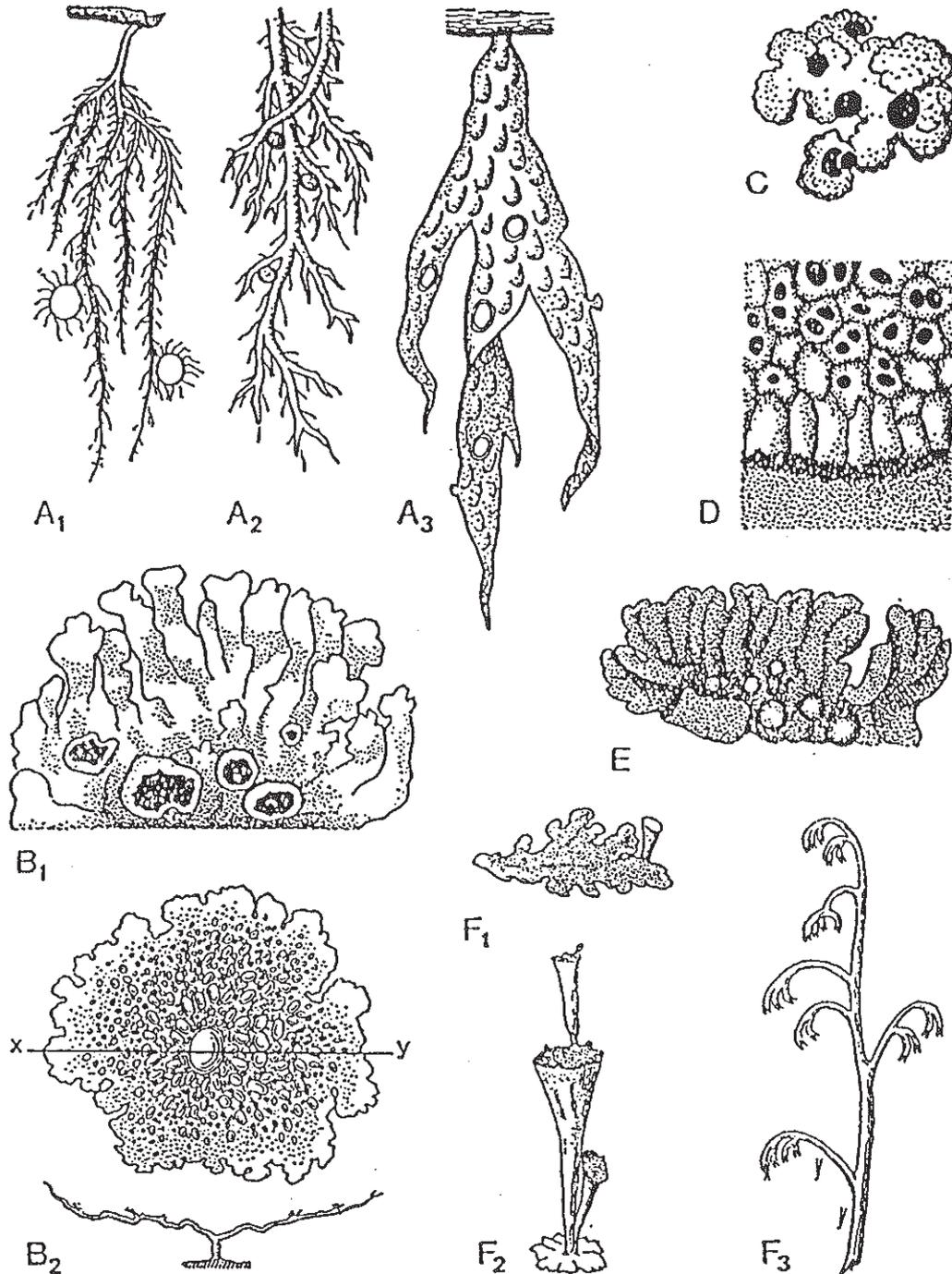


Schéma n°1 PRINCIPAUX TYPES MORPHOLOGIQUES

(d'après SOUCHON, 1971)

A : Thalles fruticuleux (A₁ : *Usnea florida* ; A₂ : *Anaptychia ciliaris* ; A₃ : *Ramalina fraxinea*) ; B : Thalles foliacés (B₁ : *Parmelia conspersa* ; B₂ : *Umbilicaria pustulata* ; xy : coupe transversale montrant l'insertion sur le substrat en un seul point) ; C : Thalles squamuleux : *Psora decipiens* à écailles juxtaposées ; D : Thalle crustacé (*Aspicilia calcarea*) ; E : Thalle gélatineux (*Leptogium hildebrandii*) ; F : Thalles complexes du genre *Cladonia* (F₁ : *C. endivæfolia* à thalle primaire très développé ; F₂ : *C. pyxidata* à thalle primaire réduit ; F₃ : *C. rangiferina* sans thalle primaire).

Grossissements approximatifs : A₁ : × 0,2 ; A₂ : × 0,3 ; A₃ : × 0,5 ; B₁ : × 0,8 ; B₂ : × 0,5 ; C : × 2,5 ; D : × 2 ; E : × 1,5 ; F₁ : × 1 ; F₂ : × 1,2 ; F₃ : × 1.

5 - Les thalles gélatineux (figure E)

Ce sont des thalles foliacés particuliers, d'aspect noirâtre : coriaces, friables et opaques à l'état sec, ou bien gélatineux, souples et translucides à l'état humide, car il existe une dominance de Cyanophycées.

exemple : *Collema* sp.

6 - Les thalles complexes (figures F1, F2 et F3)

Sur un thalle primaire foliacé, squamuleux ou crustacé parfois fugace, se dresse un thalle secondaire fructiculeux formé d'éléments appelés "Podétions" simples ou ramifiés.

exemple : *Cladonia* sp.

C - STRUCTURE ANATOMIQUE

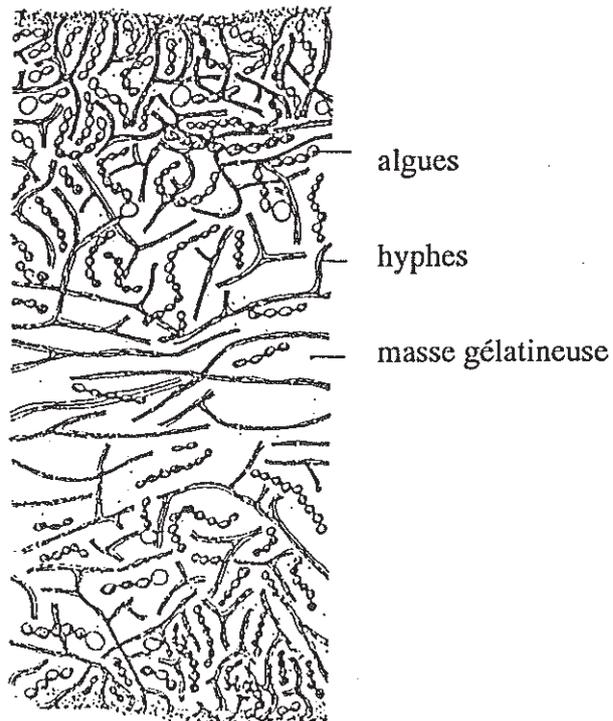
Observée au microscope, une coupe de thalle permet de distinguer les deux organismes qui vivent en symbiose dans un lichen. Leur répartition dans le thalle donnera deux grands types de structure.

1 - La structure homéomère (figure 2, page 20)

Dans cette structure on constate un simple mélange à peu près homogène des deux constituants. Ce type de structure est essentiellement rencontré chez les thalles gélatineux.

STRUCTURE HOMEOMERE

Collema pulposum



Coupe du thalle

(d'après DES ABBAYES in DERUELLE et LALLEMANT, 1983)

Figure 2

2 - La structure hétéromère

Elle est caractérisée par l'existence de couches ou de zones distinctes dues à l'organisation des hyphes en faux tissus. Il existe divers types de structures hétéromères déterminés par la disposition relative des diverses zones.

2.1 - La structure stratifiée (figure 3, page 22)

Elle est observée chez les lichens foliacés ou crustacés. Les différentes parties sont disposées selon des couches superposées. On a donc une structure dorso-ventrale avec :

- un cortex supérieur,
- une couche algale,
- une couche médullaire ou médulle formée par l'enchevêtrement des hyphes du mycosymbiote,
- un cortex inférieur.

2.2 - La structure radiée (figure 4, page 23)

Elle est observée chez les lichens fruticuleux, où les couches y sont disposées concentriquement. On a une structure à symétrie axiale avec :

- un cortex externe,
- une couche algale sous corticale,
- une couche médullaire centrale à orientation longitudinale.

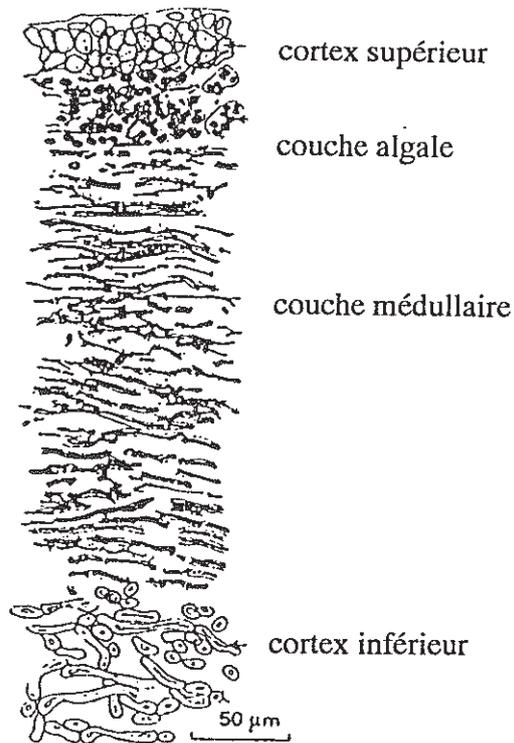
3 - Les structures particulières

3.1 - Les rhizines

Ce sont des organes particuliers du thalle constitués d'hyphes libres émergeant de la face inférieure du lichen. Ces hyphes forment des poils dont l'extrémité pénètre dans le substrat, assurant ainsi la fixation du thalle.

STRUCTURE HETEROMERE STRATIFIEE

Peltigera rufescens



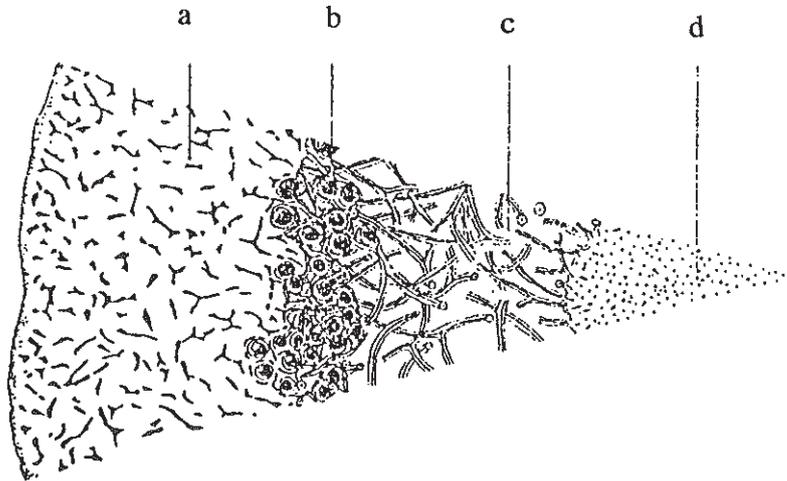
Coupe du thalle

(d'après LETROUT-GALINOU, et LALLEMANT
in DERUELLE et LALLEMANT, 1983)

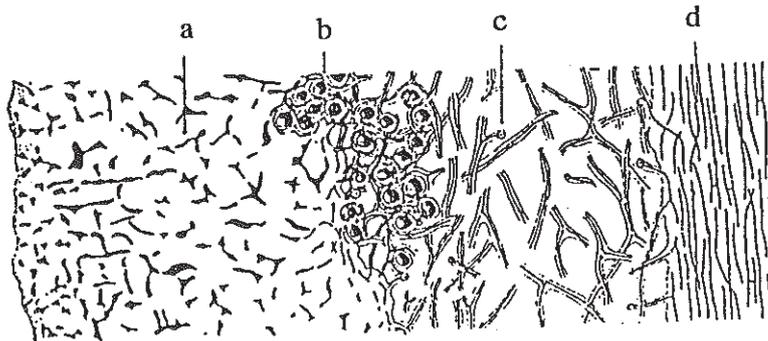
Figure 3

STRUCTURE HETEROMERE RADIEE

Usnea florida



Coupe
transversale



Coupe
longitudinale

a : cortex externe - b : couche algale
c : médulle archnoïde - d : médulle chondroïde

(d'après DES ABBAYES in DERUELLE et LALLEMANT, 1983)

Figure 4

3.2 - Les cyphelles

Ce sont de petites dépressions blanches, arrondies, formées par rupture du cortex inférieur, dont la cavité est délimitée par une couche de filaments venant de la médulle et prenant une disposition orientée mais toujours lâche (TROTET, 1968).

3.3 - Les pseudocyphelles

Ce sont des lacunes mal définies dans le cortex inférieur et dans lesquelles les filaments de la médulle deviennent libres et peuvent même déborder à l'extérieur.

II - REPRODUCTION ET MULTIPLICATION DES LICHENS

Les deux termes multiplication et reproduction ne sont pas synonymes. Il y a multiplication végétative quand un fragment du végétal, sans spécialisation bien visible, se détache et va ailleurs reconstituer le végétal entier. Dans la véritable reproduction, il y a production de cellules à caractères spéciaux, différentes des cellules qui les ont produites mais capables ensuite de redonner le type dont elles dérivent.

A - LA REPRODUCTION SEXUEE

Les organes reproducteurs que l'on peut observer sur les lichens appartiennent tous au champignon, l'algue ne subissant qu'une multiplication végétative à l'intérieur du thalle.

1 - Reproduction par des spores

Les fructifications correspondent à celles que l'on trouve chez les champignons, c'est à dire des basidiocarpes chez les Basidiolichens ou des ascocarpes chez les Ascolichens.

Ces fructifications donnent des spores qui sont des basidiospores produites et portées à l'extrémité des basides chez les Basidiolichens, des ascospores produites et logées à l'intérieur d'asques chez les Ascolichens.

Chez ces derniers les fructifications peuvent prendre la forme de petits disques posés sur le thalle appelés apothécies pour les Discolichens :

- apothécies lecanorines à rebord thallin proéminent
- apothécies lecideines sans rebord thallin
- lirelles ou apothécies allongées,

ou bien la forme de petites sphères en creux dans le thalle appelées périthèces pour les Pyrénolichens (SOUCHON, 1971).

2 - Reproduction par des conidies

Ces conidies ou conidiospores sont produites par des organes du thalle pouvant être facilement confondues par leur aspect avec des périthèces mais qui ne contiennent pas d'asques. Ce sont des pycnides.

Ces fructifications imparfaites contiennent des filaments qui émettent, selon des modalités variables, les conidies.

Les spores et conidies libérées germent lorsque les conditions sont favorables, mais doivent retrouver dans la nature l'algue appropriée pour rentrer en symbiose et former un nouveau lichen.

Cette obligation fait que le mode de reproduction le plus efficace et le plus courant reste la multiplication végétative. Celle-ci permet une dissémination du mycosymbiote et du phytosymbiote associés sans qu'il y ait rupture de l'état symbiotique et donc sans nécessiter une nouvelle lichénisation.

B - LA MULTIPLICATION VEGETATIVE

Il existe plusieurs possibilités de reproduction asexuée nécessitant ou non la formation d'organes spécialisés.

1 - Les sorédies et soralies

Les sorédies sont de petits amas de cellules gonidiales entourées de quelques filaments mycéliens. Ces sorédies sont rassemblées en plages farineuses appelées soralies au niveau des déchirures du cortex.

2 - Les isidies

Ce sont des excroissances du thalle, de formes variables souvent pédiculées, ce qui permet leur détachement du thalle. Le fragment ainsi libéré est capable de redonner un lichen complet.

3 - Fragmentation du thalle

C'est probablement le mode de multiplication des lichens le plus fréquent, par simple bouturage à partir d'un fragment du thalle, car les lichens à l'état sec sont pour la plupart extrêmement friables. Chaque fragment peut, si les conditions le permettent, donner un nouveau thalle.

III - PHYSIOLOGIE DES LICHENS

A - L'EAU - PROVENANCE, ABSORPTION ET CIRCULATION

L'eau provient de l'humidité atmosphérique ou des précipitations et du substrat. La teneur en eau des lichens sera donc très variable selon les conditions environnantes et également selon l'espèce.

Le mécanisme de l'absorption de l'eau est très différent de celui qui existe chez les végétaux supérieurs. Il s'agit surtout d'une absorption par des phénomènes physiques : capillarité et hygroscopicité des parois des hyphes. Cette absorption se produit par toutes les parties du thalle, mais surtout au niveau des ouvertures du cortex.

La circulation de l'eau à l'intérieur des thalles est pratiquement inexistante, il n'y a presque pas de circulation. On constate que l'eau présente dans le thalle est en très grande partie extracellulaire.

La pénétration de l'eau dans la cellule est au contraire un phénomène vital et semble très rapide. On constate que même lorsque la teneur en eau du thalle s'abaisse, celle du cytoplasme reste assez élevée.

La perte de l'eau se produit également par des phénomènes physiques et il s'agit donc surtout de la perte d'eau extracellulaire. La résistance des lichens à la sécheresse est grande, de 2 à 3 mois en général, et même 6 mois pour certains (SOUCHON, 1971).

B - RESPIRATION ET NUTRITION

1 - Respiration

L'intensité de la respiration est très faible (0,2 à 3 mg de CO₂ dégagé par gramme de poids sec et par heure) (TROTET, 1968). Ce taux varie avec la température et la teneur en eau du thalle.

La couche algale montre une respiration plus active que les couches fongiques. Elle représente vraiment la couche très active et très métabolique du complexe.

2 - Nutrition minérale

Les lichens prennent les éléments minéraux que l'eau atmosphérique dissout ou entraîne sous forme de suspension. Ces sels minéraux proviennent également de la poussière qui se dépose sur le lichen et son substrat, de même que de l'attaque mécanique et chimique de ce dernier par le lichen.

Chaque espèce dispose d'un pouvoir de fixation propre vis à vis d'un même élément. Cette fixation aboutit à une accumulation puisque le lichen ne perd pas de substance comme le font les végétaux supérieurs lorsqu'ils perdent leurs feuilles ou leur écorce. C'est en outre à cette faculté d'accumulation des lichens qu'il faut attribuer leur sensibilité aux agents de la pollution atmosphérique.

3 - Nutrition azotée

Quand l'algue est une cyanophycée, elle fixe l'azote atmosphérique; dans les autres cas, le lichen s'alimentera en azote minéral (nitrates, nitrites ou sels d'ammonium) dissous ou entraîné par l'eau.

Certaines espèces, dites **nitrophiles**, ont des besoins en azote très élevés. Comme les déjections animales et certains engrais contiennent une grande partie d'azote, ces lichens seront retrouvés dans des lieux fréquentés par les animaux et les terrains cultivés.

exemples d'espèces nitrophiles : *Xanthoria parietina*

Parmelia scortea

Parmelia acetabulum

La synthèse des protides à partir des produits azotés est très lente, peut-être par suite de la lenteur de la circulation, ce qui pourrait être la cause de la faible croissance et grande longévité des lichens.

4 - Nutrition carbonée

L'algue, par son activité photosynthétique, assimile le carbone atmosphérique. Cette assimilation est beaucoup plus faible que celle mesurée chez les végétaux supérieurs et chez les algues libres.

Quand le lichen vit sur un végétal ou sur des débris organiques, la nutrition carbonée peut être assurée également par le champignon qui n'a pas perdu ses facultés de parasitisme ou de saprophytisme.

Donc l'algue, grâce à sa chlorophylle, prépare par sa photosynthèse la nourriture nécessaire à la communauté et le champignon, tout en donnant sa forme au thalle, approvisionne l'algue en eau et sels minéraux, et la protège contre la sécheresse et les fortes radiations lumineuses.

Cette association à bénéfices réciproques est un parfait exemple de symbiose.

IV - EPIPHYTISME

Un épiphyte est un organisme vivant sur un hôte végétal nommé **phorophyte** mais sans tirer de cet hôte ni eau ni substances nutritives (LAMBINON, 1969).

Les lichens se développant sur l'écorce des troncs d'arbres sont en général épiphytes.

On parle, dans la plupart des cas, de lichen corticole, mais également de lichen muscicole lorsque celui-ci ne repose pas directement sur le tronc mais sur un tapis de mousses elles-mêmes corticoles. Par contre, les lichens vivant sur du bois mort, sont eux qualifiés de lignicoles : ce sont des saprophytes.

Chapitre II

LES LICHENS, INDICATEURS BIOLOGIQUES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

I - L'INFLUENCE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE SUR LA FLORE LICHENIQUE

A - PREMIERES OBSERVATIONS - HISTORIQUE

A la suite de nombreuses observations, on soupçonnait depuis longtemps l'influence néfaste des villes sur le développement lichénique. Par ses travaux, dès 1866, NYLANDER confirme cette hypothèse. Il constate que les lichens se raréfient au sein des villes et ne présentent souvent qu'un développement incomplet. NYLANDER est le premier à parler des lichens comme une sorte "d'hygromètre très sensible" et à établir ainsi une relation entre la salubrité de l'air et la population lichénique (DERUELLE, 1978).

En 1926, les travaux de SERNANDER, effectués dans la région de Stockholm (Suède), déterminent trois zones autour du centre ville. Ces zones sont en relation avec la pollution urbaine et correspondent à différents degrés de développement des lichens.

En 1930, HAUGSJA publie les premières cartes de répartition concernant la distribution d'une vingtaine d'espèces de lichens dans la région d'Oslo (Norvège). Actuellement, plus de cent zones urbaines réparties dans le monde entier ont été étudiées.

En France, les études ont concerné jusqu'ici les régions suivantes :

- le Limousin, Limoges, HENRION-GIRAUD en 1984
- la région Rhône-Alpes, Lyon, BELANDRIA
- le Nord de la France, DELZENNE-VAN HALUWYN en 1973
- la Normandie, LEROND en 1975 et 1981
- la Champagne, DERUELLE, LALLEMAND et ROUX en 1979
- la région Parisienne, DERUELLE en 1971 et 1983

- les Alpes, ASTA en 1980
- le midi de la France, Toulouse, VINCENT en 1968.

Incontestablement, ces nombreuses études soulignent l'influence de l'atmosphère urbaine sur la disparition des lichens. La carte n°1, page suivante, où figurent par un point les sites où la pollution atmosphérique a été étudiée à l'aide des lichens, nous montre clairement l'importance de ceux-ci dans le domaine de la bioindication.

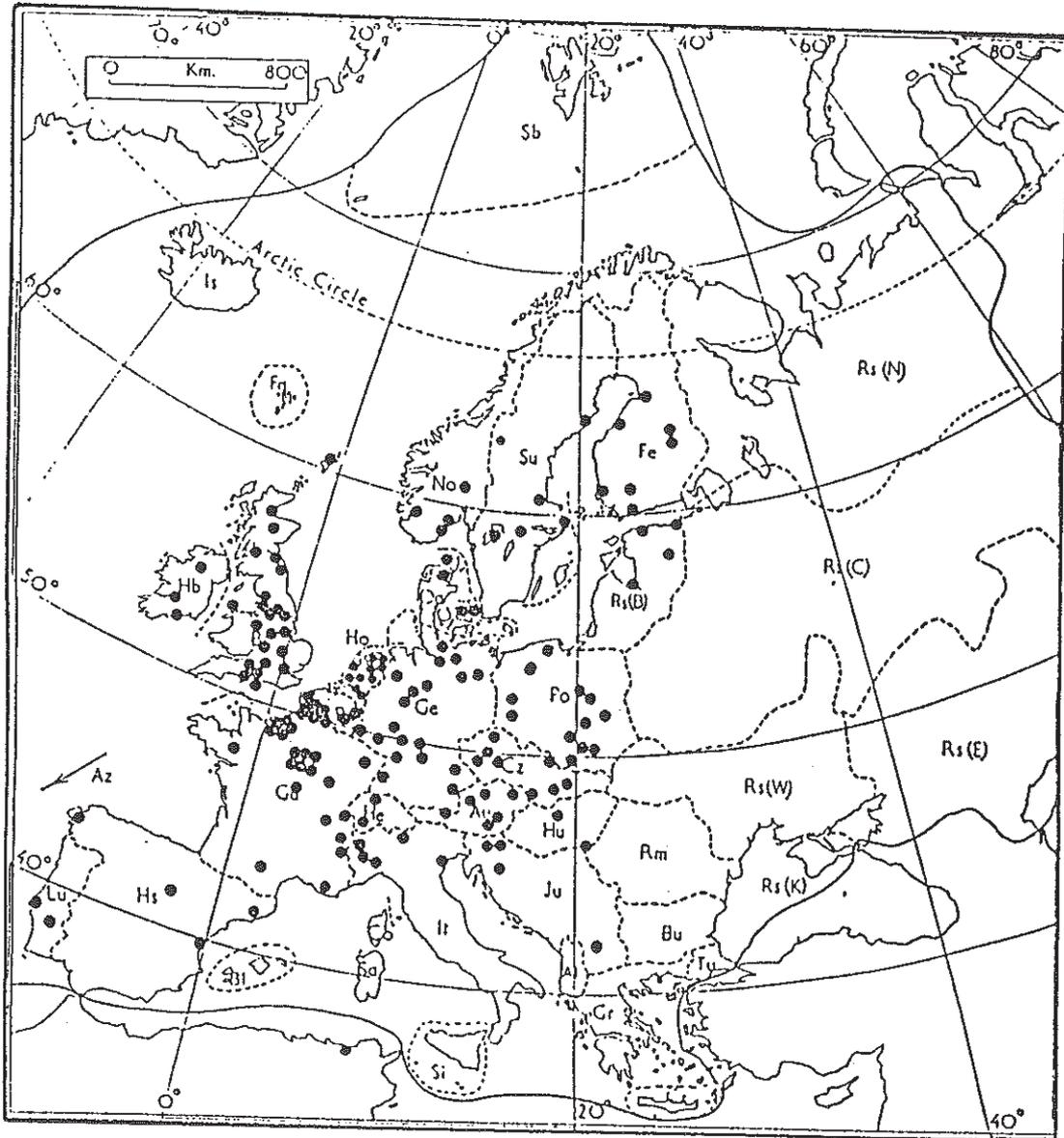
Ce n'est que dans les années 70 (LEBLANC et RAO, 1973 in DERUELLE, 1978) que cette disparition fut attribuée à la pollution atmosphérique et non plus à la sècheresse.

En 1964, DE SLOOVER et LAMBINON définissent un indice de pureté atmosphérique (IPA ou IAP) dont la formule actuelle, après de nombreuses modifications, est celle de LEBLANC et DE SLOOVER (1970).

En 1970, HAWKSWORTH et ROSE établissent une échelle quantitative d'estimation de la pollution atmosphérique en SO₂ en Angleterre et au Pays de Galles. De nombreuses études sont depuis effectuées à l'aide de cette méthode (HENRION, 1984).

B - LES EFFETS PROPREMENT DITS DE L'URBANISATION ET DE L'INDUSTRIALISATION SUR LA FLORE LICHENIQUE

La flore lichénique, à l'approche des villes et des zones industrielles, présente une diminution du nombre et du recouvrement des espèces et une régression de la fertilité. On donne à cet ensemble de modifications le terme de poléophobie (ERICHSEN, 1928 in DERUELLE 1978). Nous allons examiner ces différents effets.



Carte n° 1

LOCALISATION DES PRINCIPAUX SITES D'ETUDE LICHENS-POLLUTION
EN EUROPE OCCIDENTALE

matrice de la carte extraite de "FLORA EUROPAEA"

(d'après VAN HALUWYN, C., 1987)

1 - Réduction du nombre d'espèces

1.1 - Dans le temps

Elle est mise en évidence par comparaison de listes et herbiers très anciens avec la flore actuelle, notamment en Grande Bretagne (COPPINS et CAMBLEY, 1974 in DERUELLE, 1978). Cette réduction du nombre d'espèces dans le temps va de pair avec l'augmentation de la pollution acide.

On a également observé la réinstallation de lichens dans des lieux dont la qualité de l'air s'est améliorée. L'exemple le plus récent en est les jardins du Luxembourg à Paris, où l'on a observé la réapparition de certaines espèces.

1.2 - Dans l'espace

On a constaté que plus le nombre d'espèces diminuait plus l'on se rapprochait du centre des villes et que les espèces crustacées, plus résistantes à l'influence urbaine, pénétraient plus à l'intérieur des villes.

2 - Diminution du recouvrement

On note une réduction du recouvrement total des lichens à l'approche du centre des villes. De plus, on constate que le recouvrement des lichens crustacés augmente jusqu'à un maximum en partant du centre des villes puis décroît à cause de la concurrence des espèces foliacées et fructiculeuses qui elles, réapparaissent.

3 - Diminution de la fertilité

3.1 - Dans le temps

Par comparaison avec des listes anciennes détaillées, des espèces décrites fertiles à l'époque ne se retrouvent plus qu'à l'état stérile.

3.2. - Dans l'espace

Par observation de la stérilité de certaines espèces habituellement fertiles dans les villes et leur périphérie.

II - CARACTERES PARTICULIERS DES LICHENS JUSTIFIANT LEUR CHOIX COMME BIOINDICATEURS

Les lichens possèdent de nombreuses particularités et des différences fondamentales avec les végétaux supérieurs expliquant leur choix comme bioindicateurs. Ces particularités sont :

- une activité continue dans l'année,
- un métabolisme lent,
- un grand pouvoir d'accumulation associé à une absence de moyens de lutte contre la pollution dont il résulte une grande sensibilité.

A - ACTIVITE CONTINUE

A la différence des végétaux supérieurs qui perdent leurs feuilles l'hiver, les lichens présentent une activité photosynthétique ininterrompue au cours de l'année. Ils subissent donc les effets continus de la pollution résultant de l'augmentation d'émission de polluants au cours de l'hiver (chauffage domestique, brouillards toxiques ...) et de leur manque d'élimination par perte des feuilles.

Cette pérennité est une caractéristique essentielle expliquant la sensibilité des lichens à la pollution atmosphérique.

B - METABOLISME LENT

Le métabolisme très lent des lichens entraîne un faible taux de croissance et une grande longévité permettant de suivre l'évolution de la pollution

C - POUVOIR D'ACCUMULATION ET ABSENCE DE MOYENS DE LUTTE

Les cellules lichéniques accumulent de façon non sélective des substances prélevées dans l'atmosphère (soufre, plomb, fluor, éléments radioactifs, etc...). Cette capacité d'accumulation permet d'utiliser les lichens comme bioindicateurs d'une pollution spécifique.

Les lichens absorbent les aliments par toute la surface de leur thalle. La pression osmotique élevée des cellules leur permet de capter la vapeur d'eau en atmosphère non saturée. Ceci souligne l'importance des brouillards qui augmentent au cours des pollutions atmosphériques.

III - LES DIFFERENTES METHODES UTILISANT LES LICHENS COMME BIOINDICATEURS DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Ces différentes méthodes peuvent être divisées en trois catégories :

- les méthodes **qualitatives** utilisant des observations,
- les méthodes **quantitatives** par calcul d'un indice de pollution,
- les méthodes **indirectes** par expérimentation.

A - LES METHODES QUALITATIVES

Ces méthodes permettent d'estimer le taux de pollution atmosphérique par l'observation de la végétation lichénique. Ainsi on a pu établir plusieurs échelles en comparant les valeurs établies par des mesures physico-chimiques de la pollution atmosphérique avec les cartes de répartition de certaines espèces.

La méthode de HAWKSWORTH et ROSE (1970) est actuellement la plus utilisée. Elle met au point une échelle quantitative d'estimation de la teneur en SO_2 atmosphérique par l'étude des lichens épiphytes, mais nécessite d'être adaptée à la région étudiée.

B - LES METHODES QUANTITATIVES

Elles permettent l'estimation de la pollution atmosphérique par le calcul mathématique d'un indice de pollution. Cet indice est déterminé à partir de données quantitatives de la flore lichénique (nombre d'espèces, recouvrement, fréquence).

Les deux indices utilisés dans les études actuelles sont :

- l'indice de pureté atmosphérique (IPA ou IAP) calculé en relevant toutes les espèces présentes
- l'indice de poléotolérance (IP) utilisant des espèces indicatrices.

C - LES METHODES INDIRECTES

Ces méthodes nécessitent une expérimentation plus importante de laboratoire : mesure des échanges gazeux des thalles, étude de la variation du spectre d'absorption ou de fluorescence des pigments du phycosymbiote, calcul du pouvoir de multiplication des soridies.

D - METHODE CHOISIE POUR NOTRE ETUDE

Pour des raisons pratiques, nous utilisons ici la méthode qualitative, inspirée de celle de HAWKSWORTH et ROSE. A celle-ci, nous avons ajouté la méthode phytosociologique classique, qui permet de se baser, non plus sur le critère de présence/absence d'une seule espèce (critère aléatoire, car une espèce peut aussi être absente pour des raisons indépendantes de la pollution atmosphérique), mais sur un ensemble d'espèces qui définissent par leur combinaison des communautés (associations) dont nous allons observer les variations de composition floristique.

IV - LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

A - GENERALITES

1 - Les principaux polluants (OMS, Genève 1991)

Les polluants atmosphériques se présentent sous forme de gaz ou de poussières :

- le dioxyde et le trioxyde de soufre
- l'hydrogène sulfuré et les mercaptans
- le monoxyde de carbone
- les hydrocarbures et les aldéhydes
- les oxydes d'azote
- le plomb
- le fluor et les fluorures
- les chlorofluorocarbones (CFC)
- des particules qui peuvent être solides (Brome, Cadmium, Amiante) semi liquides ou même liquides et très finement dispersées (aérosols). Ces particules constituent des fumées ou brouillards pouvant se charger de gaz toxiques.

2 - Les sources d'émission

Il existe de nombreuses sources de pollution atmosphérique que l'on peut classer en quatre classes principales (RAMADE, 1979)

2.1. - Emission industrielle

par des industries chimiques (raffinage du pétrole; industrie des matières plastiques, peintures et vernis; industrie de l'acide sulfurique et phosphorique ...), par la métallurgie et la sidérurgie, par les centrales nucléaires, ...

2.2. - La combustion

par utilisation de combustibles fossiles solides, liquides ou gazeux (fuel-oil lourd, fuel-oil léger, fuel-oil domestique, charbon ...) dans les foyers domestiques et industriels.

2.3. - Les moteurs de véhicules automobiles

2.4. - Les engrais agricoles et pesticides

B - LE CYCLE DU SOUFRE

L'atmosphère a un contenu moyen en soufre d'environ deux millions de tonnes (BONSANG, 1982), mais elle n'est qu'une zone de passage par laquelle transitent chaque année environ deux cents millions de tonnes de soufre sous diverses formes chimiques.

Le soufre circule dans la biosphère, principalement sous forme de H_2S , SO_2 et SO_4^{2-} . Par diverses réactions biologiques et chimiques, les formes oxydées se transforment en formes réduites et vice versa.

Le soufre provient pour un tiers des activités humaines et pour la majeure partie de trois réservoirs naturels qui échangent continuellement entre eux de la matière :

- les roches : lithosphère
- les océans : hydrosphère
- la biomasse

Nous allons décrire de façon simplifiée le cycle du soufre (voir schéma n°5, page 45) :

- le H_2S provient essentiellement de la dégradation de la matière organique (les végétaux assimilent le soufre sous forme de sulfates et autres sels minéraux. Celui-ci entre dans la composition d'acides organiques et d'acides aminés. En se décomposant, ces molécules donnent des sulfures aliphatiques volatils (CH_3SCH_3 : sulfure de diméthyl), le sulfure d'hydrogène étant lui produit par décomposition bactérienne en milieu anaérobie.

Le volcanisme produit également du H_2S . Ainsi émis dans l'atmosphère, l'hydrogène sulfuré est oxydé en SO_2 .

- le SO_2 provient donc de l'oxydation du H_2S dans l'atmosphère, mais également du volcanisme et surtout de l'activité humaine (combustion, industries chimiques...). Le SO_2 constitue par excellence la matière soufrée circulant entre les continents et l'océan (DUVIGNEAUD, P. 1974).

Dans l'air, le SO_2 se transforme partiellement en SO_3 puis en H_2SO_4 et éventuellement en $(NH_4)_2SO_4$. Le soufre est donc rendu au sol et aux océans sous forme d'aérosols de H_2SO_4 ou de sulfates.

Les gaz contenant le soufre peuvent cependant être amenés directement au contact des plantes et des sols qui peuvent les absorber par diffusion.

- les sulfates proviennent des océans. L'action du vent en surface produit des particules sous forme d'embruns. Ces aérosols ainsi produit retombent sur les continents et les océans.

C - L'ANHYDRIDE SULFUREUX : SO_2

Nombreux sont les polluants capables de produire une action néfaste sur les lichens. Cependant, de par son importance au point de vue quantitatif et du fait des nombreuses études expérimentales réalisées, le SO_2 est considéré comme témoin principal du niveau moyen de la pollution atmosphérique.

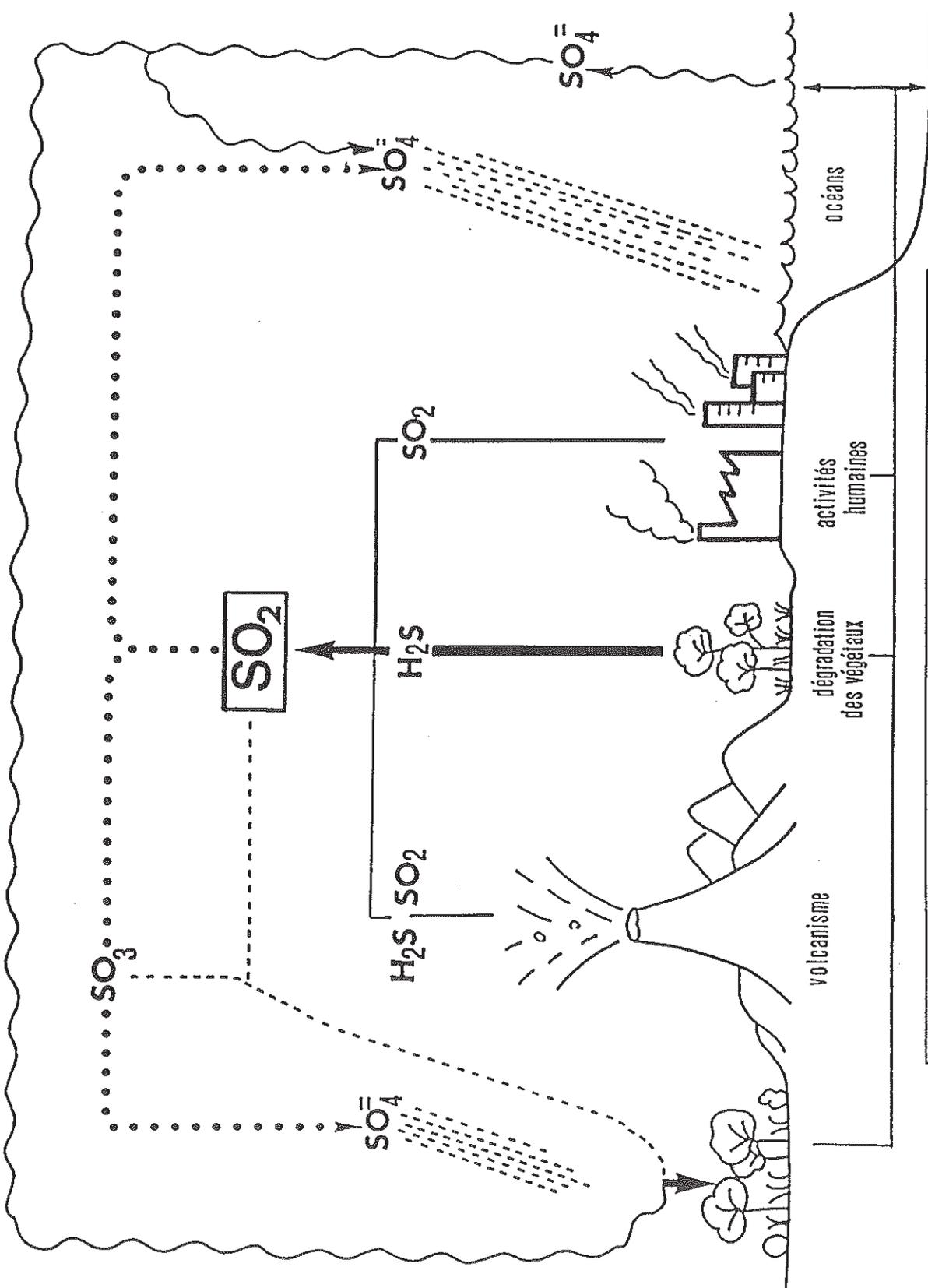


Schéma n° 5 CYCLE SIMPLIFIÉ DU SOUFRE

1 - Les sources d'émission

1.1 - Sources d'émission naturelles

Dans les conditions naturelles, le SO₂ se rencontre dans l'air à l'état de traces infinitésimales. On évalue la concentration moyenne normale de ce gaz dans la troposphère à 0,2 ppb (parties par milliard). Le volcanisme et l'oxydation dans l'atmosphère de composés sulfurés volatils produits en surface de l'océan sont les principales sources naturelles de SO₂ (BONSANG, B 1982).

1.2 - Sources d'émission artificielles

Actuellement l'usage de combustibles représente la cause essentielle de pollution de l'atmosphère par le SO₂. Les sources de pollution se rencontrent surtout avec :

- les véhicules
- les centrales thermiques
- les centrales d'incinération d'ordures
- le chauffage des habitations
- les installations de combustion de la sidérurgie et les fonderies des métaux ferreux
- l'industrie des métaux non ferreux
- l'industrie de l'acide sulfurique
- l'industrie du papier Kraft
- les usines de production et de traitement des gaz
- l'industrie du pétrole.

L'activité humaine a donc profondément déséquilibré le cycle biogéochimique du soufre. L'atmosphère urbaine se trouve aujourd'hui constamment contaminée par le SO₂.

On a pu noter des taux de SO₂ allant jusqu'à 2,49 ppm (parties par million)* à Los Angeles (la normale étant de 0,15 à 0,70 ppm).

* : on exprime le plus souvent le taux de SO₂ en microgrammes par mètre-cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Pour convertir des $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ppm, il suffit (en sachant que 1 ppm vaut 2857 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de multiplier la teneur en SO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par $35 \cdot 10^{-3}$ (0,00035).

2 - Les effets du SO₂ sur les lichens

Le SO₂ présente de nombreux effets nocifs sur l'environnement :

- maladies respiratoires chez l'homme et les animaux
- dégradation des plantes vertes et des champignons
- dégradation des matériaux par corrosion
- contribution à la formation des pluies acides.

Nous allons plus particulièrement nous intéresser aux effets du SO₂ sur les lichens. Pour étudier ces effets, de nombreuses techniques ont été utilisées en laboratoire et sur le terrain :

- expériences d'exposition des thalles au SO₂ par fumigation en laboratoire ou dans la nature et par immersion,
- technique de transplantation du lichen d'une zone rurale peu polluée à une zone urbaine très polluée.

On a pu ainsi constater que les lichens présentaient une très forte sensibilité au SO₂, puis qu'ils ne peuvent pas survivre à une concentration moyenne annuelle en SO₂ supérieure à 35 ppb (la concentration moyenne des grandes villes est de 100 ppb). En résumé on constate donc :

- des atteintes morphologiques, soit une décoloration et une réduction du thalle, des nécroses périphériques et la plasmolyse des cellules algales.

- une accumulation du soufre dans les thalles. Le SO_2 n'est pas absorbé sous forme gazeuse par les cellules du thalle mais doit se combiner avec l'eau du lichen pour former des sels de l'acide sulfureux qui seront eux absorbés.
- des effets sur la physiologie des lichens par diminution de la respiration et de la photosynthèse et par diminution de la reproduction et de la multiplication végétative.

D - LE PHENOMENE DES PLUIES ACIDES

On attribue, avec de fortes présomptions, le dépérissement accéléré des forêts constaté en Europe à des pollutions diffuses transfrontières nommées "pluies acides".

Ces pluies sont formées essentiellement de dioxyde de soufre et d'oxyde d'azote lesquels subissent, pendant leur transfert dans l'atmosphère, des oxydations et retombent à terre sous forme d'aérosols de sulfate de nitrate (dépôts secs) ou d'acides sulfuriques et nitriques (dépôts humides) (LIKENS, G., WRIGHT, R., ...1979).

Cependant actuellement les pluies acides ne sont pas considérées comme les seules causes du dépérissement des forêts. L'expression classique "pluies acides" doit être évitée car elle ne correspond qu'à un aspect de la réalité. En effet, les agressions auxquelles sont soumis les feuillages sont complexes et variées : il semblerait que si les "pluies acides" peuvent être très nuisibles à la vie biologique dans les lacs, elles ne le sont sans doute que faiblement vis à vis des feuillages.

Il en va tout autrement des dépôts secs et des brouillards, beaucoup plus acides et qui possèdent en outre un fort pouvoir oxydant (BONNEAU, FRICKER 1985). En effet, sous l'influence d'hydrocarbures et des radiations ultraviolettes, on assiste à une succession de réactions chimiques où intervient l'oxyde d'azote et qui aboutissent à la production d'ozone, de nitrate de peroxyacétyl et d'eau oxygénée, désignés sous le terme d'ensemble de photooxydants.

E - LES AUTRES POLLUANTS AYANT UNE ACTION SUR LES LICHENS

Bien que le SO₂ soit le plus représentatif du niveau moyen de la pollution atmosphérique, nous devons noter l'existence d'autres polluants qui font l'objet de recherches récentes.

1 - Fluor et fluorures volatils

émis par l'industrie (Asta, 1980), mais ne concernant pas notre région.

2 - Eléments radioactifs

Les lichens accumulent les éléments radioactifs artificiels produits par l'homme (explosions nucléaires, réacteurs nucléaires). Les éléments les plus étudiés sont le Césium 137 (¹³⁷Cs) et le Strontium 90 (⁹⁰Sr) qui sont les plus dangereux à long terme pour l'homme.

3 - Métaux lourds

Ces métaux lourds ont surtout une origine industrielle : Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Manganèse (Mn), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Fer (Fe), Mercure (Hg), Chrome (Cr).

Cependant, le métal le plus étudié de par ses effets écotoxicologiques est le Plomb (Pb) (DERUELLE, 1983). Il provient de la combustion des essences car il est utilisé comme antidétonnant sous forme de Plomb tétraéthyle Pb(C₂H₅)₄ et de Plomb tétraméthyl Pb(CH₃)₄.

4 - Engrais

Engrais phosphatés, nitrates, engrais ammoniacés (Deruelle, Lallement et Roux, 1979). L'utilisation des engrais modifie l'ensemble de la végétation lichénique en favorisant le développement des espèces nitrophiles. Ces espèces recherchent les substances minérales solubles, comme l'azote, et leur développement est continuellement en expansion.

Chapitre III

APPLICATION A LA REGION DE SAILLAT ET SAINT-JUNIEN

(Haute-Vienne et Charente)

I - PRESENTATION DE LA REGION

A - CADRE NATUREL

La région dont l'étude nous a été confiée se situe pour la plus grande partie en Haute-Vienne (l'un des trois départements du Limousin) et en Charente pour un quart (carte n° 2, page 53).

1 - Géologie

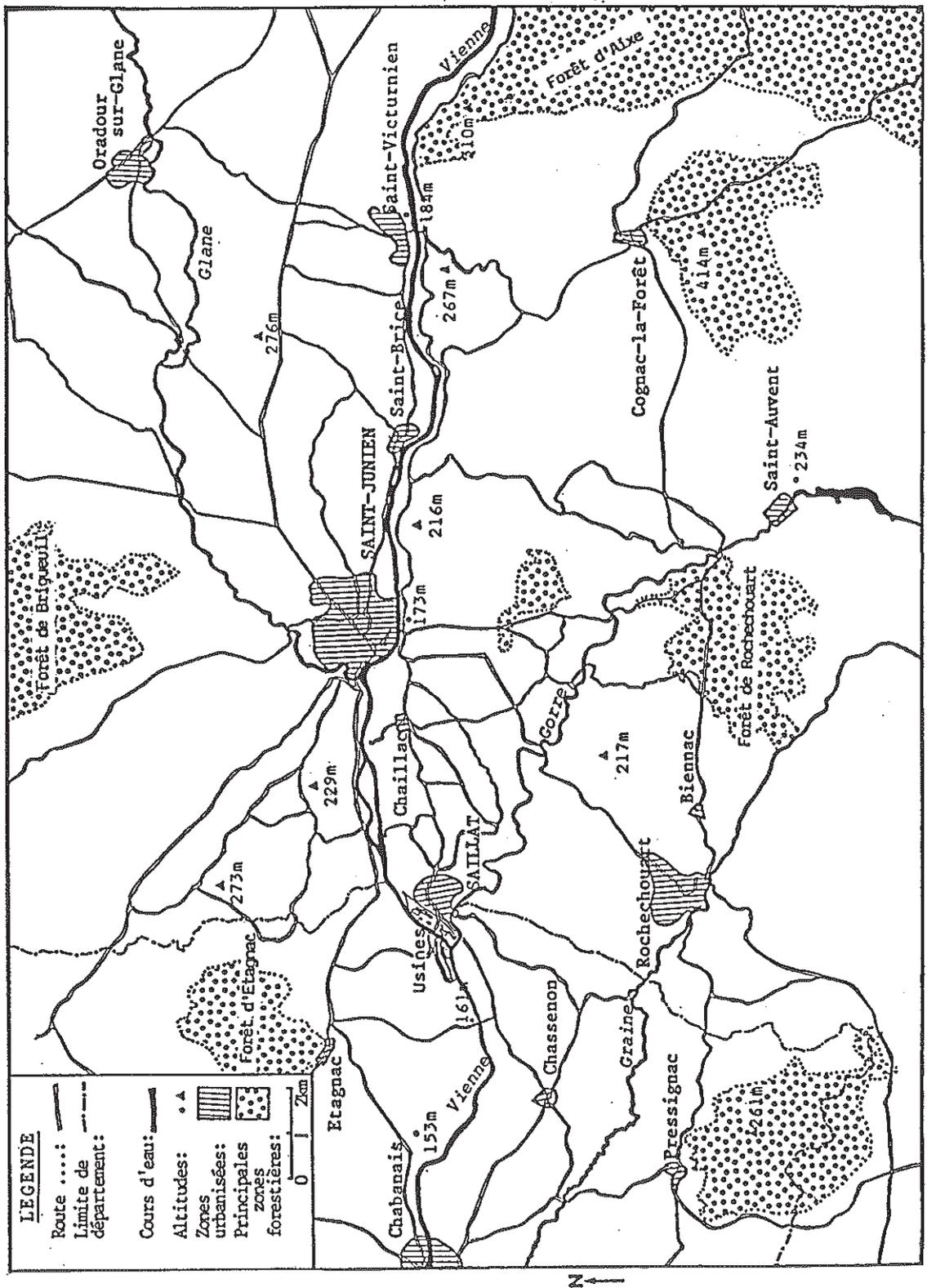
Le sol de cette région est essentiellement constitué de **roches cristallines et métamorphiques**.

En ce qui concerne les **roches cristallines**, on rencontre le plus souvent du granite. Ces zones granitiques sont situées autour de Saint-Junien (Nord/Nord-Est), de Brigueuil, d'Oradour-sur-Glane et également en un point isolé autour de Cognac-la-Forêt. On rencontre également quelques affleurements de diorites autour de Saint-Brice.

Les roches métamorphiques quant à elles, sont présentes sous forme de gneiss autour de Rochechouart, Saillat-sur-Vienne, Chaillac et Chassenon, et plus ponctuellement sous forme de migmatites autour de Saint-Victurnien.

2 - Relief

Notre secteur d'étude se situe dans la région du Haut Limousin (VERYNAUD, 1981) et fait partie du plateau de Limoges.



Carte n° 2 PRESENTATION DE LA REGION

C'est une **zone de bas plateaux**, inclinés du Sud-Est au Nord-Est, et dont les altitudes sont comprises entre 200 et 300 mètres. Seules les hauteurs de Cognac-la-Forêt, incluses dans cette zone, atteignent les 400 mètres.

Cette zone de plateaux se trouve entaillée par la vallée de la Vienne dont les altitudes sont inférieures à 200 mètres.

3 - Les cours d'eau

La Vienne : elle constitue le cours d'eau principal; affluent de la Loire, elle prend sa source sur le plateau de Millevaches (Corrèze).

Les affluents de la Vienne :

- sur la rive droite, la Glane qui remonte vers Oradour-sur-Glane
- sur la rive gauche, la Graine qui traverse Rochechouart et la Gorre qui part au niveau de Saillat-sur-Vienne.

4 - Climatologie

La flore lichénique que nous nous sommes efforcés d'inventorier est particulièrement sensible à l'hygrométrie et aux précipitations.

Il nous a donc paru essentiel de définir précisément le climat de la région prospectée, et dans ce but, nous avons consulté les données climatologiques fournies par les stations météorologiques de Limoges Bellegarde et de Cognac. Nous avons aussi consulté avec profit l'atlas agroclimatique du Limousin, édité par la Direction de la Météorologie Nationale (1989).

Nous avons retenu un certain nombre de stations réparties le mieux possible à travers la zone d'étude.

Pour les précipitations, nous avons choisi Rochechouart et Saint-Junien pour la Haute-Vienne, et La Péruse en Charente pour rendre compte du microclimat de la "ditiion" De plus, Limoges et Angoulême nous servent de stations de référence régionales.

Les températures étant relevées en des stations moins nombreuses, nous ne pouvons disposer que des données thermométriques de Rochechouart et La Péruse, de Limoges Bellegarde et Angoulême.

La comparaison des données climatiques n'est pas toujours idéale car celles-ci correspondent à des périodes souvent fort diverses.

4.1 - Données climatologiques

a) Précipitations

* Hauteurs des précipitations

Tableau n° 1, page 56

Nous pouvons constater que sur l'ensemble de la région, s'étendant du département de la Charente à celui de la Haute-Vienne, les précipitations sont toujours inférieures à 1000 mm mais en constante augmentation de l'Ouest vers l'Est en fonction de l'altitude croissante.

- Angoulême	83 m	823 mm
- La Péruse	250 m	894 mm
- Rochechouart	240 m	906 mm
- Limoges Bellegarde	402 m	947 mm

Seule la Station de Saint-Junien échappe à cette progression régulière (874 mm) car bien que proche de Rochechouart, elle se situe à une altitude inférieure dans la vallée de la Vienne.

Stations Altitude Période	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
Angoulême La Couronne 83 m (1961-1990) (1971-1990)	H J	79,6 17	72,6 15	70,4 15	70,7 14	80,9 17	54,6 12	44,2 10	51,9 10	67,0 9	69,0 13	78,8 14	83,6 15	823,3 164
La Péruse 250 m (1961-1990) (1965-1982)	H J	88,5 18	78,8 15	76,4 16	72,4 13	85,6 17	56,8 11	56,2 11	52,6 12	71,7 12	72,6 13	89,8 16	87,7 18	894,5 172
Rochechouart 240 m (1966-1990)	H J	94,5 17	74,7 14	75,4 14	73,2 13	95,1 15	63,9 11	41,7 8	52,5 9	66,8 10	84,1 12	82,3 13	93,1 15	906,3 150
Saint-Junien 180 m (1961-1990)	H J	90,0 15	74,5 13	78,3 14	72,3 13	87,6 14	53,4 10	43,6 7	60,3 9	71,3 9	72,9 12	84,3 13	89,3 14	874,3 145
Limoges Bellegarde 402 m (1949-1990)	H J	88,2 17	80,7 15	76,3 16	72,7 15	86,3 16	69,1 13	58,2 11	74,9 13	78,3 12	78,5 14	88,0 16	96,3 17	947,6 175

Tableau n° 1

PRECIPITATIONS H : hauteur moyenne des précipitations en mm
J : nombre de jours de précipitations

* Nombre de jours de pluies

On constate que les nombres de jours de pluie sont très proches à La Péruse, Angoulême et Limoges (164, 172 et 175), et légèrement inférieurs pour Rochechouart et Saint-Junien (150 et 145).

Si la répartition des jours de pluie dans l'année est assez régulière à La Péruse et à Limoges, variant :

- de 11 à 18 jours de pluie à La Péruse
- et de 11 à 17 à Limoges,

en revanche la répartition est plus contrastée pour Angoulême, Rochechouart et Saint-Junien, où le nombre de jours de pluie varie :

- de 9 à 17 pour Angoulême,
- de 7 à 15 pour Saint-Junien,
- et de 8 en juillet à 17 en janvier pour Rochechouart.

* Répartition saisonnière des pluies

Pour chaque saison nous avons calculé la pluviométrie en totalisant les valeurs des trois mois correspondant à chacune de ces saisons, en sachant que :

- Hiver (H) = Décembre + Janvier + Février
- Printemps (P) = Mars + Avril + Mai
- Eté (E) = Juin + Juillet + Août
- Automne (A) = Septembre + Octobre + Novembre

Le résultat obtenu en mm de précipitation est exprimé en pourcentage du total moyen annuel des précipitations. Le classement des saisons, dans l'ordre décroissant de ces pourcentages, traduit le régime pluviométrique.

Stations	H	P	E	A	Régime pluviométrique
Angoulême	28,6	26,9	18,3	26,1	H.P.A.E.
La Péruse	28,5	26,2	18,5	26,2	H.A.P.E.
Rochechouart	28,9	24,6	22,1	25,7	H.A.P.E.
Saint-Junien	29	25,7	21,1	26,1	H.A.P.E.
Limoges Bellegarde	28	24,8	21,3	25,8	H.A.P.E.

Pour les stations de La Péruse, Rochechouart, Saint-Junien et Limoges Bellegarde, le régime pluviométrique est de type **H A P E**, régime typique d'un climat atlantique avec des précipitations plus abondantes en hiver et en automne.

Seule la station d'Angoulême présente un régime pluviométrique différent, de type **H P A E**, où l'on constate des pluies plus importantes au printemps.

Il nous faut cependant remarquer que de 1961 à 1982, le régime pluviométrique d'Angoulême était de type **H A P E** (COLAS, 1985). Nous ne tiendrons donc pas compte de cette différence qui est due à des pluies exceptionnelles constatées aux printemps de 1983 et 1986.

* Autres observations : les brouillards

Tableau n° 2, page 59

Les nombres de jours de brouillard ont été obtenus pour deux stations seulement : Rochechouart et Limoges.

La différence entre ces deux stations est très importante. On note en effet trois fois plus de jours de brouillard à Limoges (83) qu'à Rochechouart (27). Ces jours se situent principalement en automne et en hiver.

Station - Altitude Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
Rochechouart - 240 m (1979 - 1986)	3	2	2	1	1	1	1	2	3	3	3	3	27
Limoges Bellegarde - 402 m (1971 - 1990)	12	7	6	5	5	4	3	4	5	8	9	10	83

Tableau n° 2

NOMBRE DE JOURS DE BROUILLARD

b) Températures

* Températures moyennes

Tableau n° 3, page 61

Une diminution régulière de la température moyenne s'observe d'Angoulême (11,9°C) à Limoges (10,7°C) avec des valeurs intermédiaires à La Péruse (11,2°C) et Rochechouart (11,3°C).

Cette évolution se retrouve en ce qui concerne la température moyenne du mois le plus chaud (Juillet) qui varie de 19,7°C à Angoulême à 18,4°C à Limoges, avec 19,2°C à La Péruse et 19,1°C à Rochechouart.

Il en est de même pour la température moyenne du mois le plus froid (Janvier) qui s'abaisse de 5,1°C à Angoulême à 3,6°C à Limoges, avec 4,4°C à Rochechouart et 3,7°C à La Péruse.

L'écart entre la température moyenne du mois le plus froid et la température moyenne du mois le plus chaud est important : 14,6°C à Angoulême et 14,8°C à Limoges.

* Nombre de jours de gelées

Tableau n° 5, page 63

Le nombre de jours de gelées sous abri par an n'est fourni que pour deux stations seulement : Rochechouart et Limoges Bellegarde. On compte environ 52 jours de gelées à Limoges Bellegarde. En revanche, Rochechouart a une situation plus privilégiée avec seulement 42 jours de gelées.

Les mois sans gelées se situent uniquement dans la période estivale (Juin, Juillet et Août).

Stations Altitude Période	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Angoulême La Couronne 83 m (1961-1990)	5,1	6,4	7,5	10,6	14,1	16,9	19,7	19,2	17,0	13,4	8,3	5,6	11,9	
La Péruse 250 m (1961-1990)	3,7	5,0	7,1	9,5	13,3	16,6	19,2	18,5	16,2	12,4	7,2	4,4	11,2	
Rochechouart 240 m (1967-1990)	4,4	5,6	7,2	9,6	13,1	16,5	19,1	18,5	15,9	12,4	7,6	5,0	11,3	
Limoges Bellegarde 402 m (1961-1990)	3,6	4,9	6,6	9,3	12,7	15,9	18,4	17,9	15,8	12,0	7,1	4,3	10,7	

Tableau n° 3

TEMPERATURES MOYENNES

Stations Altitude Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Rochechouart T. maxi T. mini 240 m (1967-1990)	7,6 1,3	9,2 2,0	11,6 2,8	14,6 4,6	18,5 7,9	22,1 10,9	25,4 12,8	24,7 12,3	21,9 9,9	17,3 7,5	11,5 3,8	8,3 1,6	16,0 6,6
Limoges Bellegarde T. maxi T. mini 402 m (1961-1990)	6,7 0,5	8,3 1,4	10,6 2,5	13,7 4,8	17,3 8,0	20,9 11,0	23,8 13,1	23,1 12,8	20,8 10,8	16,4 7,5	10,5 3,6	7,5 1,1	15,0 6,1

Tableau n° 4

TEMPERATURES MAXIMALES ET MINIMALES

Station - Altitude Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
Rochechouart - 240 m (1967 - 1990)	10	9	6	2	0,5	0	0	0	0,5	1	6	10	42
Limoges Bellegarde - 402 m (1961 - 1990)	12	10	8	3	0,5	0	0	0	0,5	1	6	10	52

Tableau n° 5

NOMBRE DE JOURS DE GELEES

c) Vents

Schéma n° 6, page 65

Nous avons établi la rose des vents de Limoges Bellegarde d'après les valeurs obtenues de 1951 à 1980 par la station météorologique de cette ville.

Le vent est caractérisé par la vitesse à laquelle il souffle, relevée en mètres par seconde et par la direction d'où il provient. On utilise, pour indiquer cette direction, une rose de 36 (on affecte des nombres pairs aux directions : 18 pour le Sud, 36 pour le Nord et 02 pour une direction comprise dans le secteur 10 à 30°).

Nous pouvons constater que les vents à Limoges sont généralement faibles à modérés. Les vents dominants occupent essentiellement le quart Sud-Ouest avec des directions privilégiées Nord-Est et Sud-Ouest. Les vents d'Est et de Sud-Est sont eux très rares.

4.2 - Synthèse climatologique

Nous avons essayé de faire une synthèse des diverses données afin de mieux préciser les caractéristiques climatiques de notre région d'étude. Nous avons utilisé les données climatiques concernant les précipitations et les températures pour effectuer cette synthèse.

a) Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN

Schéma n° 7, page 66

Ces diagrammes permettent de mettre en évidence d'éventuelles périodes de sécheresse.

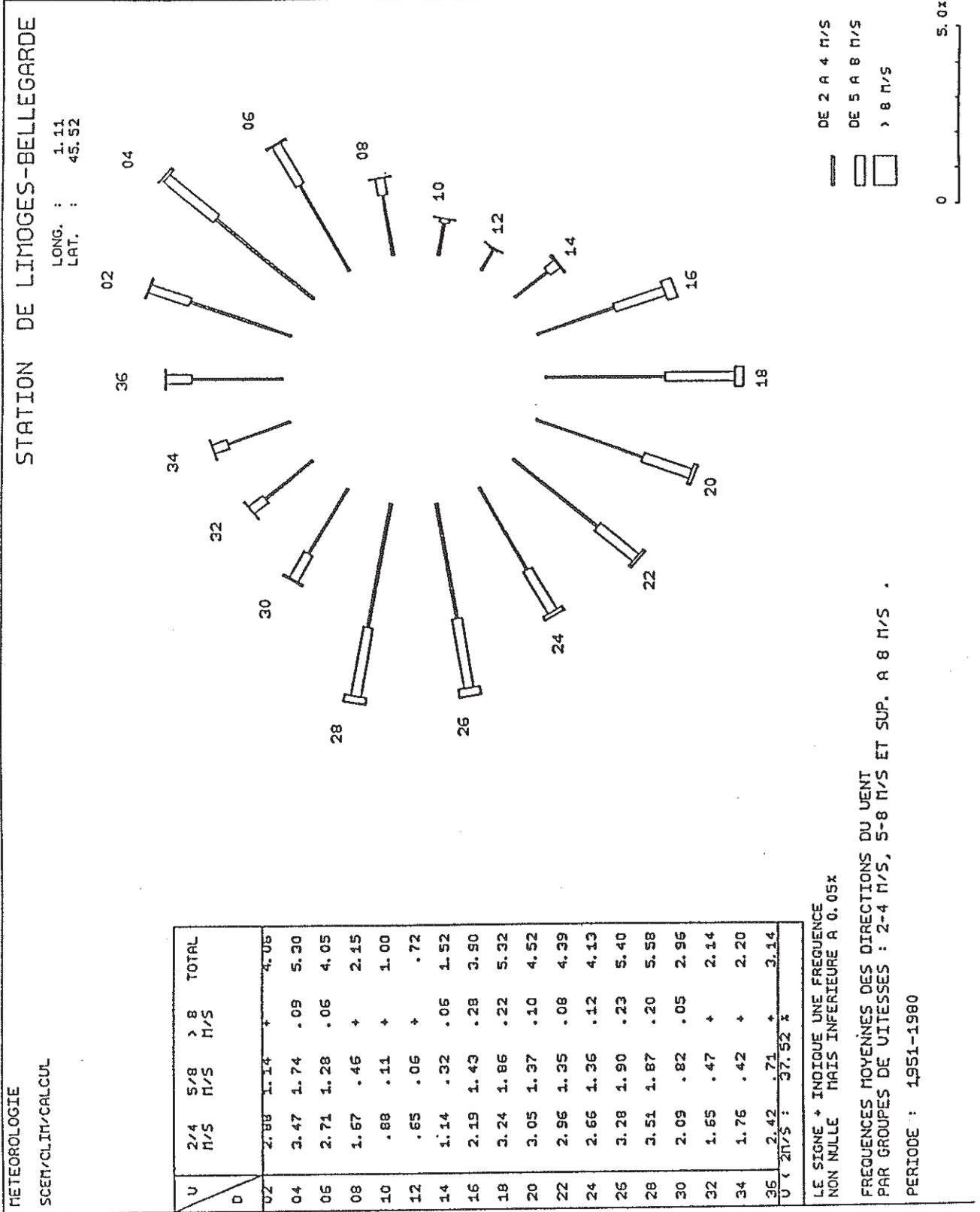
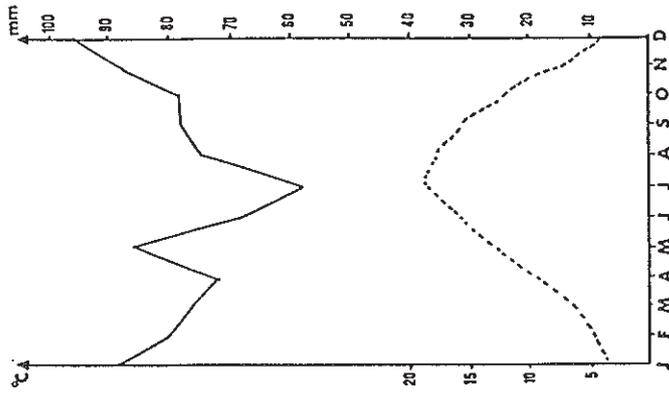
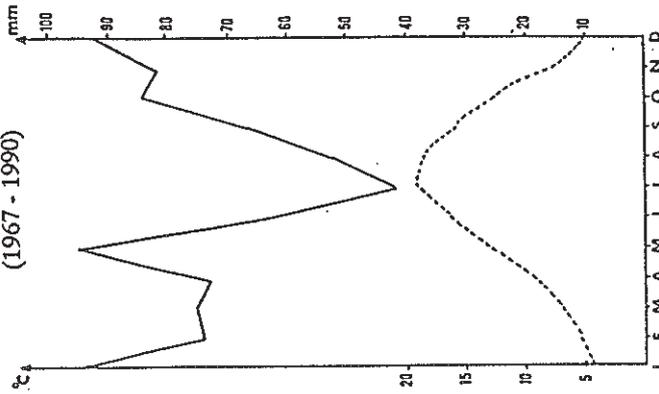


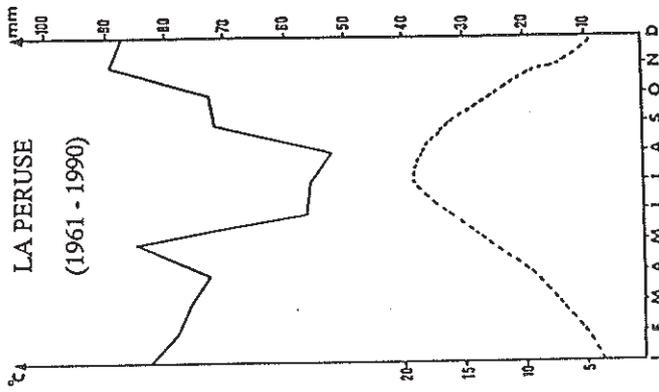
Schéma n° 6 ROSE DES VENTS DE LIMOGES BELLEGARDE



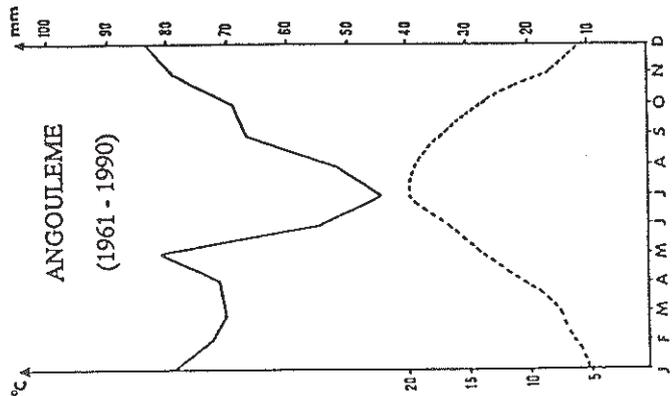
LIMOGES BELLEGARDE
(1961 - 1990)



ROCHECHOUART
(1967 - 1990)



LA PERUSE
(1961 - 1990)



ANGOULEME
(1961 - 1990)

Schéma n° 7 DIAGRAMMES OMBROTHERMIQUES

NB : Les diagrammes sont disposés schématiquement selon la localisation des stations

Sur un même diagramme sont portés :

- en abscisses : les mois de Janvier (J) à Décembre (D)
- en ordonnées : les températures moyennes mensuelles en °C et les précipitations moyennes mensuelles en mm, l'échelle des températures étant le double de celle des précipitations.

Une éventuelle période de sécheresse est déterminée à l'endroit où les deux courbes se rapprochent ou se croisent.

Le rapprochement extrême des deux courbes pour Angoulême et Rochechouart signale un début de sécheresse estivale. Ces deux diagrammes montrent nettement l'influence atlantique.

En revanche, pour les stations de La Péruse et Limoges Bellegarde, l'écart entre les deux courbes est beaucoup plus net, et pour Limoges on constate que la courbe des précipitations est loin d'approcher celle des températures. Il n'y a pas de mois ni de saison sèche pour ces deux stations.

La courbe de la station de Limoges présente une amplitude ombrique moins importante marquant la dégradation de l'influence atlantique.

b) Indices climatiques

Stations	Indice d'aridité de DE MARTONNE (A)	Indice d'océanité d'AMMAN (H)
Angoulême	38	67,1
La Péruse	42	64,6
Rochechouart	43	69,6
Limoges	46	68,5

Indice d'aridité de DE MARTONNE (A)

Il est donné par la formule suivante :

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

A = indice d'aridité de DE MARTONNE

P = pluviométrie moyenne annuelle en mm

T = température moyenne annuelle en °C

Le climat est d'autant plus aride que l'indice d'aridité est bas : les précipitations sont faibles et les températures élevées. Ceci explique la valeur plus faible obtenue pour Angoulême (38), alors que pour les autres stations, A est supérieur à 40, ce qui marque bien une tendance océanique plus humide et fraîche.

Indice de continentalité ou d'océanité d'AMMAN (H)

Il est donné par la formule suivante :

$$H = \frac{P \times T}{t_c - t_f}$$

P = précipitation moyenne annuelle en cm

T = température moyenne annuelle en °C

t_c = température moyenne du mois le plus chaud en °C

t_f = température moyenne du mois le plus froid en °C

Cet indice permet d'apprécier l'hygrométrie. En milieu océanique tempéré, l'hygrométrie est supérieure à 50 : ce qui est ici le cas de tous les indices calculés. Ceci permet de confirmer le caractère océanique du climat de notre région.

4.3 - Conclusion

Notre région d'étude, principalement centrée sur les stations de Rochechouart et Saint-Junien, jouit d'un climat tempéré océanique. Elle bénéficie de précipitations abondantes (900 mm environ et 150 jours de pluie par an) permettant un bon développement des lichens épiphytes.

Les températures sont assez douces, environ 11,5°C par an de moyenne et des gelées peu nombreuses (30 jours par an).

Le régime pluviométrique et les indices climatiques confirment cette estimation.

Cependant, les diagrammes ombrothermiques correspondant aux stations de la zone étudiée montrent une amplitude des précipitations moins importante, marquant un début de dégradation de l'influence atlantique.

Ces caractéristiques climatiques de notre territoire d'étude correspondent parfaitement aux éléments de la zone 5 de l'atlas agroclimatique du Limousin.

5 - Végétation

Le paysage végétal est formé de "semi-bocage". Le Chêne pédonculé (*Quercus robur*) domine partout dans cette région; c'est la raison pour laquelle la plupart de nos relevés ont été effectués sur les troncs de cette espèce.

D'après VILKS, 1974, le groupe des espèces thermophiles se trouve le mieux représenté dans cette région avec par exemples :

- *Ulmus campestris*
- *Carpinus betulus*

B - LES ACTIVITES HUMAINES

Précédemment, nous avons montré que les activités humaines représentaient une source importante de pollution atmosphérique avec notamment :

- l'agriculture par l'utilisation de pesticides et engrais,
- les phénomènes de combustion domestiques et automobiles,
- les industries.

D'où la nécessité de présenter plus en détail ces différents secteurs humains dans le cadre de notre région d'étude.

1 - Agriculture

Notre région est essentiellement marquée par les activités agricoles. Elle est constituée par une véritable mosaïque de petites et moyennes exploitations agricoles.

La majeure partie de la production agricole est représentée à 88% par la production animale :

- élevage bovin pour la boucherie,
- élevage laitier,
- élevage ovin.

Mais il faut noter aussi la présence de nombreuses parcelles destinées à la culture avec notamment :

- les prairies et cultures pour le bétail
 - * herbe et fourrage (herbages, prairies temporaires, prairies artificielles)
 - * cultures de céréales destinées au bétail (avoine et orge).

- les cultures de céréales panifiables (blé et seigle) et de plantes sarclées (pomme de terre) qui sont en régression.

- les cultures maraîchères et fruitières.

La présence pratiquement constante de terres cultivées, et par conséquent d'engrais, dans toute notre région d'étude explique que l'on retrouvera fréquemment dans nos relevés des espèces nitrophiles caractéristiques.

2 - Villes et agglomérations

Le nombre de foyers domestiques (cause d'une pollution atmosphérique non négligeable) et la densité du trafic routier sont étroitement liés à la démographie.

2.1 - Les principales agglomérations

- Saint-Junien (87), chef-lieu de Canton, située sur la rive droite de la Vienne et représentant la ville la plus importante de cette région.

- Rochechouart (87)

- Oradour-sur-Glane (87)

- Saillat-sur-Vienne (87)

- Saint-Victorien (87)

- Saint-Brice (87)

- Cognac-la-Forêt (87)

- Saint-Auvent (87)

- Chassenon (16)

- Chabanais (16), qui se situe en périphérie de notre secteur d'étude.

2.2 - La population

Tableau n° 6, page 73

Les données statistiques concernant la population nous ont été fournies par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, d'après le dernier recensement de 1990.

Saint-Junien, avec ses 10604 habitants, représente après Limoges, capitale du Limousin, la deuxième ville du département.

Nous pouvons remarquer que les communes de plus grande importance ont perdu des habitants. En effet, le taux annuel de variation, exprimé en pourcentage pour ces quinze dernières années, est négatif pour les deux plus grandes villes, Saint-Junien et Rochechouart.

Ce phénomène peut s'expliquer par l'attrait qu'exerce la capitale limousine sur les jeunes populations. En effet, Saint-Junien entre dans l'orbite de Limoges qui représente une source de travail plus importante du fait que les activités traditionnelles locales sont en déclin et en difficulté.

Nous constatons également que parallèlement le taux annuel de variation des petites communes entourant Saint-Junien est positif sur ces quinze dernières années. C'est en fait un phénomène courant dans les villes où les zones périphériques se développent aux dépens du centre des villes.

3 - Le trafic routier

Notre région d'étude ne présente pas d'axes routiers très importants mise à part la Nationale 141 qui la traverse d'Est en Ouest. Cependant, nous allons préciser l'importance de ce trafic, du fait de la source de pollution atmosphérique non négligeable que représente la combustion automobile.

Communes	Nombre d'habitants recensés				Taux de variation annuel en %				Variation relative de la population de 1982 à 1990 (%)	Nombre total de logements en 1990
	1975	1982	1990		68-75	75-82	82-90			
Saint-Junien	11271	10805	10604		-0,03	-0,60	-0,23		-1,9	5247
Rochechouart	4196	4053	3991		+0,48	-0,49	-0,29		-1,5	1922
Oradour-sur-Glane	1759	1941	1998		+0,74	+1,41	+0,36		+2,9	918
Saillat-sur-Vienne	1268	1112	962		+0,41	-1,85	-1,79		-13,5	488
Saint-Victurnien	1210	1259	1447		+0,24	+0,57	+1,75		+14,9	640
Saint-Brice	1121	1274	1431		-1,46	+1,84	+1,46		+12,3	695
Cognac-la-Forêt	801	864	893		-2,43	+1,08	+0,41		+3,4	682
Saint-Auvent	777	813	817		-2,45	+0,65	+0,06		+0,5	639

Tableau n° 6

DONNEES STATISTIQUES CONCERNANT LA POPULATION

Les données nous ont été fournies par la Direction Départementale de l'Équipement d'après les cartes de comptages routiers établies sur l'année 1990 (voir carte n° 3. page 75). Les chiffres contenus dans les cercles correspondent aux moyennes journalières du nombre de véhicules par jour.

Si l'on compare le trafic routier de la Nationale 141 (9040 véhicules/jour) à celui de la Nationale 20 (environ 15000), axe Nord-Sud traversant Limoges et reliant Paris à Toulouse, on constate qu'il est beaucoup plus modeste. Il reste cependant le trafic le plus important de notre région.

Nous remarquons, dans le sens Limoges --> Saint-Junien, une augmentation du trafic de 5,3% par rapport à 1989, et dans le sens Saint-Junien --> Charente, une diminution de 6,9%. Ceci peut s'expliquer d'une part par des échanges de plus en plus importants entre la Capitale Limousine et Saint-Junien, et d'autre part par une décentralisation des activités sur Rochechouart.

4 - Industries

En fait d'industrie, il faudrait plutôt parler d'une industrialisation du monde rural, car en effet, depuis ces trente dernières années on assiste à une pénétration plus profonde de l'industrie dans le monde rural.

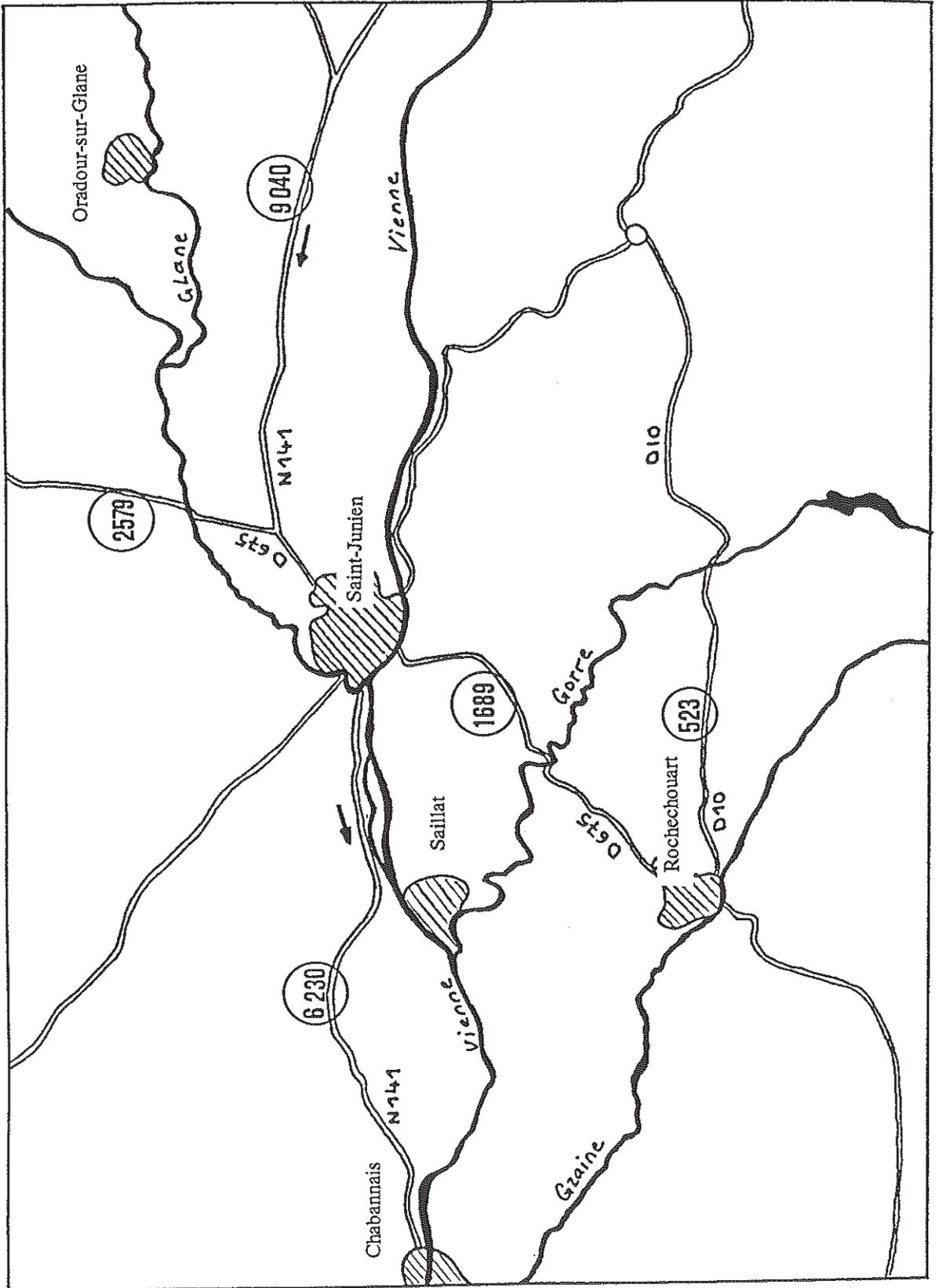
Nous allons présenter brièvement les différents secteurs des entreprises industrielles locales de notre région, qui sont de taille modeste avec souvent un nombre de salariés inférieur à 100.

4.1 - Industries liées à l'agriculture et la forêt

- Les industries agroalimentaires :

* abattoir de Saint-Junien

* conserveries de fruits et légumes.



Carte n° 3 TRAFIC ROUTIER EN 1990

- Les industries du bois et du papier :

- * usine de Saillat (groupe Aussedat-Rey)
- * papeteries et cartonneries de Rochechouart (389 salariés)

4.2 - Industries sans lien direct avec le monde rural

(situées dans les villes et les bourgs)

- Les industries de constructions électriques et mécaniques (métallurgie de transformation) :

- * ateliers de la Société Dewaye (filiale de la Société Legrand de Limoges) avec 200 salariés environ pour les ateliers de
 - Saint-Junien
 - Rochechouart
 - et Chabanais.
- * Des petits établissements, employant moins de 100 employés, sont installés à Saint-Auvent et Oradour-sur-Glane.

- Industries du textile et de l'habillement :

- * le tissage, avec deux entreprises à Saint-Junien qui produisent des feutres pour la papeterie (Feutres Depland)
- * les ateliers de confection (50 salariés environ) de Saint-Junien et Cognac-la-Forêt.

- Les industries traditionnelles :

- * l'industrie de porcelaine du Site Corot à Saint-Junien
- * les industries du cuir avec :
 - 7 mégisseries à Saint-Junien qui emploient en tout 192 salariés,
 - des ateliers de ganterie (591 salariés), dont 13 à Saint-Junien et quelques autres à Saint-Brice, Cognac-la-Forêt et Rochechouart.

Nous pouvons constater que la majeure partie de ces industries ne semble pas provoquer une pollution atmosphérique importante. En effet, notre région d'étude, de part sa faible industrialisation, reste privilégiée sur le plan de la qualité de l'environnement.

En raison de sa situation unique comme grosse industrie, seule l'usine de Saillat serait susceptible, par ses émissions atmosphériques, de provoquer une pollution notable. C'est pour cette raison que nous allons présenter plus en détail cette entreprise dans le chapitre suivant.

C - CAS PARTICULIER DE L'USINE DE SAILLAT

Nous avons pu rédiger ce chapitre grâce à la Direction de l'usine de Saillat (Aussedat-Rey) qui nous a aimablement prêté sa demande d'autorisation d'installations classées pour la protection de l'environnement (5 mars 1990). Nous avons pu y trouver tous les renseignements qui nous étaient nécessaires.

1 - Présentation de l'usine

1.1 - Localisation de l'installation

- Usine de Saillat
- Département : Haute-Vienne (87)
- Commune : Saillat-sur-Vienne.

1.2 - Nature des activités

- Production de pâtes à papier (cellulose et sous-produits)
- Fabrication de papier.

1.3 - Procédés de fabrication

- Production de pâtes par le procédé Kraft,
- Production en continu de bobines de papier pour l'impression et l'écriture sur machines à partir de ces pâtes.

2 - Le procédé Kraft et les sources de pollution

2.1 - Le procédé Kraft

Schéma n° 8, page 79

Les pâtes de fibres de bois peuvent être fabriquées à partir de deux procédés qui sont :

- un procédé mécanique, par lequel le bois est réduit en fibres par l'utilisation d'énergie mécanique,
- et un procédé chimique par lequel on obtient la séparation des composants du bois par l'utilisation de produits chimiques (mélange alcalin de soude caustique et de composés du soufre). C'est ce procédé Kraft qui est utilisé dans l'usine de Saillat et dont nous allons décrire rapidement les différentes étapes :

a) Ecorçage et déchiquetage du bois en plaquettes appelées copeaux.

Ce bois écorcé contient de la cellulose et des hémicelluloses qui sont les composants de la pâte à papier, mais également de la lignine qui elle doit être éliminée.

Les deux étapes suivantes consistent à dissoudre cette lignine par l'utilisation de produits chimiques.

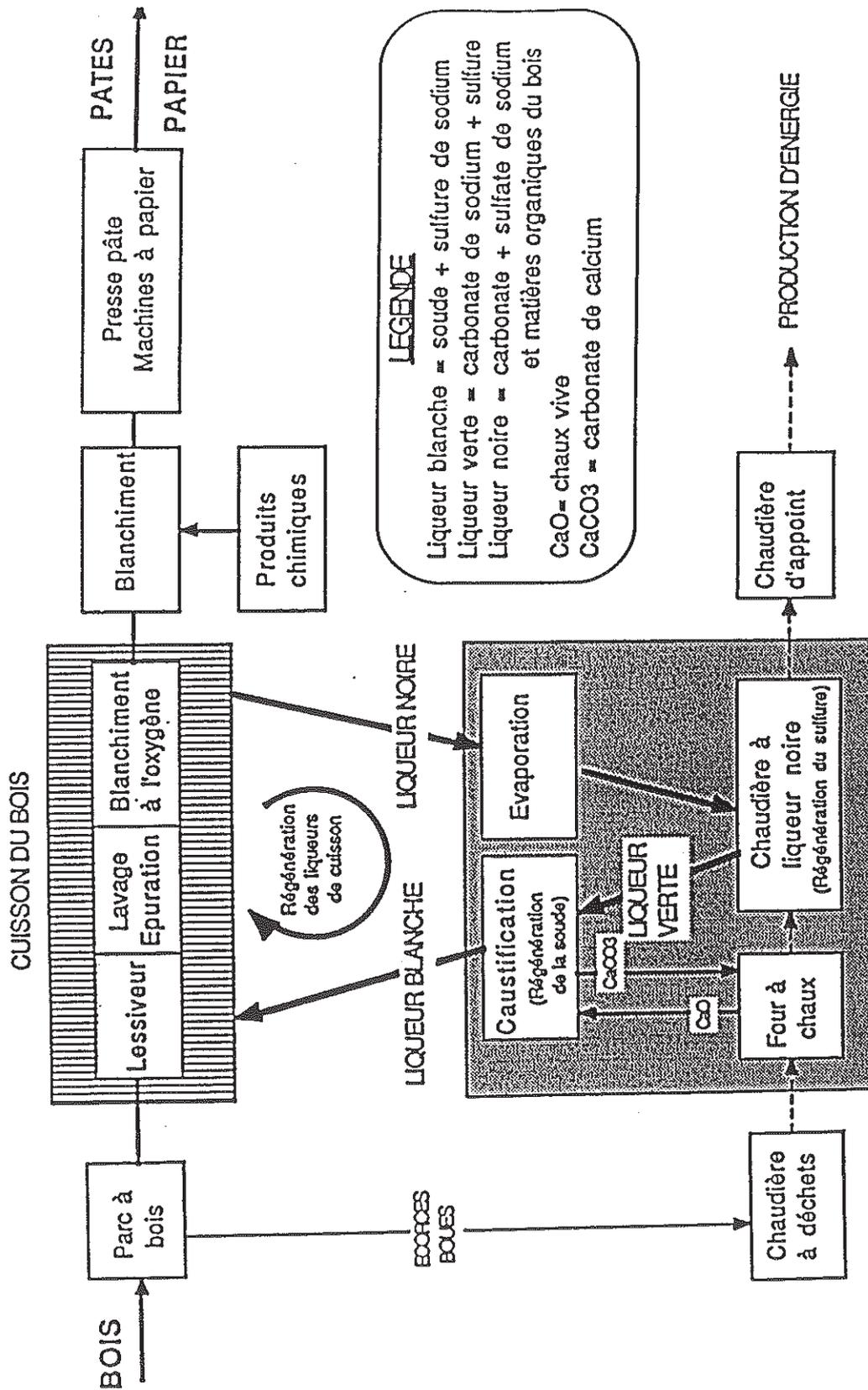


Schéma n° 8 PROCÉDE DE FABRICATION DE LA PATE KRAFT BLANCHIE

b) La cuisson

Elle utilise une liqueur alcaline contenant du sulfure de sodium Na_2S (la liqueur blanche). Elle dissout environ 90% de la lignine qui relie les fibres de cellulose.

On chauffe durant environ quatre heures à 170°C ce mélange copeaux et liqueur blanche dans de gros autoclaves.

La cuisson terminée, on décompresse brutalement le lessiveur en soufflant les copeaux dans un réservoir à la pression atmosphérique, ce qui a pour effet de détacher les fibres entre elles et d'obtenir la pâte écrue.

c) Le blanchiment

Il consiste à éliminer les substances colorantes dérivées de la lignine restant dans la pâte écrue.

Pour cela, on utilise des réactifs oxydants qui dissolvent la lignine (chlore et dérivés chlorés, oxygène et eau oxygénée).

d) Régénération des liqueurs de cuisson

La liqueur noire provenant de la cuisson et du lavage contient les produits chimiques utilisés et les substances dissoutes par la cuisson qui peuvent être combustibles.

La liqueur noire est concentrée par évaporation d'une partie de l'eau, puis brûlée dans la chaudière de récupération. Les matières organiques sont brûlées et les produits chimiques incombustibles sont récupérés pour les régénérer.

Sur le sol de la chaudière, des matières minérales se déposent en formant le salin. Celui-ci s'écoule dans un dissolvant où il se dissout dans une solution faiblement alcaline.

On obtient ainsi une liqueur verte qui sera clarifiée. Elle subira ensuite une caustification qui la séparera en liqueur blanche et en boues de chaux qui passeront après lavage, filtration et concentration dans le four à chaux.

2.2 - Les émissions atmosphériques du procédé Kraft

Schéma n° 9, page 82

Les émissions atmosphériques d'une usine de pâte Kraft sont constituées par différents types de polluants :

- les poussières
- les gaz malodorants : hydrogène sulfureux (H_2S) et mercaptans
- l'anhydride sulfureux (SO_2)
- diverses émissions, en faibles quantités, de composés chlorés.

Dans notre étude, nous allons plus particulièrement nous intéresser aux sources d'émission de SO_2 qui sont :

- la chaudière de récupération
- le four à chaux
- le système d'incinération des gaz malodorants

Le SO_2 est un gaz inodore et incolore produit par la combustion de composés sulfureux. On élimine donc les gaz malodorants (H_2S et mercaptans) par incinération (pour chaque kilogramme de H_2S brûlé, on émet deux kilogrammes de SO_2). La faible production de gaz malodorants (environ 5 ppm) se trouve compensée par l'émission de SO_2 (100 à 200 ppm volumique).

On constate donc une augmentation des émissions de SO_2 sur ces vingt dernières années par les usines de pâte Kraft, car l'élimination des gaz malodorants était le point important de la pollution atmosphérique.

Au niveau de l'usine de Saillat, les émissions actuelles de SO_2 sont très limitées car il n'existe pas de système général de traitement des gaz malodorants. Cependant, dans le projet d'étude pour les nouvelles installations de Saillat, il est prévu un traitement des gaz malodorants et par conséquent, une augmentation de la production de SO_2 (Tableau n° 7, page 83).

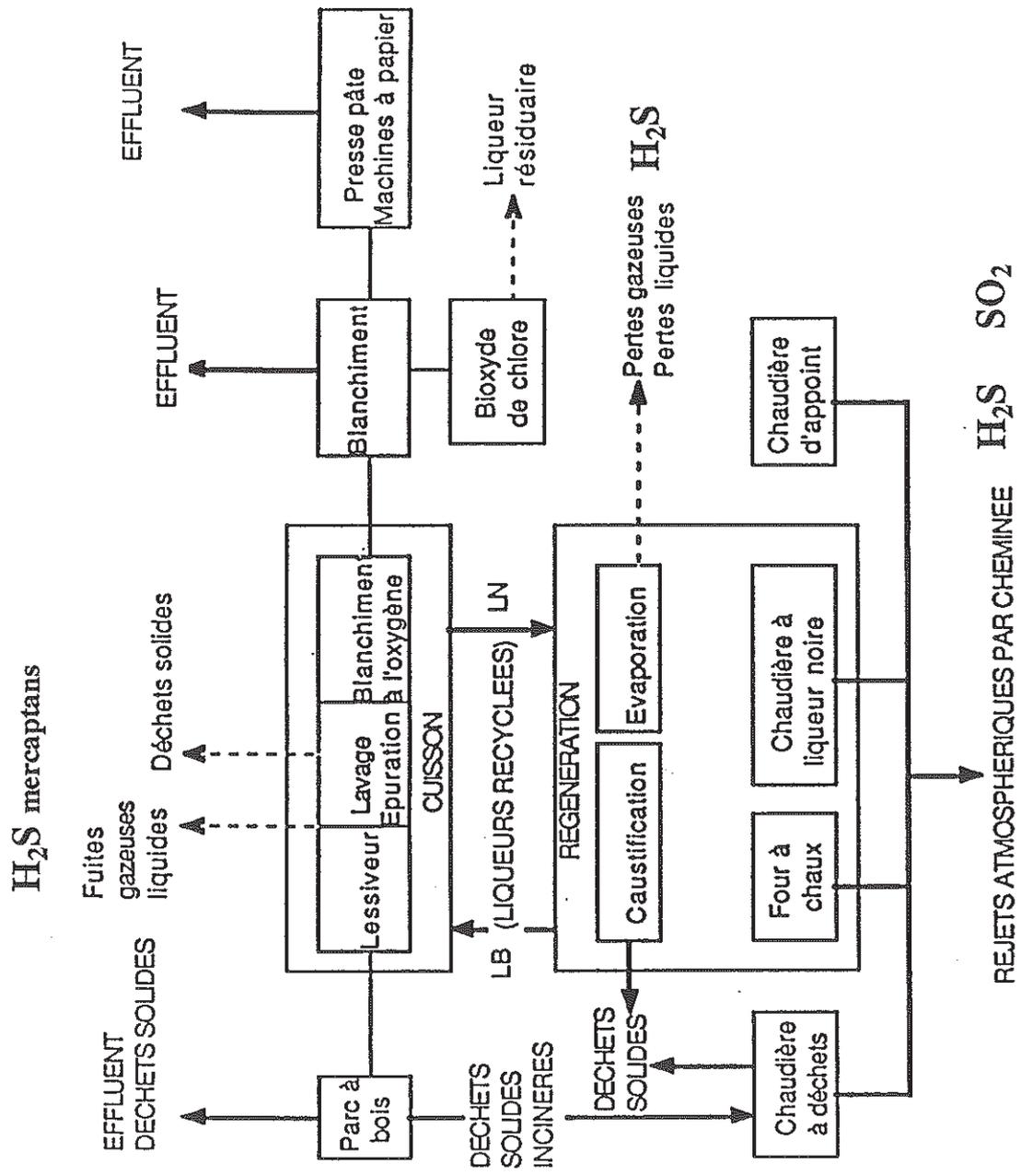


Schéma n° 9 SOURCES DE POLLUTION D'UNE USINE DE PATE KRAFT MODERNE

Rejets	Total des émissions 1988 en kg/j (estimation)	Total prévu dans le projet en kg/j
Poussières	1500	1386
SO ₂	3	3671
gaz malodorants	3500	160

Tableau n° 7

BILAN DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES
DE L'USINE ACTUELLE ET DU PROJET

II - POLLUTION ATMOSPHERIQUE ACIDE

A - PRESENTATION DE LA METHODE UTILISEE

1 - Bases de notre méthodologie

Avant de présenter la méthode utilisée dans notre étude, nous rappellerons les deux autres méthodes classiques, qualitative et quantitative, dont elle est inspirée.

1.1 - La méthode de HAWKSWORTH et ROSE

a) Présentation

HAWKSWORTH et ROSE (1970), à l'aide d'observations de terrain et de mesures physico-chimiques, mettent au point une échelle quantitative d'estimation de la teneur en SO_2 atmosphérique.

Cette échelle met en correspondance une zone de pollution caractérisée par une teneur en SO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 11 gradients) avec la présence d'un ensemble d'espèces caractéristiques (80 espèces lichéniques).

Cette méthode s'applique uniquement aux lichens épiphytes.

Le niveau de pollution d'une station est déterminé en comparant les relevés de la station et l'échelle de HAWKSWORTH et ROSE. Cette échelle comprend deux parties distinctes selon la qualité de l'écorce du phorophyte (DERUELLE, 1978).

La première partie (tableau n°8, page 86) concerne les lichens épiphytes se développant sur les arbres à écorce non eutrophisée. C'est à dire les écorces des arbres à feuilles caduques, à écorce rugueuse et à bas pH : *Fraxinus*, *Quercus*, *Salix*, et *Populus*.

La seconde partie (tableau n°9, page 87) concerne les lichens épiphytes se développant sur les arbres à écorce eutrophisée : *Ulmus*, *Acer*, *Tilia*, avec un développement plus important d'espèces nitrophiles.

b) Intérêts et limites de cette méthode

Nous avons pu déterminer à l'aide de l'analyse critique de cette méthode par VAN HALWYN et LEROND (1987) les points positifs et limites de cette méthodes.

* Intérêt

Elle permet d'utiliser une échelle de correspondance lichens-pollution applicable directement sur le terrain, évitant ainsi des mesures physico-chimiques longues et coûteuses à mettre en oeuvre.

Elle utilise des espèces facilement reconnaissables et en nombre limité permettant leur cartographie rapide.

exemples démonstratifs de répartition, dans le cadre de notre étude,, de *Lobaria scrobiculata*, *Ramalina fraxinea* et *Usnea* sp. correspondant aux zones 10 à 8 (Carte n° 4, page 88).

Nous pouvons ainsi remarquer que les lichens se répartissent à la périphérie de la zone d'étude, loin des agglomérations, dans des zones relativement protégées. Dans le relevé I-13, nous n'avons noté qu'*Usnea* à l'état d'individu, ce qui laisse supposer une régression de cette espèce dans le secteur.

Zones	Espèces caractéristiques	Teneur en SO ₂ (µg/m ³)
0	Epiphytes absents.	> 170
1	<i>Pleurococcus viridis</i> s.l. présent mais limité à la base du tronc.	170
2	<i>Pleurococcus viridis</i> s.l. s'étend sur le tronc; <i>Lecanora conizaeoides</i> limité à la base.	150
3	<i>Lecanora conizaeoides</i> s'étend sur le tronc.	125
4	<i>Parmelia physodes</i> et/ou <i>Parmelia saxatilis</i> ou <i>Parmelia sulcata</i> apparaissent à la base du tronc mais ne s'étendent pas.	70
5	<i>Parmelia physodes</i> ou <i>Parmelia saxatilis</i> s'étendent jusqu'à 2,5 m ou plus; <i>Lepraria candelaris</i> , <i>Pertusaria amara</i> peuvent apparaître; si <i>Ramalina farinacea</i> et <i>Evernia prunastri</i> sont présents, ils sont limités à la base.	60
6	<i>Parmelia caperata</i> présent au moins à la base; riches communautés de <i>Pertusaria albescens</i> ; <i>Parmelia furfuracea</i> présent dans les régions montagneuses.	50
7	<i>Parmelia caperata</i> s'étend sur le tronc; apparition de <i>Pertusaria hemisphaerica</i> , <i>Usnea subfloridana</i> .	40
8	<i>Usnea ceratina</i> et <i>Parmelia perlata</i> apparaissent.	35
9	<i>Lobaria pulmonaria</i> ou <i>Usnea florida</i> présents; si ces espèces sont absentes, les lichens crustacés sont très développés avec généralement plus de 25 espèces sur des arbres bien illuminés.	30
10	<i>Lobaria scrobiculata</i> .	"pur"

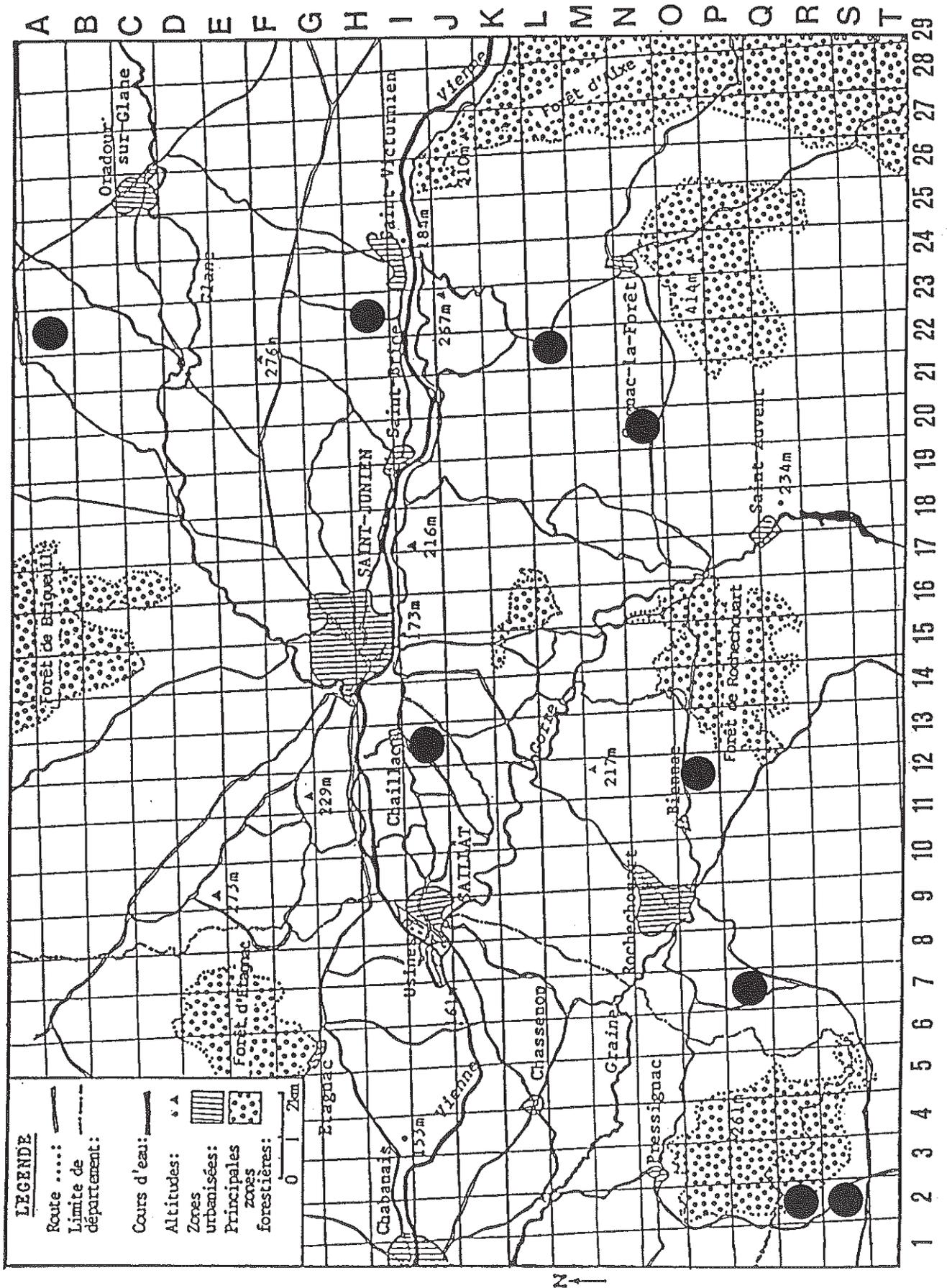
Tableau n° 8

ECHELLE QUALITATIVE UTILISANT LES LICHENS EPIPHYTES
DES ARBRES A ECORCE NON EUTROPHISEE

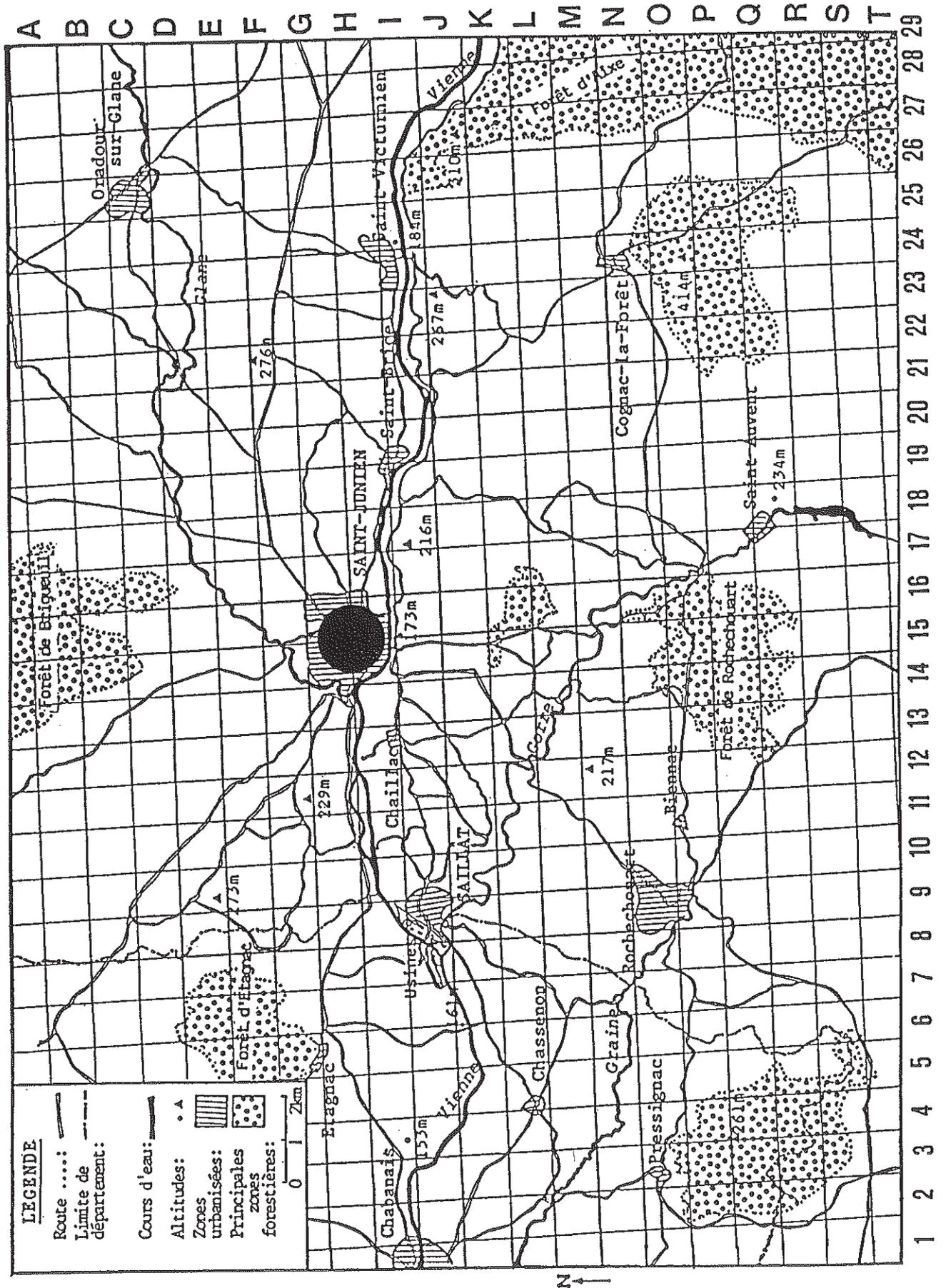
Zones	Espèces caractéristiques	Teneur en SO ₂ (µg/m ³)
0	Epiphytes absents.	> 170
1	<i>Pleurococcus viridis</i> s.l. s'étend sur le tronc.	170
2	<i>Lecanora conizaeoides</i> abondant.	150
3	Espèces non retenues dans notre étude.	125
4	Apparition de <i>Physcia ascendens</i> et <i>Xanthoria parietina</i> à la base.	70
5	<i>Physcia tenella</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Opegrapha varia</i> , <i>Opegrapha vulgata</i> apparaissent; <i>Xanthoria parietina</i> commun; <i>Parmelia acetabulum</i> apparaît.	60
6	<i>Pertusaria albescens</i> est présent; <i>Opegrapha varia</i> et <i>Opegrapha vulgata</i> deviennent abondants.	50
7	<i>Physcia aipolia</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> font leur apparition.	40
8	<i>Physcia aipolia</i> abondant; <i>Anaptychia ciliaris</i> fructifié; <i>Parmelia perlata</i> apparaît.	35
9	Espèces non retenues dans notre étude.	30
10	Espèces non retenues dans notre étude.	"pur"

Tableau n° 9

ECHELLE QUALITATIVE UTILISANT LES LICHENS EPIPHYTES
DES ARBRES A ECORCE EUTROPHISEE



Carte n° 4 REPARTITION DE *LOBARIA SCROBICULATA*,
RAMALINA FRAXINEA ET *USNEA* SP.



Carte n° 5 REPARTITION DE *LECANORA CONIZAEOIDES*
 ET DES RELEVES OU IL Y A MOINS DE 3 ESPECES

A l'opposé, la carte de répartition de *Lecanora conizaeoides* (espèce corticole la plus résistante aux pollutions) associée à la localisation des relevés où il y a moins de trois espèces, montre qu'un tel appauvrissement se concentre dans l'agglomération de Saint-Junien.

* Limites

En effet, il apparaît que l'on ne peut pas utiliser cette méthode quelle que soit la région et la nature du polluant.

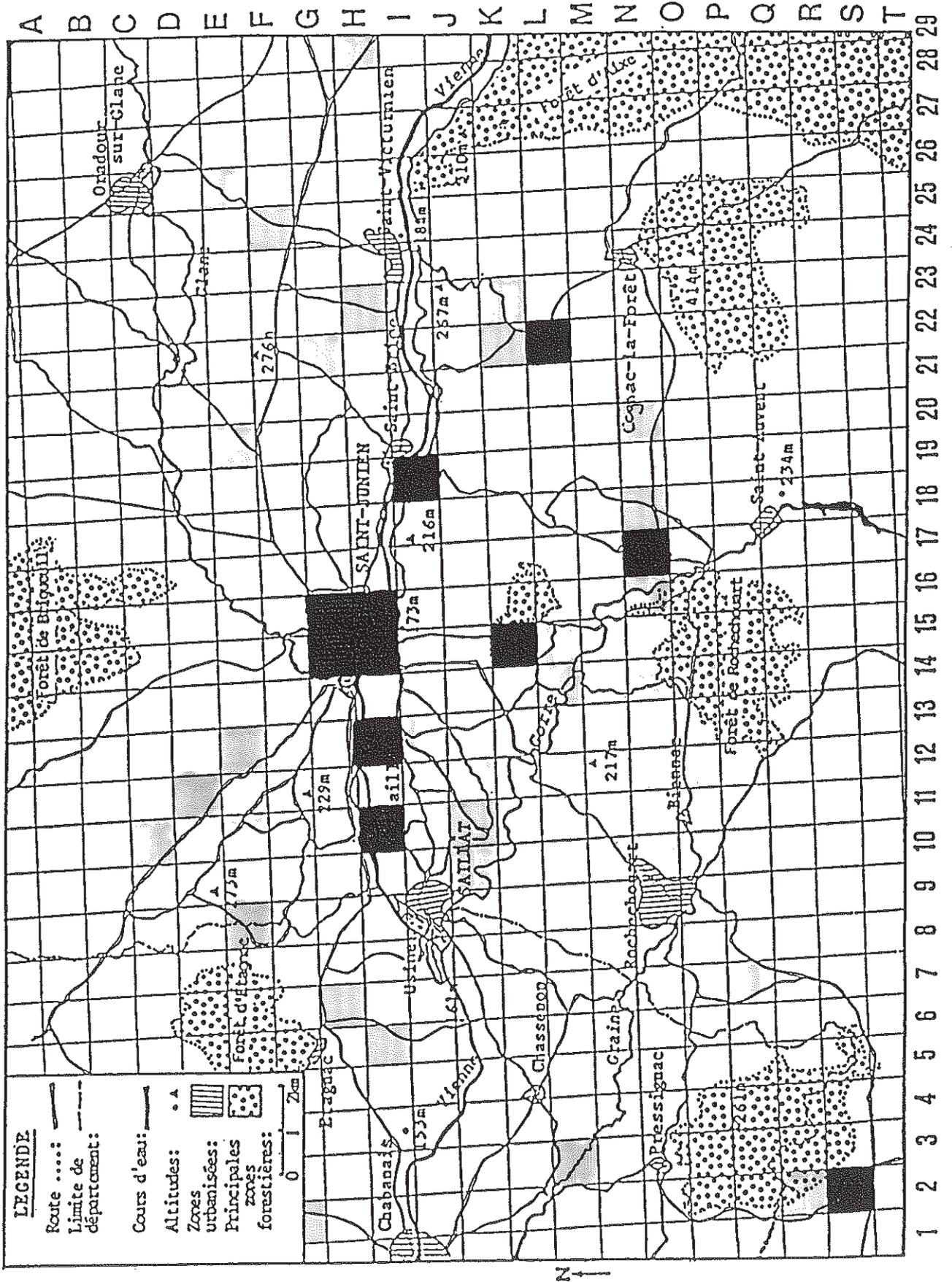
La méthode de HAWKSWORTH et ROSE nécessite, quand elle est utilisée hors de Grande-Bretagne, quelques correctifs car les modifications des facteurs climatiques entraînent des variations de la flore locale et par conséquent du comportement des lichens. De plus, cette méthode ne permet exclusivement que l'étude de la pollution en SO₂.

En outre, il faut pouvoir objectiver la présence ou l'absence des espèces retenues dans l'échelle. Une espèce peut être présente ou absente pour d'autres raisons que la qualité de l'air (influence des facteurs substratiques, des conditions climatiques ...). Donc, avant de proposer une échelle, il faut avoir pris en compte tous les paramètres affectant la végétation lichénique.

exemple confirmant les limites de cette méthode (Carte n°6, page 91, de la répartition de *Parmelia perlata* dans notre région d'étude).

Parmelia perlata, qui est considéré dans l'échelle de HAWKSWORTH et ROSE comme très poléophobe (coefficient 8), montre une répartition dans la zone étudiée plus délicate à analyser.

L'espèce est effectivement absente dans la vallée de la Vienne entre Saillat et Saint-Junien dans les carrés étudiés, mais elle est également absente dans des carrés éloignés de toute zone de pollution (carré R-2).



Carte n° 6 REPARTITION DE *PARMELIA PERLATA*

Coeff. = 2
 Coeff. = 1
 Coeff. = +
 Absent

1.2 - La méthode de LEBLANC et DE SLOOVER

a) Présentation

Cette méthode permet le calcul d'un indice de pollution à partir d'une formule mathématique faisant intervenir différents paramètres relatifs à la flore lichénique épiphyte observée :

$$\text{I.A.P.} = 1/10 \times \sum_{i=1}^n Q_i \times f_i$$

n = nombre d'espèces dans chaque station

f = coefficient de recouvrement et de fréquence de chaque espèce évalué de 1 à 5

Q = indice écologique de chaque espèce (moyenne du nombre d'espèces accompagnantes d'une espèce donnée)

b) Intérêts et limites

Cette méthode permet de faire intervenir des paramètres différents de ceux de présence ou d'absence, comme le nombre d'espèces dans chaque station, ou leur coefficient de fréquence et de recouvrement. Ceci permet une approche plus fine et des résultats plus proches de la réalité.

Cependant, cette méthode ne permet pas une correspondance directe des espèces lichéniques rencontrées avec des mesures de pollution et elle nécessite en outre des calculs longs ne permettant pas une exploitation rapide des résultats.

2 - Principe de la méthode phytosociologique

Il est apparu très tôt (ISERENTANT et DE SLOOVER, 1976 in VAN HALUWYN et LEROND, 1988) qu'une communauté végétale apporterait une indication plus précise sur les conditions ambiantes que les espèces considérées isolément.

2.1 - Le système phytosociologique

L'unité de base de ce système est l'**Association végétale** qui illustre les affinités existant entre deux ou trois espèces. La dénomination d'une telle association est formée à partir du nom d'une ou deux espèces dominantes, suivi de la terminaison " ... *etum*".

Les associations ayant un grand nombre d'espèces en commun et des exigences écologiques comparables, sont d'autres part regroupées en **Alliance** dont les noms se terminent par le suffixe " ... *ion*".

On regroupe ces alliances en **Ordres** dont la terminaison est " ... *etalia*".

L'unité supérieure est la **Classe** se terminant par " ... *etea*".

2.2 - Elaboration d'une nouvelle échelle

a) Approche phytosociologique

De ce fait, des travaux ont été effectués sur la variation de la composition floristique des groupements épiphytes selon l'intensité de la pollution atmosphérique (Nord/Pas-de-Calais par VAN HALUWYN, 1978, Normandie orientale par LEROND, 1981).

Ces travaux ont débouché sur l'élaboration de tableaux présentant une structure en escalier. Ces décrochements correspondent à des démantèlements progressifs du synsystème lichénique (VAN HALUWYN et LEROND, 1988) directement en relation avec l'intensité de la pollution.

Tableau n° 10, page 94

- Dans les zones de bonne qualité atmosphérique (zones 7 à 9 des échelles de HAWKSWORTH et ROSE) on trouve l'association lichénique au sens de la phytosociologie.

Algues vertes	<i>Lecanora conizaeoides</i>	idem + <i>Lecanora expallens</i> <i>Lepraria incana</i>	espèces compagnes à rapporter à la classe	espèces caractéristiques de l'ordre	espèces caractéristiques de l'alliance	Association au sens de la phytosociologie sigmatiste	7 à 9
	ou <i>Buellia punctata</i>						

Tableau n° 10

INTENSITE DE LA POLLUTION
RAPPORTEE A L'EHELLE DE HAWKSWORTH ET ROSE

(VAN HALUWYN et LEROND, 1988)

- Dans la zone 6, on ne retrouve plus l'association proprement dite, mais des groupements encore bien définis comportant les espèces caractéristiques de l'alliance.
- Dans les zones 4 et 5, les groupements s'appauvrissent encore et l'on descend aux espèces caractéristiques de l'ordre.
- Dans les zones 1 à 3, on ne trouve plus que quelques espèces compagnes.

Donc, sous l'action de la pollution atmosphérique, le synsystème lichénique en se démantelant donne deux types de groupements :

- des associations véritables
- des altérations d'associations "les groupements basaux".

b) Echelle de correspondance groupements épiphytes - pollution

En Normandie orientale (LEROND 1981 in VAN HALUWYN et LEROND, 1988) des travaux ont été réalisés de manière à corrélérer les différents niveaux de fragmentation avec la teneur de l'air en SO₂. Ces travaux ont permis l'élaboration d'une échelle (tableau n°11, page 96) de correspondance groupements épiphytes - pollution.

Cette échelle de 7 zones est hiérarchisée de A à G (pour éviter toute confusion avec l'échelle de HAWKSWORTH et ROSE). Pour l'élaboration de cette échelle, seules les espèces caractéristiques et les plus facilement identifiables de chaque niveau de fragmentation ont été retenues.

2.3 - Comparaison avec les méthodes anciennes

a) Méthode de HAWKSWORTH et ROSE

Dans cette méthode, nous n'utilisons pas d'espèces isolées, mais des familles d'espèces. Il est donc plus difficile d'objecter de l'absence d'un groupe d'espèces pour des raisons autres que la pollution qu'il ne l'est pour une seule espèce.

Zones	Espèces de lichens [d'algues] ou de (bryophytes)	Teneur de SO ₂ en µg/m ³ (moyennes annuelles)
A	[<i>Pleurococcus viridis</i>]	Supérieures à 30 µg
B	<i>Buellia punctata</i> <i>Lecanora conizaeoides</i>	
C	<i>Lecanora expallens</i> <i>Lepraria incana</i>	
D	<i>Diploicia canescens</i> <i>Lecidella elaeochroma</i> <i>Physcia tenella</i> <i>Xanthoria polycarpa</i>	
E	<i>Candellariella xanthostigma</i> (<i>Dicranoweisia cirrhata</i>) <i>Evernia prunastri</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmelia sulcata</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Physcia adscendens</i> <i>Xanthoria paristina</i>	
F	(<i>Frullania dilatata</i>) (<i>Hypnum cupressiforme</i>) <i>Parmelia costabulum</i> <i>Parmelia caperata</i> <i>Parmelia glabratula</i> <i>Parmelia pastillifera</i> <i>Parmelia sooredians</i> <i>Parmelia subaurifera</i> <i>Parmelia subrudecta</i> <i>Parmelia tiliacea</i> <i>Pertusaria amara</i> <i>Pertusaria pertusa</i> <i>Phaeophyscia orbicularis</i> <i>Phlyctis argena</i> <i>Physconia grisea</i> <i>Ramalina farinacea</i> <i>Ramalina fastigiata</i> <i>Xanthoria candelaria</i>	Inférieures à 30 µg
G	<i>Anaptychia ciliaris</i> <i>Parmelia perlata</i> <i>Parmelia reticulata</i> <i>Parmelia revoluta</i> <i>Physcia cipolia</i> <i>Physconia pulverulacea</i> <i>Ramalina fraxinea</i>	

Tableau n° 11

ECHELLE D'ESTIMATION DE LA QUALITE DES MILIEUX

(VAN HALUWYN et LEROND, 1986)

Cette méthode présente une double simplification :

- une échelle au lieu de deux
- 7 zones au lieu de 11.

De plus, le choix des espèces indicatrices correspond obligatoirement à la flore locale et au type de pollution ambiante. Il n'y a donc ni extrapolation de résultats, ni limite géographique.

b) Méthode de LEBLANC et DE SLOOVER

Dans ces deux méthodes on intègre les paramètres écologiques, mais la méthode de LEBLANC et DE SLOOVER ne représentait qu'une approche quantitative.

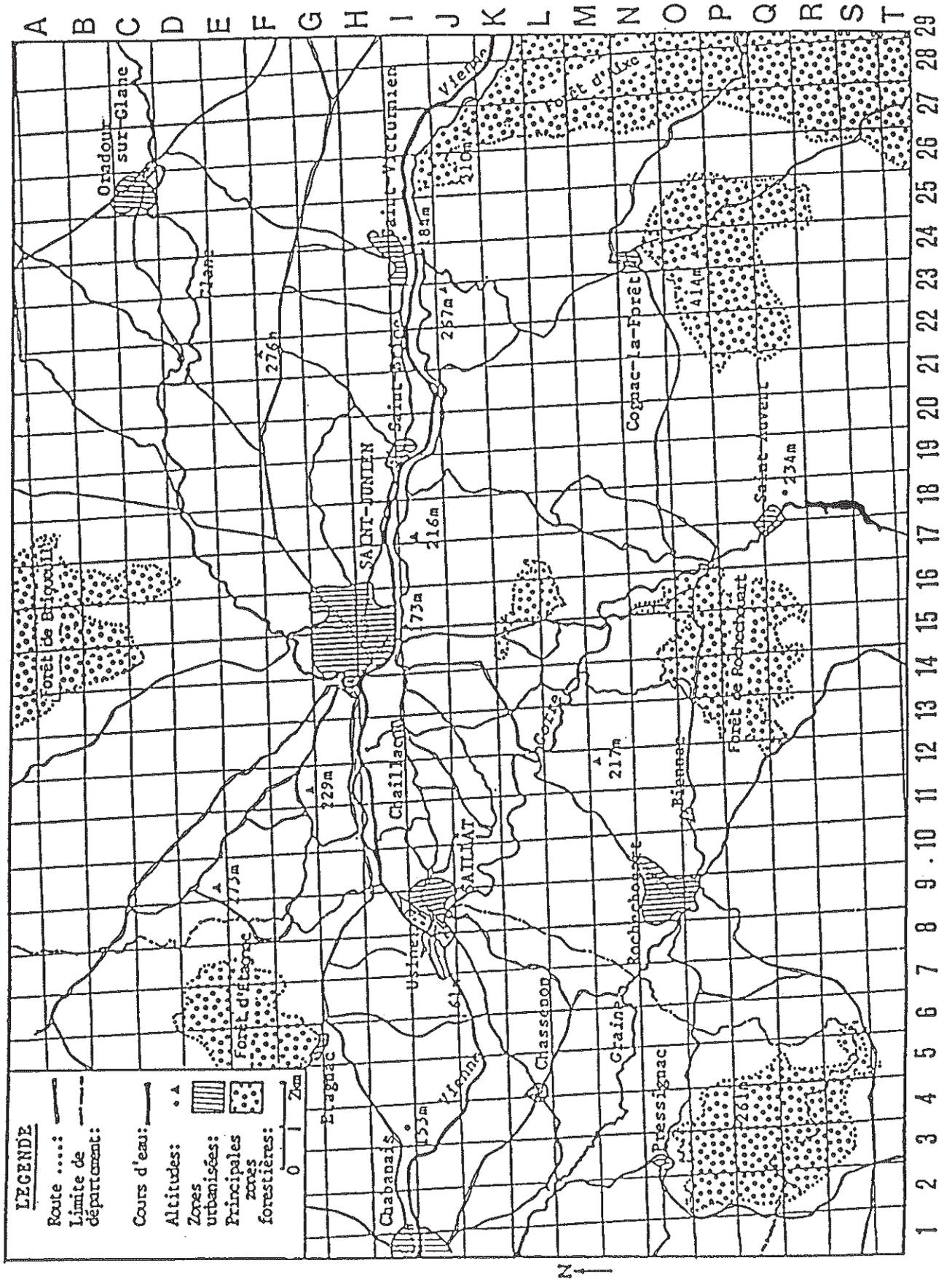
3 - Protocole opératoire

3.1 - Cartographie en réseau

Cette pratique permet des observations de terrain uniformément réparties dans l'espace, en s'efforçant de couvrir tout le territoire (une observation par maille). Nous avons établi notre carte d'après les cartes topographiques éditées par l'I.G.N. au 1/50.000^{ème} de Rochechouart et Oradour-sur-Glane.

Pour tracer notre réseau , nous nous sommes basés sur le quadrillage U.T.M. de ces mêmes cartes (Carte n°7, page 98).

Chaque maille est repérée par deux coordonnées : un numéro de 11 à 29 en abscisses et une lettre de A à T en ordonnées. Chaque maille a un kilomètre de côté.



Carte n° 7 CARTOGRAPHIE EN RESEAU

3.2. - Choix des stations et des phorophytes

Pour effectuer des relevés "homogènes", nous éviterons les milieux forestiers (microclimats particuliers) en ne prenant en considération que des arbres isolés ou d'alignement, ou exceptionnellement en lisières forestières.

Dans une station donnée, on opte de préférence pour les essences connues pour être de bons porteurs de lichens épiphytes (chênes, frênes, tilleuls...).

Les arbres inclinés ne sont pas pris en compte (DERUELLE, 1983) car ils présentent des conditions climatiques favorisant le développement des lichens (écoulement d'eau et luminosité plus importants).

Le choix d'arbres verticaux est donc justifié par le souci de comparer des relevés effectués dans des conditions climatiques aussi homogènes que possible.

Les observations se font sur des troncs d'un diamètre supérieur à 20 centimètres (entre 0,50 et 1 m) et à 1 m au dessus du sol (jusqu'à environ 2 m).

3.3. Modalités des relevés

Pour chaque relevé on indiquera :

- l'identification du phorophyte,
- l'orientation de la face du tronc,
- la hauteur à laquelle a été effectué le relevé,
- le recouvrement total,
- le recouvrement des mousses et lichens,

puis on procède à l'inventaire phytologique.

On conseille d'abord de noter la présence éventuelle d'algues (FOUCAULT et VAN HALUWYN, 1979), puis les mousses et enfin les lichens.

On attribue à chaque espèce deux coefficients (BRUZEAU, 1986) :

- le coefficient d'abondance dominance, allant de 5 à i et défini comme suit :

- 5 : recouvrement > 75% de la surface considérée
- 4 : 75 > recouvrement > 50%
- 3 : 50 > recouvrement > 25%
- 2 : 25 > recouvrement > 10%
- 1 : 10 > recouvrement > 5%
- + : pour des individus peu nombreux
- i : pour un individu isolé.

- le second coefficient indique le degré de sociabilité de l'espèce et donc sa répartition au sein du relevé, avec les valeurs suivantes :

- 5 et 4 lorsque les peuplements occupent la quasi-totalité de la surface
- 3 pour des colonies plus importantes (taches très importantes)
- 2 pour des petites colonies d'individus (taches compactes localisées)
- 1 pour des individus isolés, réguliers et distants.

On précisera aussi l'état des thalles, formes juvéniles et thalles altérés, et parfois même le diamètre.

Afin de faciliter le travail de terrain, nous avons élaboré une fiche de relevés (Tableau n° 12, page suivante).

RELEVÉ n° LIEU		DATE ORIENTATION	
<u>ARBRE</u>		- espèce - circonférence - surface étudiée	
% de - MOUSSES - LICHENS . fruticuleux . foliacés . crustacés			Recouvrement à %
Espèces		Coeff. R	Coeff. S
MOUSSES-ALGUES			
LICHENS			
<u>Remarques - Observations</u>			

Tableau n° 12

3.4. - Elaboration de l'échelle qualitative

Les relevés sont ordonnés en tableaux (Schéma n° 10, page 103) :

- un tableau brut où sont rassemblés tous les relevés tels qu'ils se présentent, sans ordre particulier ou par ordre chronologique,
- un tableau de croissance, les relevés classés par ordre décroissant du nombre d'espèces par relevé à l'horizontale, et par ordre croissant de fréquence des espèces (nombre de relevés où l'espèce est présente par rapport au nombre total de relevés) à la verticale,
- un tableau élaboré : dans le tableau de croissance, on cherche à rapprocher les espèces qui vont ensemble (c'est à dire celles qui sont simultanément présentes dans quelques relevés et absentes dans d'autres). On fait alors apparaître une structure en escalier.

3.5 - Etablissement de la carte initiale

Pour l'établissement de notre carte, nous avons utilisé la méthode phytosociologique pour ordonner les relevés. Pour mieux les différencier, nous proposons un indice que nous appellerons "indice de poléotolérance", proche de celui de LEBLANC et DE SLOOVER, mais plus simplifié et calculé de la façon suivante :

$$X = Cs \times Cf \times N$$

X = Indice de Poléotolérance

Cs = coefficient de pollution spécifique de l'espèce fixé selon l'échelle de HAWKSWORTH et ROSE que nous avons adapté en tenant compte d'autres travaux réalisés en France.

Cf = coefficient de présence

N = nombre d'espèces par relevé

N° des relevés, pas d'ordre précis

espèces
sans
ordre
précis

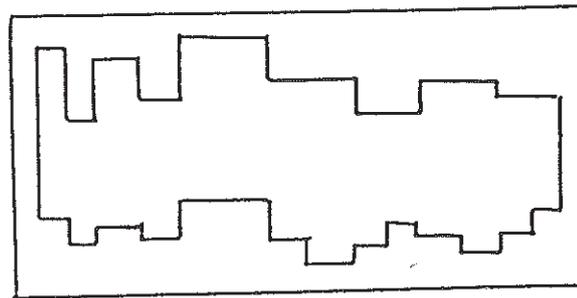


Tableau brut

Nombre d'espèces décroissant

Présence
croissante
des espèces

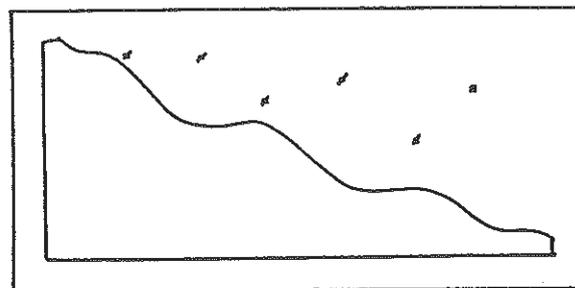


Tableau de croissance

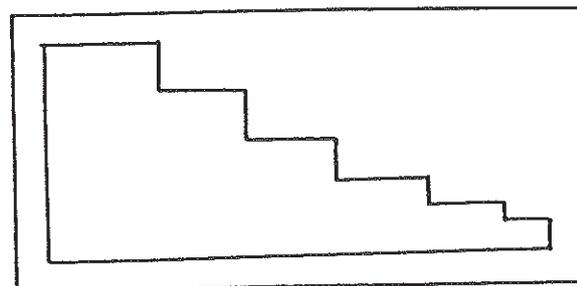


Tableau élaboré

Schéma n° 10

TRAITEMENT DES RELEVÉS EN VUE DE L'ELABORATION
DE L'ECHELLE QUALITATIVE

(VAN HALUWYN et LEROND, 1988)

Justification de ces trois paramètres :

- Coefficient de pollution : l'utilisation de ce coefficient nous permet de tenir compte de la méthode de HAWKSWORTH et ROSE,
- Le degré de présence permet de tenir compte de la vitalité de l'espèce,
- N permet de tenir compte de l'appauvrissement lichénique en fonction d'une pollution croissante.

Ces coefficients obtenus vont donc nous permettre d'établir une hiérarchie que nous nous proposons de classer en six groupes indiquant un appauvrissement lichénique progressif.

B - APPLICATION DE CETTE METHODE A NOTRE REGION D'ETUDE

1 - Localisation des relevés

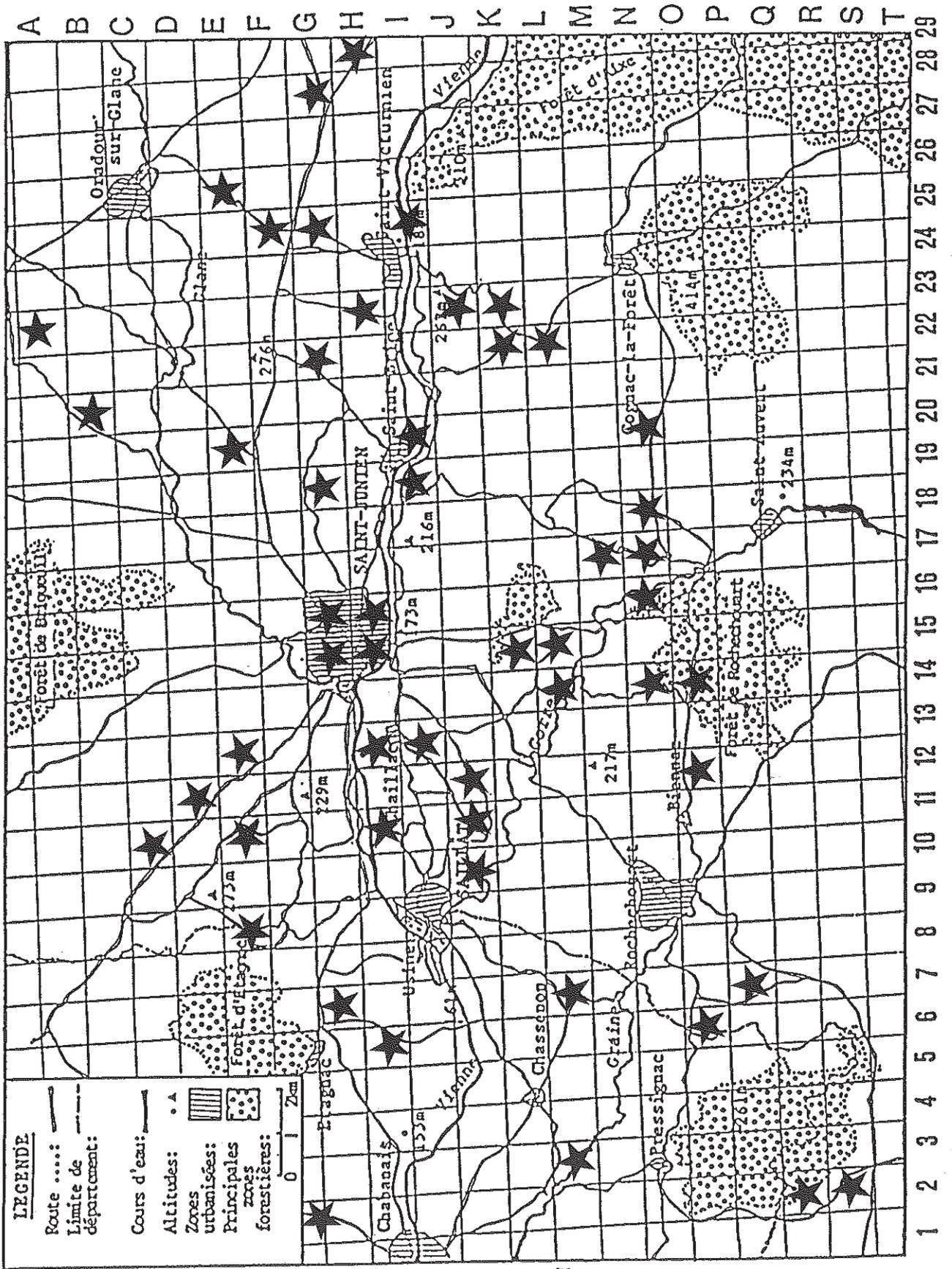
Carte n° 8, page 105

Nous allons citer les espèces de phorophytes utilisées pour effectuer les relevés.

La plupart du temps, nous avons essayé d'effectuer ces relevés sur *Quercus robur* * (Chêne pédonculé) qui est l'essence dominante dans notre secteur. Sur les berges de la Vienne, nous avons dû faire des prélèvements sur *Carpinus betulus* (Charme) et dans Saint-Junien, sur *Prunus pissardii* et *Tilia tomatosa* (Tilleul argenté).

Nous pouvons remarquer que ces différentes essences d'arbres présentent toutes des écorces de même nature, assez crevassées.

* La nomenclature utilisée pour les Phanérogames est celle de Flora Europea.



Carte n° 8 LOCALISATION DES RELEVES

Nous n'avons pas pu effectuer un relevé dans chaque maille, ceci en raison de la grande étendue de la région d'étude et du temps limité dont nous disposons. De plus, nous avons eu beaucoup de difficulté à trouver dans chaque carré des arbres isolés correspondant aux conditions exposées précédemment.

2 - Elaboration des tableaux des groupements lichénosociologiques

2.1 - Nomenclature utilisée

En tête de ces tableaux, nous allons retrouver :

- le n° de relevé,
- les coordonnées de la maille où a été effectué le relevé,
- le substrat avec comme abréviations :
 - Q = *Quercus robur*
 - C = *Carpinus betulus*
 - T = *Tilia tomatosa*
 - P = *Prunus pissardii*,
- l'orientation de la face du tronc où a été effectué le relevé,
- le nombre total d'espèces lichéniques par relevé,
- la liste des lichens, Bryophytes et algues observés sur l'ensemble de nos relevés.

La nomenclature utilisée pour les lichens est celle de LIKENOJ DE OKCIDENTA europeo de G. CLAUZADE et C. ROUX (1985). Celle des Bryophytes est de R.B. PIERROT (1982).

- le recouvrement total en %
- le recouvrement bryophytique en %
- le recouvrement algale en %
- le recouvrement lichénique en %
 - fruticuleux
 - foliacé
 - crustacé.

2.2 - Présentation des tableaux

a) Le tableau initial brut (n° 13, page 108)

Nous l'avons obtenu en recopiant les relevés dans leur ordre chronologique, et en classant les lichens en trois classes : fruticuleux, foliacés et crustacés.

Nous allons présenter plus en détail les espèces lichéniques rencontrées.

* Lichens fruticuleux observés :

- *Usnea* sp. dont les ramifications du thalle sont cylindriques,
- *Ramalina* div. sp. dont les ramifications sont en lanières aplaties et aux faces concolores,
- *Evernia prunastri* aux ramifications en lanières, mais à face inférieure blanche,
- *Anaptychia ciliaris*, dont le thalle à lanières grises présente de longs cils périphériques.

* Lichens foliacés observés :

- *Lobaria scrobiculata*, qui présente un thalle très étendu, lâchement adhérent au substrat,
- *Parmelia* div. sp. au thalle plus appliqué sur le substrat; parmi les espèces rencontrées, notons :

Parmelia caperata au thalle vert jaune,

Parmelia perlata au thalle bleu,

Parmelia saxatilis et *sulcata*, présentant des saillies en réseau sur la face supérieure,

Parmelia acetabulum vert-bleu foncé,

Hypogymnia physodes, peu adhérent au substrat et dont le thalle présente des lobes fortement repliés,

Parmelia fuliginosa et *subaurifera*, à thalle vert

olive.

- *Xanthoria parietina* à thalle jaune.

* Lichens crustacés observés

- *Pertusaria* div. sp. dont le thalle est souvent gris, présentant des plaques farineuses pulvérulentes,
- *Phlyctis argena* à thalle beaucoup plus mince,
- *Caloplaca feruginea* aux apothécies de couleur vanille,
- *Lecanora* div. sp. à thalle très mince, fortement appliqué au substrat et dont les nombreuses apothécies présentent un rebord prononcé; dans ce genre nous distinguons :
 - Lecanora g. sulfusca* à apothécies brun pâle,
 - Lecanora atra* aux apothécies très foncées,
 - et *Lecanora conizaeoides* à thalle granuleux,
- *Lepraria* div. sp. au thalle pulvérulent.

b) Le tableau de croissance provisoire

Tableau n° 14, page 110

Nous avons classé en horizontale les relevés par ordre décroissant du nombre d'espèces par relevé, et à la verticale par ordre croissant de fréquence des espèces.

c) Le tableau élaboré définitif

Tableau n° 15, page 112 et Schéma n° 11, page 113

Dans ce dernier tableau, nous avons regroupé les lichens par affinités phytosociologiques. Nous avons isolé :

* Dans un premier groupe, des lichens réputés les plus poléophobes et qui apparaissent très localisés dans nos relevés.

Il s'agit de *Lobaria scrobiculata* et des thalles d'*Usnea*.

Nom de l'espèce	N																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
<i>Lecanora conizaeoides</i>																											
<i>Lobaria scrobiculata</i>																											
<i>Physcia tenella</i>																											
<i>Candelaria vitellina</i>																											
<i>Rasatina frasinosa</i>																											
<i>Cladonia cf. coniocraea</i>																											
<i>Paraselia borrieri</i>																											
<i>Paraselia subaurifera</i>																											
<i>Hypomyces tubulosa</i>																											
<i>Caloplica ferruginea</i>																											
<i>Paraselia liliacea</i>																											
<i>Physcia elaeina</i>																											
<i>Xanthoria parietina</i>																											
<i>Anaptychia ciliaris</i>																											
<i>Pertusaria flavida</i>																											
<i>(Pleurococcus viridis)</i>																											
<i>Lecanora atra</i>																											
<i>Lecanora spe sulfusca</i>																											
<i>Paraselia acetabulum</i>																											
<i>Usnea sp.</i>																											
<i>Pertusaria albescens</i>																											
<i>Lecanora candelaris</i>																											
<i>Lecidea parasaea</i>																											
var. <i>alaochrona</i>																											
<i>Lecanora aruginosa</i>																											
<i>Rasalina farinacea</i>																											
<i>Pertusaria pertusa</i>																											
<i>Hypomyces physodes</i>																											
<i>Paraselia sulcata</i>																											
<i>Rasalina fastigiata</i>																											
<i>Paraselia fuliginosa</i>																											
<i>Phlyctis argentea</i>																											
<i>Paraselia saxatilis</i>																											
<i>Paraselia perlata</i>																											
<i>Evernia prunastri</i>																											
<i>Pertusaria anara</i>																											
<i>Paraselia caperata</i>																											

Tableau n° 14 TABLEAU DE CROISSANCE PROVISOIRE

N : Nombre de relevés où l'espèce est présente

Pour cette dernière espèce, soulignons que nous n'avons observé que des thalles de petite taille, autour d'un centimètre de longueur. Ceci correspond aux relevés 1 à 7, que l'on peut considérer comme des reliquats d'une association qui devait être plus abondante autrefois : *Usneion florido-ceratinae*, Barkman 1958.

* Un deuxième groupe est constitué par des lichens à affinité nitrophile. L'alliance phytosociologique rassemblant ces formations est celle du *Xanthorion parietinae* Ahsner, 1928 emend. Barkman, 1958 et plus précisément de l'association du *Ramalinetum fastigiatae* Duvigneaud, 1942.

Les espèces caractéristiques de ce groupement sont :

Ramalina fraxinea,

Ramalina farinacea,

Ramalina fastigiata,

qui sont associées à *Evernia prunastri*, l'une des espèces corticoles les plus banales.

Ces thalles fruticuleux sont accompagnés régulièrement d'autres espèces à thalle foliacé, *Parmelia acetabulum*, ou crustacé, *Caloplaca ferruginea*, présentant également des affinités nitrophiles et qui définissent une alliance voisine.

Si *Evernia prunastri* est observée dans une grande partie de nos relevés, on remarque cependant sa régression puis sa disparition vers la droite du tableau. Les autres espèces définissant ce groupement apparaissent plus localisées (relevés n° 8 à 33).

Nous remarquons que l'espèce la plus sensible, *Ramalina fraxinea* n'a été observée qu'une seule fois (relevé n° 8).

* Le troisième groupe est défini par les lichens à thalle foliacé correspondant essentiellement au genre *Parmelia*. La répartition de ce cortège apparaît assez homogène; seuls les six relevés de la droite du tableau montrent une forte régression.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76

<p><i>Usneion florido-ceratinae</i></p>	<p>Lobaria scrobiculata Usnea sp.</p>
<p><i>Xanthorion parietinae</i></p> <p><i>Ramalinetum fastigiatae</i></p>	<p>Physcia tenella Candelaria vitellina Caloplaca ferruginea Parmelia tiliacea Physcia elaeina Xanthoria parietina Anaptychia ciliaris Parmelia acetabulum Raalina fraxinea Raalina farinacea Raalina fastigiata Evernia prunastri</p>
<p><i>Parmelion caperatae</i></p> <p><i>Parmelion caperatae</i> type</p>	<p>Cladonia cf. coniocraea Parmelia borreeri Parmelia subaurifera Hypogymnia tubulosa Hypogymnia physodes Parmelia sulcata Parmelia fuliginosa Parmelia saxatilis Parmelia perlata Parmelia caperata</p>
<p><i>Pertusarietum amarae</i></p>	<p>Pertusaria flavida Lecanora atra Lecanora gpe sulfusca Pertusaria albescens Lecidea parasema var. elaeochroa Pertusaria pertusa Phlyctis argena Pertusaria avara Lepraria aeruginosa Lepraria candelaris</p>

groupement à
Lecanora conizaeoides
et *Pleurococcus viridis*

Coeff. de Polytolérance 756

Schéma n° 11
SCHEMATISATION DU TABLEAU ELABORE DEFINITIF

Cet ensemble correspond à l'alliance du *Parmelion caperatae* Barkman, 1958, Delzenne et Gehu 1977, qui apparaît des relevés n° 34 à 58 à l'état pur. Nous l'appellerons "*Parmelion caperatae* type".

* Dans le quatrième groupe enfin, plus ou moins imbriqué avec le précédent, apparaît une communauté de lichens crustacés correspondant à l'association du *Pertusarietum amarae* Hil. 1925 emend. Barkman 1958.

On constate, par une concurrence plus faible du fait de la réduction du nombre d'espèces, que les coefficients d'abondance des *Pertusaria* sont plus importants à ce niveau.

On remarque à l'extrême droite du tableau la localisation de *Lecanora conizaeoides* et de l'algue *Pleurococcus viridis*, corrélativement à la régression et même disparition des lichens précédemment énumérés.

Les numéros placés en tête indiquent uniquement le rang des relevés dans le tableau final (les anciens numéros seront placés pour mémoire en dessous).

Pour chaque relevé, nous avons calculé et mis en corrélation l'indice de poléotolérance précédemment défini. Les valeurs des indices seront placés à la base du tableau.

Dans une colonne à l'extrême droite du tableau, nous avons inscrit, pour chaque espèce, le nombre de relevés où elle est présente.

3 - Interprétation des données- Cartographie de la pollution atmosphérique

3.1 - Cartes établies d'après les groupements phytosociologiques

Nous avons tout d'abord établi quatre cartes correspondant à la présence/absence des groupements lichénosociologiques précédemment décrits.

CARTE A

Carte n° 9, page 116

Celle-ci correspond à la présence des thalles d'*Usnea* et de *Lobaria scrobiculata*. Nous l'avons appelée "carte de répartition de *Lobaria scrobiculata* et des thalles d'Usnée".

Elle correspond aussi aux relevés où le nombre d'espèces est le plus important (8 à 12 espèces).

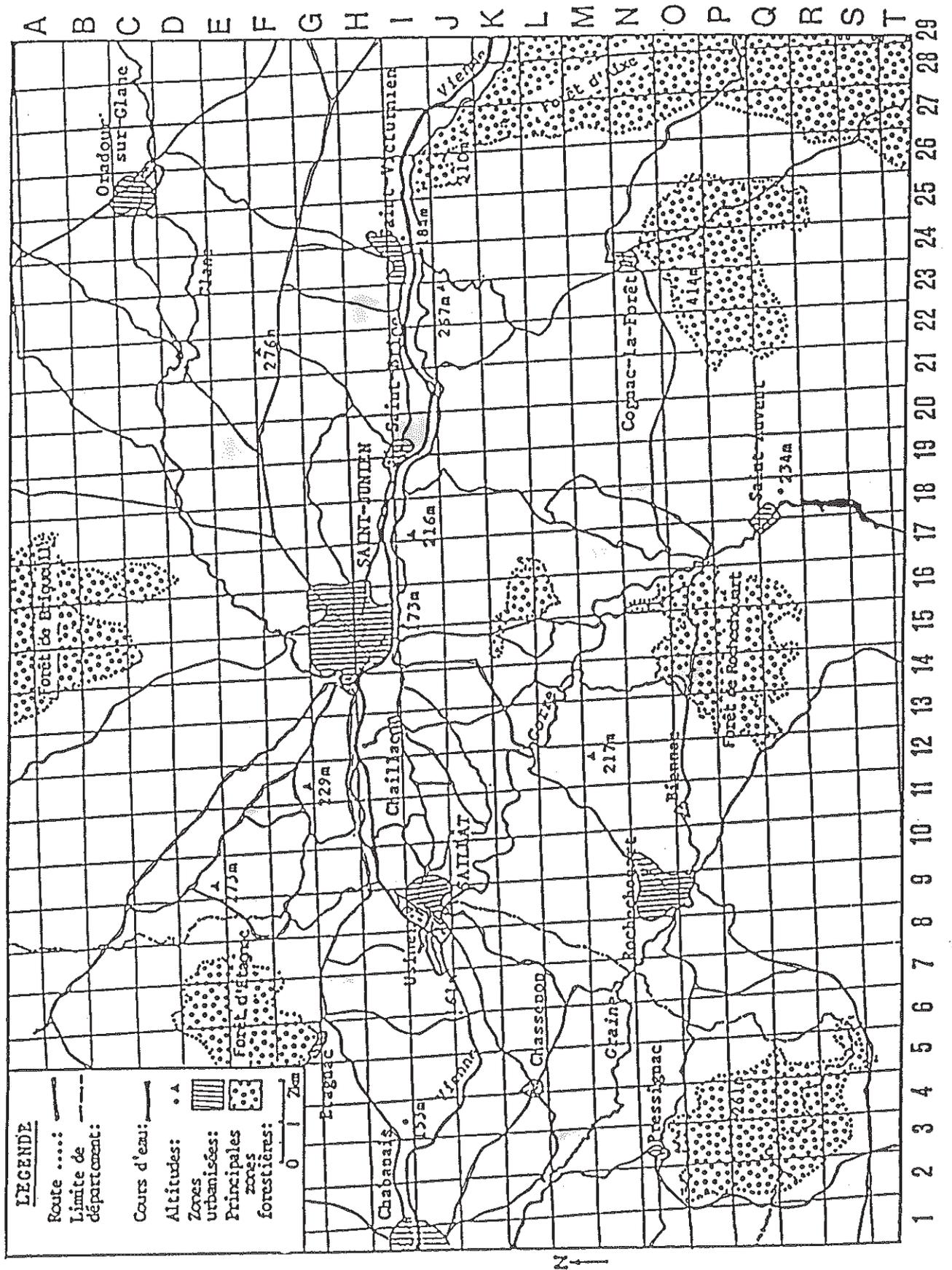
Nous constatons que ces relevés sont situés relativement à la périphérie de notre secteur d'étude, dans les zones éloignées de l'ensemble Saillat/Saint-Junien. Remarquons cependant la station située dans le carré I-13, placée à proximité d'une petite vallée (celle du ruisseau de Chaillac) légèrement encaissée, induisant en cela des conditions plus privilégiées. Il convient de plus de souligner que nous n'avons relevé l'Usnée qu'à l'état d'individu.

CARTE B

Carte n° 10, page 117

Elle correspond à la présence maximale des lichens présentant des affinités nitrophiles. Ces relevés ont été faits à proximité de hameaux regroupant des fermes (par exemple : Valette et Lesignas pour les carrés J-11 et J-12), soit sur des arbres situés en limite de parcelles labourées et soumises aux engrais, soit enfin près de prairies amendées (carrés N-14 et N-17).

Nous l'avons intitulée "carte de répartition des espèces nitrophiles".



Carte n° 10 REPARTITION DES ESPECES NITROPHILES

B

Carte C

Carte n° 11, page 119

Elle représente une régression du groupe précédent. On constate une diminution du nombre des espèces puisque celui-ci va progressivement de 9 à 5. En particulier, il faut souligner la disparition progressive des lichens à thalle fruticuleux.

Par rapport à la carte précédente, on constate que les carrés correspondant aux relevés se concentrent particulièrement à proximité de la vallée de la Vienne et cela surtout à l'Est de Saint-Junien.

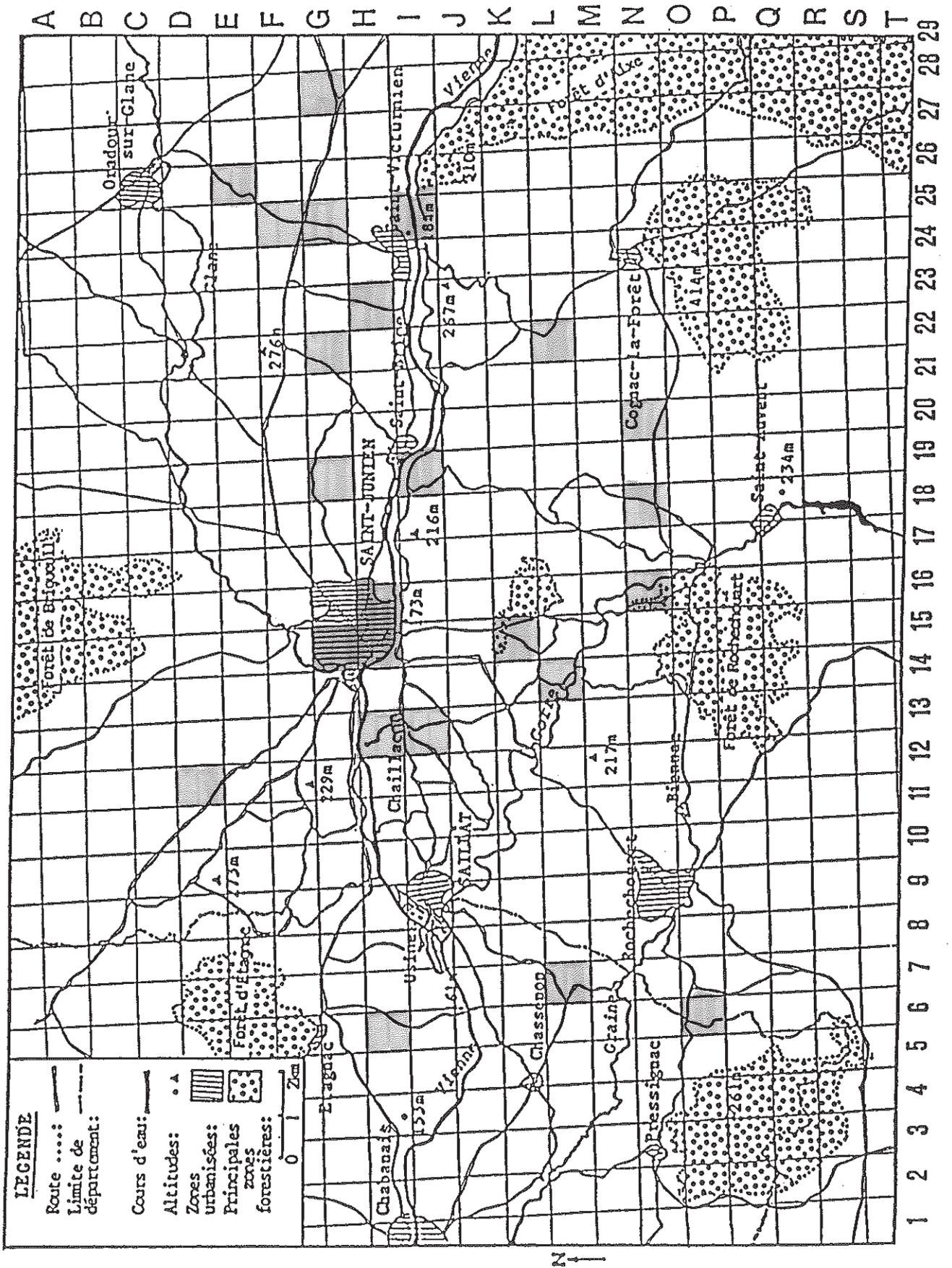
Carte D

Carte n° 12, page 120

Ici, le nombre d'espèces est très faible (4 à 1) et on constate même la disparition des lichens dans le dernier relevé, la surface du tronc étant entièrement recouverte par une algue (*Pleurococcus viridis*).

Cette zone correspond à l'agglomération de Saint-Junien dans sa partie centrale. Remarquons cependant que pour 2 des 6 relevés, le phorophyte support est une espèce différente des autres relevés. Il s'agit de *Prunus pissardii*.

La comparaison de ces quatre cartes indique des différences de localisation relativement nettes pour chacun des groupements phytosociologiques.



Carte n° 11

C

3.2 - Cartes établies d'après les indices de poléotolérance

Le mode de calcul de l'indice de poléotolérance permet d'avoir une large amplitude de valeurs allant de 5 à 756, ce qui va nous permettre de classer assez facilement les relevés.

Nous nous proposons ainsi de différencier 6 zones selon la valeur des indices; de plus, à chaque zone, nous avons attribué une couleur différente ce qui permettra de les différencier plus facilement sur les cartes.

Indice de
poléotolérance (X)

1 ^{ère} zone	$X \geq 600$	
2 ^{ème} zone	$600 > X \geq 500$	
3 ^{ème} zone	$500 \geq X \geq 400$	
4 ^{ème} zone	$400 \geq X \geq 300$	
5 ^{ème} zone	$300 \geq X > 150$	
6 ^{ème} zone	$X \leq 150$	

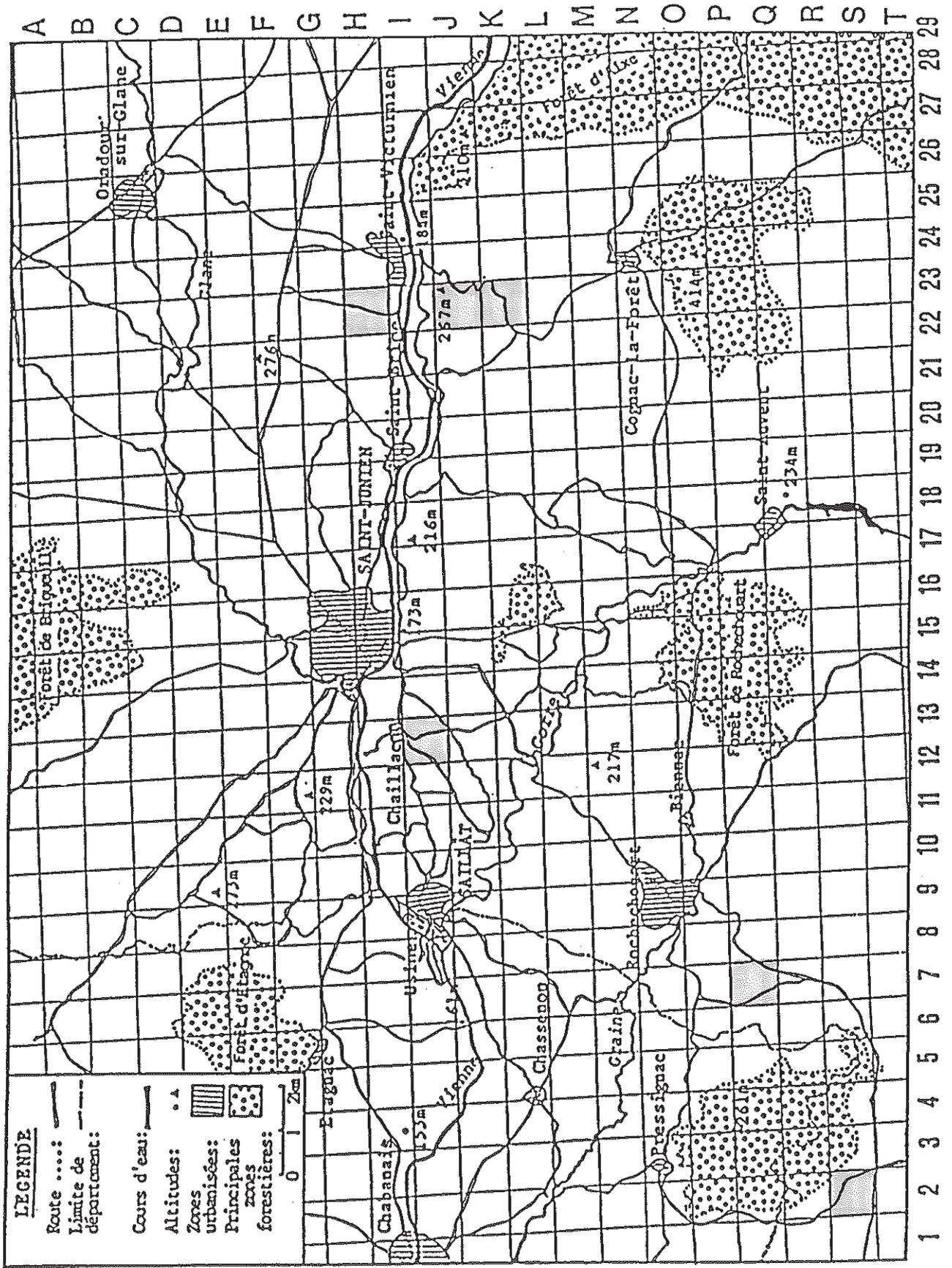
En bas du tableau définitif, nous avons signalé la couleur de la zone de poléotolérance à laquelle appartient chaque relevé.

a) Carte de la zone bleue $X \geq 600$

Carte n° 13, page 122

Nous retrouvons ici 3 relevés correspondant à la "zone à Usnée" (relevés n° 1, 2 et 7) ainsi que les trois premiers relevés de la "zone des nitrophiles" (relevés n° 8, 9 et 10), avec en particulier le relevé n° 8 qui est la seule localisation de *Ramalina fraxinea*, espèce la moins tolérante des *Ramalina*.

On retrouve une localisation relativement en périphérie de notre zone d'étude.



Carte n° 13 ZONE BLEUE AVEC X > 600

b) Carte de la zone verte $600 > X \geq 500$

Carte n° 14, page 124

Sont retrouvés ici le relevé n° 6 qui présente encore des thalles d'*Usnée*, cinq relevés de la "zone des nitrophiles" et un relevé, le n° 34, correspondant à la "zone du *Parmelion caperatae* type".

La répartition de ces relevés semble se disposer de façon plus ou moins circulaire dans un rayon de 4 à 5 km de Saint-Junien.

c) Carte de la zone jaune $500 \geq X \geq 400$

Carte n° 15, page 125

Cette zone se superpose assez nettement à la "zone du *Ramalinetum fastigiatae*" puisque la moitié des relevés de cette communauté phytosociologique y sont inclus. On trouve également un relevé à *Usnea* et quatre relevés du "*Parmelion caperatae* type".

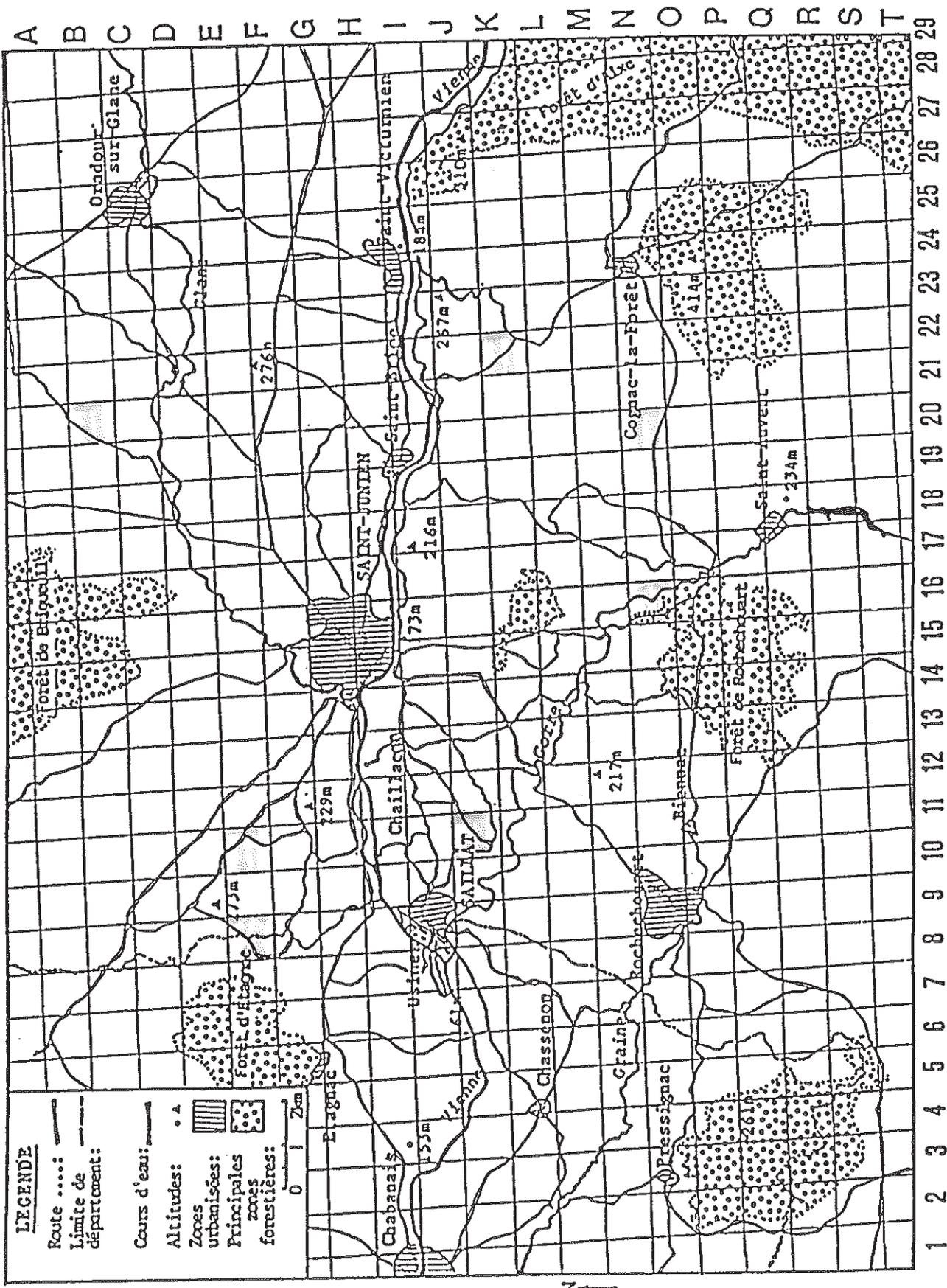
Nous constatons que ces relevés présentent une répartition assez disséminée, mais qu'ils peuvent se rapprocher assez près des zones urbanisées (à 2 km de Saint-Junien et à la limite Sud de Saillat).

d) Carte de la zone rose $400 \geq X \geq 300$

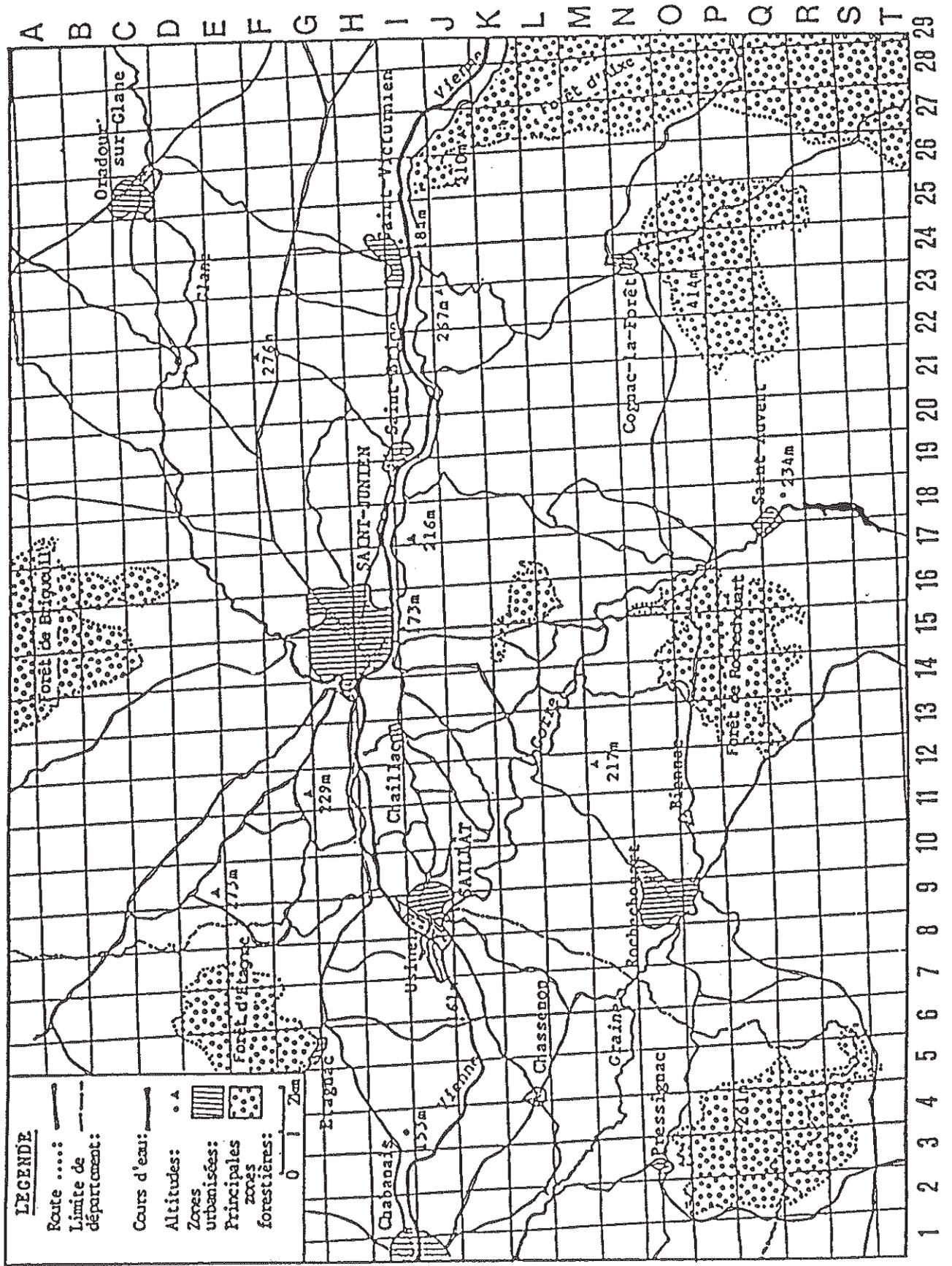
Carte n° 16, page 126

Sont regroupés ici seulement quatre relevés des "groupements à *Ramalina*" et huit relevés correspondant au "*Parmelion caperatae* type".

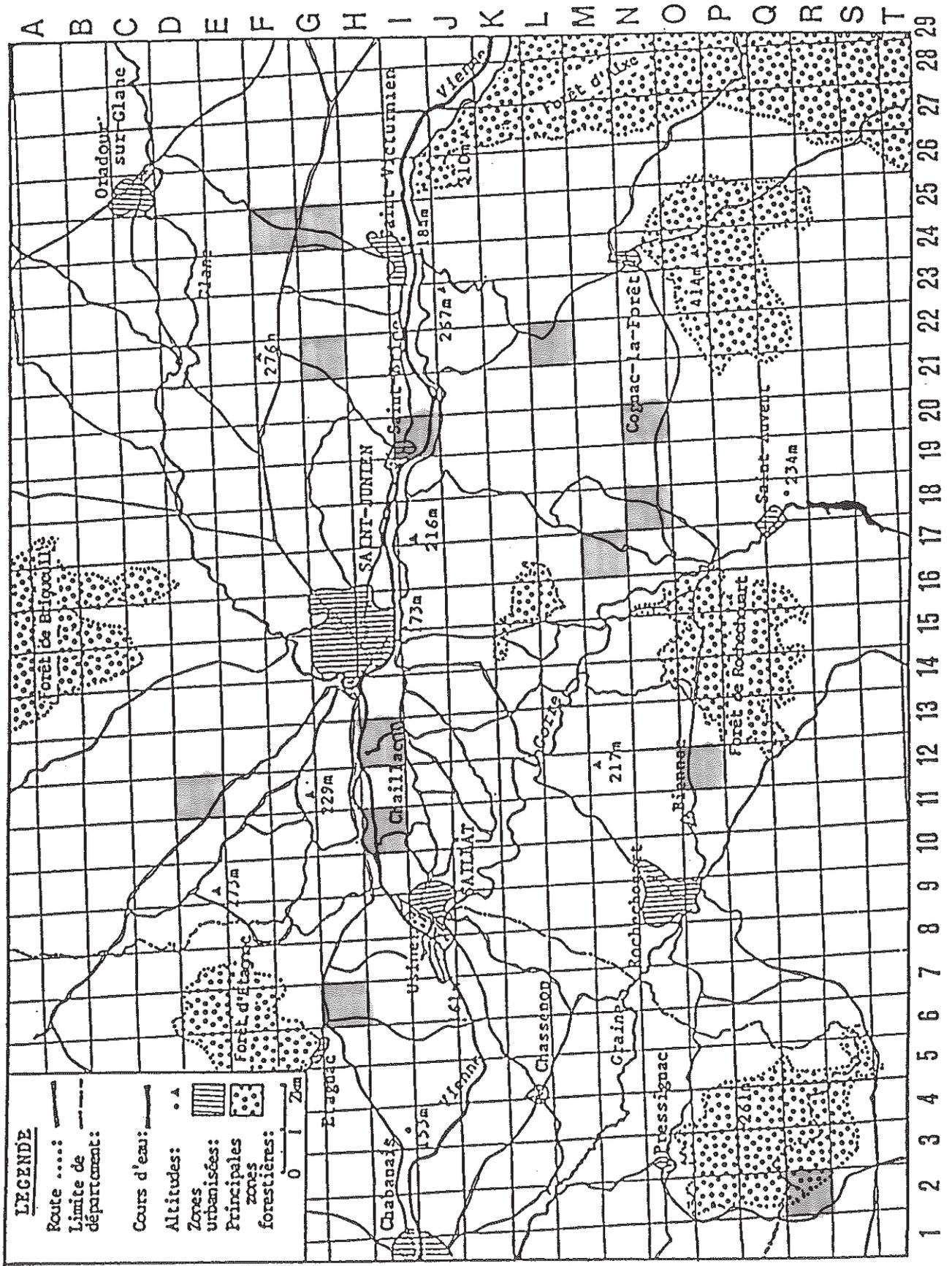
Ces relevés, par rapport aux zones précédentes, se localisent dans la vallée de la Vienne, particulièrement entre Saillat et Saint-Junien, et autour de Saint-Brice.



Carte n° 14 ZONE VERTE AVEC 600 > X > 500



Carte n° 15 ZONE JAUNE AVEC $500 \geq X \geq 400$



Carte n° 16 ZONE ROSE AVEC $400 \geq X \geq 300$

e) Carte de la zone orange $300 \geq X > 150$

Carte n° 17, page 128

Cette zone correspond dans le tableau phytosociologique à la moitié droite des relevés appartenant au "*Parmelion caperatae* type".

Son isolement semble se justifier pour plusieurs raisons :

- régression sensible d'*Evernia prunastri* dont les coefficients de présence ne dépassent pas 5% (+) d'une part, et disparition de *Pertusaria albescens*, *Lecanora gpe sulfusca* et *Lecanora atra* d'autre part.
- le nombre des lichens dans chaque relevé ne dépasse généralement pas six,
- la localisation de ces relevés se superpose un peu à la précédente avec une présence dans l'agglomération de Saint-Junien.

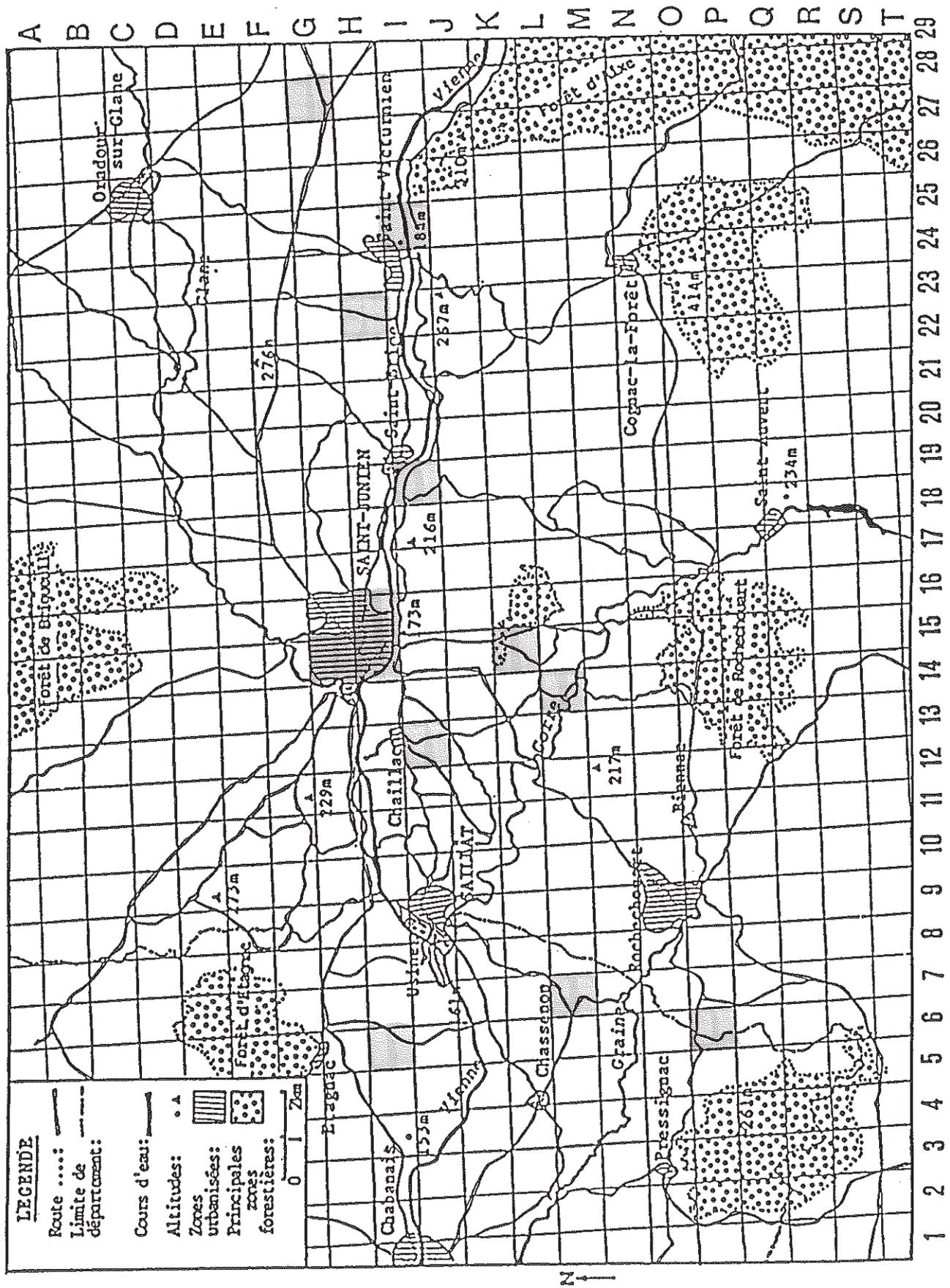
f) Carte de la zone noire $X \leq 150$

Carte n° 18, page 129

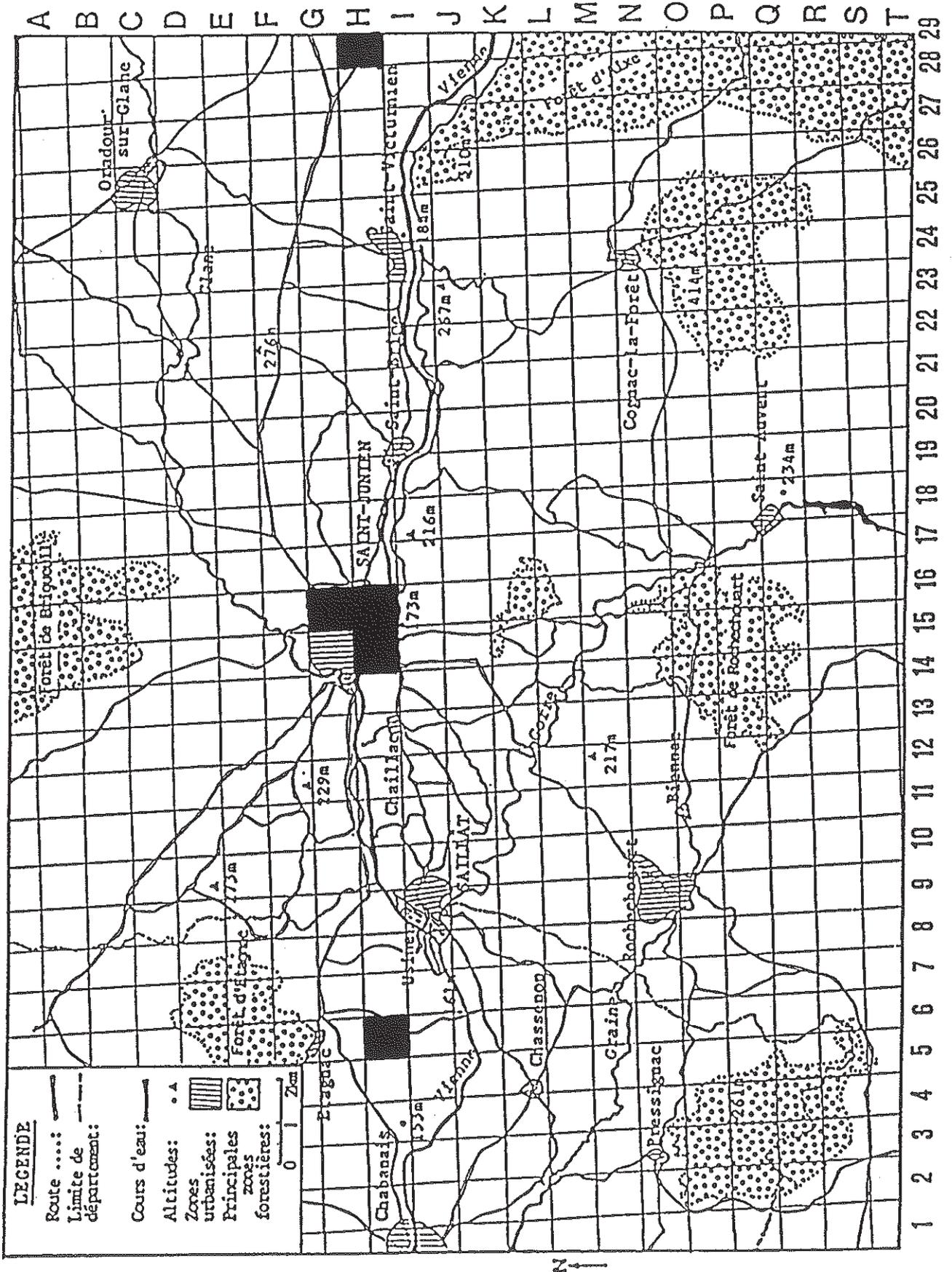
Elle correspond à un appauvrissement des communautés lichéniques avec moins de quatre espèces par relevé. Un tel appauvrissement a été constaté dans trois carrés correspondant à Saint-Junien et un relevé situé au bord de la N 141, à l'Est de Saint-Victurnien, de même que dans un autre carré situé à 2 km à l'Ouest de Saillat.

3.3 - Comparaison des deux cartographies

La comparaison entre les deux types de cartographie montre une correspondance certaine, mais finalement obligatoire par le fait que dans leur élaboration, un même critère absence/présence a été utilisé.



Carte n° 17 ZONE ORANGE AVEC $300 \geq X > 150$



Carte n° 18 ZONE NOIRE AVEC X ≤ 150

Cependant, la méthode des indices de poléotolérance, tenant compte d'un ensemble plus important de paramètres, permet de corriger et de préciser les données obtenues par la première méthode.

En effet, il nous est possible de remarquer qu'en associant les cartes des indices de poléotolérance X compris entre 500 et 600, et 500 et 400, on obtient assez fidèlement la carte de répartition de la "zone des nitrophiles".

Il en est de même pour les cartes des indices de poléotolérance compris entre 300 et 400, et 300 et 150 qui, superposées, redonnent pratiquement la carte C.

Pour les cartes extrêmes qui font intervenir pratiquement les mêmes relevés, on ne constate pas de différences très importantes.

Donc, au lieu de quatre zones (définies par les cartes A, B, C et D), nous obtenons six zones permettant de rendre compte plus finement des observations.

3.4 - Carte de synthèse

Carte n° 19, page 131

Elle a été obtenue en superposant les six cartes des indices de poléotolérance.

Il n'est pas possible d'établir des courbes d'isopollution du fait d'une part des variations sans doute faibles de pollution atmosphérique, et d'autre part de l'influence de la topographie (petite vallée plus ou moins encaissée) induisant des microclimats éventuellement plus favorables au développement des lichens.

Cette carte de synthèse montre une certaine orientation dans la disposition des carrés présentant des indices de poléotolérance similaires.

Si pour les indices > 500 les carrés apparaissent en ordre dispersé et relativement éloignés des zones urbanisées et industrialisées, on remarque une orientation Sud-Ouest / Nord-Est pour les carrés présentant des indices entre 400 et 500 et une orientation Ouest, c'est à dire suivant la vallée de la Vienne à ce niveau pour les pollutions supérieures (indice < 300).

Ceci montre l'influence des vents dominants Sud-Ouest et des brouillards qui peuvent s'accumuler dans la vallée.

Reprenant la méthode de HAKSWORTH et ROSE qui met en relation la présence d'un lichen avec le taux de SO_2 atmosphérique, et en comparant nos observations avec une étude faite précédemment sur l'agglomération de Limoges, nous pouvons dire que globalement nous nous situons dans la zone 7 correspondant à une pollution de $40 \mu\text{g}$ de SO_2 par m^3 .

Les six premiers relevés appartiennent à la zone 8 ($35 \mu\text{g}$ de SO_2 par m^3) et la partie extrême droite du tableau (relevés n° 59 à 64) correspond à une zone 4 (taux $> 60 \mu\text{g}$ de SO_2 par m^3).

Il serait bien que des mesures physico-chimiques puissent être effectuées afin de confirmer cette estimation.

III - POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS

DOSAGE DU PLOMB

Comme nous l'avons vu précédemment, la combustion automobile représente une source non négligeable de production de plomb, qui est utilisé comme anti-détonnant dans l'essence.

Nous nous sommes proposés, afin de montrer l'influence des métaux lourds sur les lichens, d'effectuer quelques dosages du plomb dans les thalles de quelques spécimens situés dans notre secteur.

A - METHODE D'ETUDE

1 - Récolte des échantillons

Carte n° 3, page 75

Nous avons choisi, pour mettre en évidence l'accumulation du plomb dans les thalles de lichens, d'effectuer des relevés sur deux routes présentant des trafics routiers très différents.

Nous avons effectué trois relevés sur la Nationale 141 qui présente un trafic routier important avec 9040 véhicules par jour, et trois relevés sur une petite route de campagne, la D 10, présentant un trafic faible de 523 véhicules par jour.

Du fait de l'absence de lichens à thalle suffisamment développé dans l'agglomération de Saint-Junien, il ne nous a pas été possible de faire des mesures comparatives à ce niveau.

Nous avons procédé le même jour en prenant des lichens situés sur la face du tronc orientée vers la route à 1m30 - 1m50 du sol. Les échantillons ont été transportés dans des sacs en papier.

2 - Minéralisation

Les lichens sont desséchés à l'étuve à 150°C durant 72 heures sans lavage préalable, puis ils sont pesés et traités par l'eau oxygénée bouillante*, soit étuvés à 90°C pendant 72 heures.

(*) eau oxygénée RP norma pur à 30% pour analyse, stabilisée avec 0,0005% de stannate de Na de chez Prolabo à 110 V.

La masse de chaque échantillon, avant minéralisation, est environ de 0,5 g de matière sèche.

3 - Dosage

Il est effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique dans une solution décimolaire de HCl (nous avons repris chaque échantillon avec 10 ml de HCl N/10).

- Référence de l'appareil utilisé : Atomspek Hilgu et Watts,
- Limites du dosage : entre 2 et 30 ppm,
- Sensibilité : 0,26 ppm.

B - RESULTATS

Schéma n° 12, page 135

Sur la Nationale 141 nous avons effectué 3 relevés A, B et C. Pour chaque relevé nous avons traité deux échantillons dans les mêmes conditions.

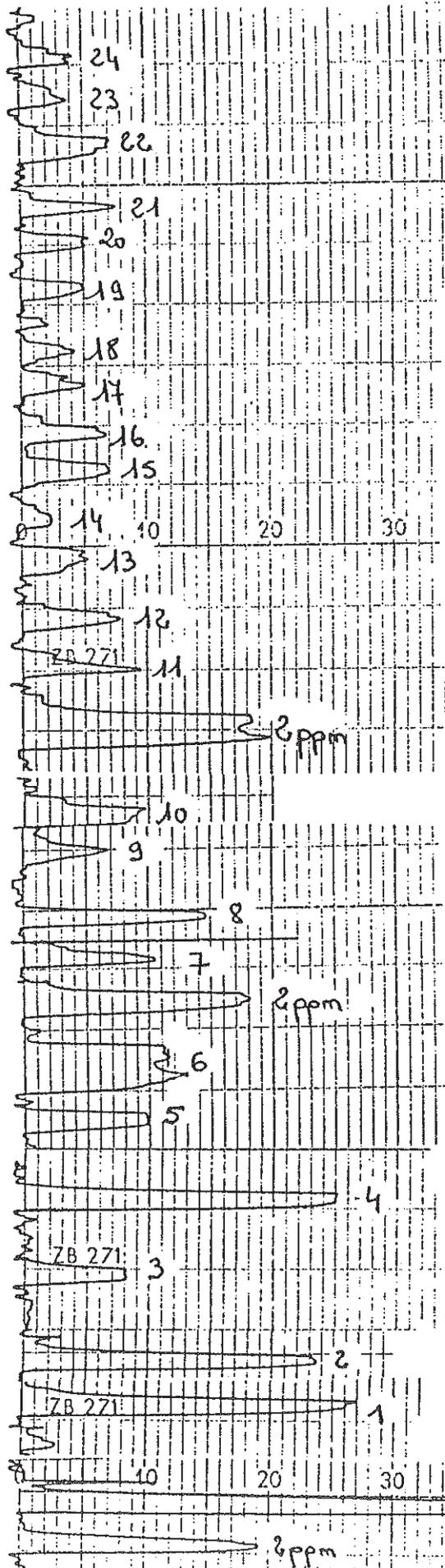


Schéma n° 12 DOSAGE DU PLOMB

- le relevé A correspond aux dosages n° 1 et 2, où les lichens foliacés et fruticuleux ne sont pas séparés,
- relevé B ---> dosages n° 3 et 4
- relevé C ---> dosages n° 5 et 6 pour les lichens foliacés,
dosages n° 7 et 8 pour les lichens fruticuleux.

Sur la départementale 10, trois relevés ont également été effectués :

- relevé D ---> dosages n° 9 et 10 pour les lichens fruticuleux,
dosages n° 11 et 12 pour les lichens foliacés,
- relevé E ---> dosages n° 13 et 14 pour les lichens fruticuleux,
dosages n° 15 et 16 pour les lichens foliacés,
- relevé F ---> dosages n° 17 et 18 pour les lichens fruticuleux,
dosages n° 19 et 20 pour les lichens foliacés.

De plus, nous avons effectué un relevé dans la forêt de Cognac-la-Forêt, zone éloignée de tout trafic considérée comme "pure" dans notre étude.

En regardant les résultats obtenus, nous pouvons constater que les valeurs ne sont pas très élevées et sont juste situées à la limite du dosage de notre appareil. On constate cependant une différence notable entre les deux routes où, pour la N 141, les quantités de plomb avoisinent les 2 ppm, c'est à dire le double de ce qui est trouvé pour la D 10.

Ceci nous permet de confirmer l'intérêt des lichens comme témoins de la pollution par les métaux lourds.

En revanche, on ne note pas de différence importante entre la zone dite "pure" et la D 10, ceci pouvant s'expliquer par des concentrations trop faibles de plomb dans nos relevés ne permettant pas un dosage différentiel.

CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons préféré utiliser la méthode phytosociologique qui nous permet d'obtenir des résultats plus objectifs que ceux obtenus avec des méthodes classiques. Cependant, il nous a paru nécessaire, afin de réaliser une analyse plus fine, de la compléter par différents paramètres issus de la méthode de DE SLOOVER.

Des variations dans la flore lichénique locale ont ainsi pu être mises en évidence. Toutefois, il nous est difficile d'effectuer une analyse critique de notre méthode par le manque de données et par des différences trop peu marquées de la composition floristique.

Bien que la région étudiée s'avère peu polluée, ces variations, corrélées aux résultats des dosages de plomb dans les thalles, montrent l'incidence de la pollution atmosphérique. L'intérêt de l'étude des lichens comme témoins et amplificateurs des pollutions :

- d'une part, une pollution atmosphérique acide (SO₂)
- d'autre part, une pollution par les métaux lourds (Pb)

s'en trouve ainsi confirmé.

Par ailleurs, il ressort que l'agglomération de Saint-Junien, avec ses diverses activités, constitue la source de pollution la plus importante de la région, les papeteries présentant une influence moindre.

Cette étude présente donc un état initial correspondant à la situation encore privilégiée de notre région du point de vue de la qualité de l'environnement, et il serait souhaitable que l'état de cette végétation épiphytique soit étudié régulièrement afin de suivre l'influence du développement des activités humaines.

BIBLIOGRAPHIE

- BARKMAN, J.J., 1958. - Phytosociology and ecologie of cryptogamie epiphytes. Including a taxonomie survey and description of their vegetation units in Europe. - Assen, Netherlands, 628 p.
- BONNEAU, M., FRICKER, C., 1985. - Le dépérissement des forêts dans le massif vosgien : relations possibles avec la pollution atmosphérique. Revue forestière française, numéro spécial, 105 - 126.
- BONSANG, B., 1982. - Le soufre dans l'atmosphère. La Recherche, n° 137 (Octobre), 1132 - 1142.
- BRUZEAU, H., 1986. - Contribution à l'étude des groupements bryolichéniques (corticoles et saxicoles) du site de la Vallée des Duges (Monts d'Ambazac. Haute-Vienne). Thèse de Doct. Etat Pharm., Univ. Limoges, 111 p.
- CLAUZADE, G. ROUX, C., 1985. - Likenoj de okcidenta europo : ilustrita determin libro. Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, Royan, 833 p.
- COLAS, B., 1985. - Etude de la végétation forestière d'un secteur de Charente Limousine (région de Chasseneuil, 16). Thèse Doct. Etat Pharm., Univ. Limoges, 139 p.
- DE FOUCAULT, B., VAN HALUWYN, C., 1980. - Séminaire de phytosociologie cryptogamique. Doc. Phytosoc., Lille, N.S., V, 503 - 521.
- DELZENNE, C., VAN HALUWYN, C., 1973. - Contribution à l'étude de la distribution des lichens épiphytes dans le Nord de la France. Application au problème de la pollution atmosphérique. Thèse Doct. Etat Pharm., Univ. Lille II, 162 p.
- DELZENNE, C., GEHU, J.M., 1978. - Sur deux associations épiphytiques du Parmelion caperatae des plaines et collines françaises. Doc. Phytosoc., Lille, N.S., II, 117 - 126.
- DERUELLE, S., 1983. - Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO₂, Pb) et relations avec les facteurs climatiques. Thèse Doct. Etat ès Sciences Nat., Univ. Paris VI, 360 p.

- DERUELLE, S., 1978. - Etude comparée de la sensibilité de trois méthodes d'estimation de la pollution atmosphérique, en utilisant les lichens comme indicateurs biologiques dans la région de Mantes (Yvelines). *Rev. Bryol. Lichénol.*, 44, 4, 429 - 441.
- DERUELLE, S., 1978. - Les lichens et la pollution atmosphérique. *Bull. Ecol.*, 9, 2, 87 - 128.
- DERUELLE, S., LALLEMANT, R., 1983. - Les lichens témoins de la pollution. Vuibert éd., Paris, 108 p.
- DUVIGNEAUD, P., 1974. - La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, zoosphère. Doin éd., Paris VI, 296 p.
- HENRION-GIRAUD, M., 1984. - Estimation de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Limoges par l'étude des lichens corticoles. Thèse Doct. Etat Pharm. Univ. Limoges, 149 p.
- LAMBINON, J., 1969. - Les lichens : morphologie, biologie, systématique, écologie. Introduction à l'étude des lichens de Belgique et des régions voisines. Les Naturalistes Belges, Bruxelles, 196 p.
- LAMY DE LA CHAPELLE, E., 1880. - Catalogue des lichens du Mont-Dore et de la Haute-Vienne. Soc. Bot. de France, Paris, 200 p.
- LEROND, M., 1981. - Les lichens épiphytes en Normandie orientale : distribution, sociologie et application à la cartographie de la pollution atmosphérique. Actes du Muséum de Rouen, 299 p.
- LEROND, M., 1980. - Lichénogéographie de la Basse Seine (Application à la cartographie de la pollution atmosphérique). Actes du Muséum de Rouen, 35 - 69.
- LIKENS, G., WRIGHT, R., GALLOWAY, J., BUTLER, T., 1979. - Les pluies acides. *Pour la Science*, n° 26, 59 - 67.

- OZENDA, P., CLAUZADE, G., 1970. - Les lichens : étude biologique et flore illustrée. Masson éd., Paris, 801 p.
- PIERROT, R.B., 1982. - Les Bryophytes du Centre-Ouest : classification, détermination et répartition. Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, Royan, 123 p.
- RAMADE, F., 1979. - Ecotoxicologie. Collection d'Ecologie 9 (2ème édition). Masson éd. Paris, 228 p.
- SOUCHON, C., 1971. - Les Lichens. (Collection Que-sais-je?). Presses Universitaires de France éd., Paris, 124 p.
- TROTET, G., 1968. - Précis de lichénologie. Collection "faunes et flores actuelles". Boubée et Cie éd. Paris VI, 194 p.
- TUTIN, T.G., HEYWOOD, V.H., BURGESS, N.A., MOORE, D.M., VALENTINE, D.H., WALTERS, S.M., WEBB, D.M., 1964 - 1968 - 1972 - 1976 - 1980.- Flora Europea. Cambridge University press. 5 vol. (464 p., 455 p., 370 p., 505 p., 452 p.).
- VAN HALUWYN, C., LEROND, M., 1988. - Lichénosociologie et qualité de l'air : protocole opératoire et limites. Cryptogamie, Bryol., Lichénol., 9 (4), 313 - 336.
- VAN HALUWYN, C., LEROND, M., 1987. - La lichénosociologie dans l'évaluation de la qualité du milieu. Colloques phytosociologiques : phytosociologie et conservation de la nature. Strasbourg, 234 - 250.
- VERYNAUD, G., 1981. - Le Limousin, la nature, les hommes Les Cahiers documentaires du C.R.D.P. de Limoges. Limoges, 207 p.
- VILKS, A., 1974. - Contribution à l'étude phytogéographique du département de la Haute-Vienne. Thèse Doct. 3ème cycle (Biogéographie), Univ. Toulouse, 127 p.

DOCUMENTS DIVERS

Bulletin climatologique mensuel du Limousin (Station météorologique de Limoges) édité par les commissions météorologiques départementales de la Haute-Vienne, Corrèze et Creuse.

Atlas agroclimatique du Limousin, édité par la Direction de la Météorologie Nationale (1989).

Demande d'autorisation d'installations classées pour la protection de l'environnement, usine de Saillat (Aussedat-Rey), 5 mars 1990.

Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.
Recensement général de la population en 1990.

Bulletin de l'O.M.S. (Organisation mondiale de la santé). La pollution de l'air, Genève, 1990, feuillets 76.

TABLE DES MATIERES

	Pages
Introduction	11
Chapitre I - Les lichens, des êtres symbiotiques . . .	14
I - Constitution, morphologie et anatomie	15
A - Constitution	15
1 - Le phycosymbiote	15
2 - Le mycosymbiote	16
3 - Les autres constituants symbiotiques	16
B - Morphologie	16
1 - Les thalles fruticuleux	17
2 - Les thalles foliacés	17
3 - Les thalles squamuleux	17
4 - Les thalles crustacés	17
5 - Les thalles gélatineux	19
6 - Les thalles complexes	19
C - Structure anatomique	19
1 - Structure homéomère	19
2 - Structure hétéromère	21
2.1 - Structure stratifiée	21
2.2 - Structure radiée	21
3 - Structures particulières	21
3.1 - Les rhizines	21
3.2 - Les cyphelles	24
3.3 - Les pseudocyphelles	24
II - Reproduction et multiplication des lichens	25
A - La reproduction sexuée	25
1 - Reproduction par des spores	25
2 - Reproduction par des conidies	26
B - La multiplication végétative	26
1 - Les sorédies et soralies	27
2 - Les isidies	27
3 - Fragmentation du thalle	27

	Pages
III - Physiologie des lichens	28
A - L'eau : provenance, absorption et circulation	28
B - Respiration et nutrition	29
1 - Respiration	29
2 - Nutrition minérale	29
3 - Nutrition azotée	29
4 - Nutrition carbonée	30
IV - Epiphytisme	31
 Chapitre II - Les lichens, indicateurs biologiques de la pollution atmosphérique	 32
I - Influence de la pollution atmosphérique sur la flore lichénique	 33
A - Premières observations. Historique	33
B - Les effets proprement dits de l'urbanisation et de l'industrialisation sur la flore lichénique	 34
1 - Réduction du nombre d'espèces	36
1.1 - Dans le temps	36
1.2.- Dans l'espace	36
2 - Diminution du recouvrement	36
3 - Diminution de la fertilité	37
3.1 - Dans le temps	37
3.2 - Dans l'espace	37
II - Caractères particuliers des lichens justifiant leur choix comme bioindicateurs	 38
A - Activité continue	38
B - Métabolisme lent	39
C - Pouvoir d'accumulation et absence de moyens de lutte	39

III - Les différentes méthodes utilisant les lichens comme indicateurs biologiques de la pollution atmosphérique	40
A - Les méthodes qualitatives	40
B - Les méthodes quantitatives	40
C - Les méthodes indirectes	41
D - Méthode choisie dans notre étude	41
 IV - La pollution atmosphérique	 42
A - Généralités	42
1 - Les principaux polluants	42
2 - Les sources d'émission	42
2.1 - Emission industrielle	42
2.2 - La combustion	43
2.3.- Les moteurs des véhicules automobiles	43
2.4.- Les engrais agricoles et les pesticides	43
B - Le cycle du soufre	43
C - L'anhydride sulfureux SO ₂	44
1 - Les sources d'émission du SO ₂	46
1.2 - Les sources d'émission naturelles	46
1.2 - Les sources d'émission artificielles	46
2 - Les effets du SO ₂ sur les lichens	47
D - Le phénomène des pluies acides	48
E - Les autres polluants ayant une action sur les lichens	49
1 - Fluor et fluorures volatils	49
2 - Eléments radioactifs	49
3 - Métaux lourds	49
4 - Engrais	50

Chapitre III - Application à la région de Saillat et Saint-Junien	51
I - Présentation de la région	52
A - Cadre naturel	52
1 - Géologie	52
2 - Relief	52
3 - Les cours d'eau	54
4 - Climatologie	54
4.1 - Données climatologiques	55
4.2 - Synthèse climatologique	64
4.3 - Conclusion	69
5 - Végétation	69
B - Les activités humaines	70
1 - Agriculture	70
2 - Villes et agglomérations	71
2.1 - Les principales agglomérations	71
2.2 - La population	72
3 - Le trafic routier	72
4 - Industries	74
4.1 - Industries liées à l'agriculture et la forêt	74
4.2 - Industries sans lien direct avec le monde rural	76
C - Cas particulier : l'usine de Saillat	77
1 - Présentation de l'usine	77
1.1 - Localisation de l'installation	77
1.2 - Nature des activités	77
1.3 - Procédés de fabrication	78
2 - Le procédé Kraft et les sources de pollution	78
2.1 - Le procédé Kraft	78
2.2 - Les émissions atmosphériques du procédé Kraft	81
II - Pollution atmosphérique acide	84
A - Présentation de la méthode utilisée	84
1 - Bases de notre méthodologie	84
1.1 - La méthode de HAWKSWORTH et ROSE	84
1.2 - La méthode de LEBLANC et DE SLOOVER	92
2 - Principe de la méthode phytosociologique	92
2.1 - Le système phytosociologique	93
2.2 - Elaboration d'une nouvelle échelle	93
2.3 - Comparaison avec les méthodes anciennes	95

	Pages
3 - Protocole opératoire	97
3.1 - Cartographie en réseau	97
3.2 - Choix des stations et des phorophytes	99
3.3 - Modalités des relevés	99
3.4 - Elaboration de l'échelle qualitative	102
3.5 - Etablissement de la carte initiale	102
B - Application de cette méthode à notre région d'étude	104
1 - Localisation des relevés	104
2 - Elaboration des tableaux des groupements lichénosociologiques	106
2.1 - Nomenclature utilisée	106
2.2 - Présentation des tableaux	107
3 - Interprétation des données - Cartographie de la pollution atmosphérique	114
3.1 - Cartes établies d'après les groupements phytosociologiques	114
3.2 - Cartes établies d'après les indices de poléotolérance	121
3.3 - Comparaison des deux cartographies	127
3.4 - Carte de synthèse	130
III - Pollution par les métaux lourds - Dosage du plomb	133
A - Méthode utilisée	133
1 - Récolte des échantillons	133
2 - Minéralisation	134
3 - Dosage	135
B - Résultats	135
Conclusion	137
Bibliographie	139
Table des matières	144

TABLE DES TABLEAUX

Numéros		Pages
1	Précipitations	56
2	Nombre de jours de Brouillard	59
3	Températures moyennes	61
4	Températures maximales et minimales	62
5	Nombre de jours de gelées	63
6	Données statistiques concernant la population	73
7	Bilan des émissions atmosphériques de l'usine actuelle et du projet .	83
8	Echelle qualitative utilisant les lichens épiphytes des arbres à écorce non eutrophisée	86
9	Echelle qualitative utilisant les lichens épiphytes des arbres à écorce eutrophisée	87
10	Intensité de la pollution rapportée à l'échelle de Hawksworth et Rose	94
11	Echelle d'estimation de la qualité des milieux	96
12	Fiche de relevés	101
13	Tableau initial brut	108
14	Tableau de croissance provisoire	110
15	Tableau élaboré définitif	112

TABLE DES CARTES

Numéros		Pages
1	Localisation des principaux sites d'étude lichens-pollution en Europe occidentale	35
2	Présentation de la région	53
3	Trafic routier en 1990	75
4	Répartition de <i>Lobaria scrobiculata</i> , <i>Ramalina fraxinea</i> et <i>Usnea</i> sp.	88
5	Répartition de <i>Lecanora conizaeoides</i> et des relevés où il y a moins de 3 espèces	89
6	Répartition de <i>Parmelia perlata</i>	91
7	Cartographie en réseau	98
8	Localisation des relevés	105
9	Répartition de <i>Lobaria scrobiculata</i> et des thalles d' <i>Usnée</i>	116
10	Répartition des espèces nitrophiles	117
11	Carte C	119
12	Carte D	120
13	Zone bleue avec $X \geq 600$	122
14	Zone verte avec $600 > X \geq 500$	124
15	Zone jaune avec $500 \geq X \geq 400$	125
16	Zone rose avec $400 \geq X \geq 300$	126
17	Zone orange avec $300 \geq X > 150$	128
18	Zone noire avec $X \leq 150$	129
19	Carte de synthèse	131

TABLE DES SCHEMAS

Numéros		Pages
1	Principaux types morphologiques	18
2	Structure homéomère	20
3	Structure hétéromère stratifiée	22
4	Structure hétéromère radiée	23
5	Cycle simplifié du soufre	45
6	Rose des vents de Limoges Bellegarde	65
7	Diagrammes ombrothermiques	66
8	Procédé de fabrication de la pâte Kraft blanchie	79
9	Sources de pollution d'une usine de pâte Kraft moderne	82
10	Traitement des relevés en vue de l'élaboration de l'échelle qualitative	103
11	Schématisation du tableau élaboré définitif	113
12	Dosage du plomb	135

LAURENT (Marianne). — Intérêt de l'étude des lichens comme bioindicateurs (pollution atmosphérique acide - métaux lourds). Application à la région de Saillat et Saint-Junien (Haute-Vienne et Charente). — 152 f. ; ill. ; tabl. ; 30 cm (Thèse : Pharm ; Limoges ; 1991).

RESUME

Ce travail consiste à montrer, à travers l'étude de la région de Saillat et Saint-Junien, en Haute-Vienne, l'intérêt des lichens comme bioindicateurs des pollutions atmosphériques.

Dans un premier temps, après quelques généralités sur les lichens et sur la pollution atmosphérique en particulier acide, les divers aspects de la région étudiée sont exposés : cadre naturel, activités humaines, usine de Saillat.

Dans un deuxième temps, la méthode utilisée est décrite puis appliquée à la région d'étude grâce à l'analyse de la flore lichénique locale réalisée avec la méthode de cartographie en réseau, permettant ainsi une estimation de la pollution atmosphérique acide de cette région.

En dernier lieu, une petite étude de la pollution par les métaux lourds est effectuée sur deux routes de cette même région.

MOTS CLES :

- Lichens
 - Bioindicateurs.
 - Pollution atmosphérique acide.
 - Limousin : Saillat, Saint-Junien.
-

JURY : Président	: M. A. GHESTEM, Professeur titulaire de botanique
Juges	: M. M. BOTINEAU, Maître de conférences de botanique
	M. A. VILKS, Maître de conférences de biologie végétale
	M. J. SUBRA, Adjoint au délégué régional à l'Archi- tecture et à L'Environnement (Limousin)
	M. G. LACHATRE, Maître de conférences de toxicologie
