

L'ORGANISATION DES FORÊTS ALLUVIALES DANS L'AXE RHODANIEN ENTRE GENÈVE ET LYON; COMPARAISON AVEC D'AUTRES SYSTÈMES FLUVIAUX

par Guy PAUTOU (1)

Introduction	44
I.- Particularités écologiques des axes fluviaux	45
II.- La végétation du lit d'inondation, un ensemble composite	46
III.- Les différents types de forêts rhodaniennes; leur position dans l'espace alluvial	52
IV.- Comparaison avec d'autres systèmes fluviaux du domaine médio-européen	57
V.- L'exemple d'un système du domaine atlantico-européen: le modèle garonnais	60
Conclusion	62
Bibliographie sommaire	63

RESUME.- Les forêts alluviales sont des écosystèmes ayant un grand intérêt biologique, mais malheureusement en voie de disparition. La présence d'une nappe phréatique et l'entrée de nutriments pendant les crues expliquent leur forte productivité primaire. Ces forêts assurent un continuum entre biocénoses aquatiques et biocénoses terrestres, qui est le garant d'une productivité secondaire élevée.

Une douzaine de types forestiers sont présents dans la vallée du Rhône entre Genève et Lyon. L'auteur analyse les différents facteurs qui régissent leur distribution et propose un modèle d'organisation de l'espace alluvial, reposant sur la prise en compte de 3 descripteurs. Il teste ensuite la validité du modèle dans plusieurs systèmes fluviaux de la région holarctique.

Mots clés : forêt alluviale, hétérogénéité, nappe phréatique, endiguements, saussaies, aunaies, forêts de bois durs.

SUMMARY.- ALLUVIAL FOREST ORGANIZATION IN THE UPPER RHONE VALLEY; COMPARISON WITH OTHER FLUVIALS SYSTEMS.

Fifteen years of observations and collections of data in the alluvial forest of Upper Rhone Valley are used to show the factors which influence riparian vegetation. The structure of the forestal communities depends on topographical, hydrological and soil factors which are closely imbricated in a highly heterogeneous environment. Plant successions of different origins as well as the processes involved in community destabilization, are described. A few of the consequences of earthworks on the flood plain's vegetation are predictable.

(1) Voir adresse en fin d'article.

INTRODUCTION

On entend par "forêts alluviales" des écosystèmes forestiers liés à la présence d'une nappe aquifère, inondés de façon régulière ou exceptionnelle. Leur spécificité résulte de relations privilégiées entre les espèces constitutives et l'eau. Ce sont les mouvements de l'eau qui règlent les cycles biogéochimiques (dynamique de l'azote par exemple) et les modalités d'élaboration de la biomasse (vitesse de croissance, productivité primaire, etc...) en relation avec les rythmes d'assèchement et de mise en eau.

Les forêts alluviales sont soumises à de multiples agressions qui entraînent leur réduction, leur fractionnement et leur remplacement par des communautés anthropozoogènes. La valeur agricole des sols alluviaux en rapport avec une nappe phréatique sont propices à une culture intensive. Le potentiel énergétique des cours d'eau provoque inévitablement une implantation industrielle. Aussi, la pression humaine est-elle responsable de modifications profondes des conditions écologiques: aménagement des voies navigables, construction de barrages, création d'axes routiers, endiguement des cours d'eau, opérations de drainage, délimitation d'aires industrielles, urbanisation, etc...

Quatre raisons principales ont motivé le développement des recherches sur les forêts alluviales :

1) Leur caractère relique : l'endiguement des cours d'eau en faisant obstacle à la redistribution de la matière empêche la genèse d'espaces aquatiques et semi-aquatiques, c'est-à-dire de nouveaux sites favorables à l'implantation de forêts après atterrissement.

2) Leur forte productivité : les forêts alluviales possèdent la productivité primaire la plus élevée des écosystèmes forestiers des régions tempérées. Dans les plaines rhénanes, la productivité primaire nette de la forêt de bois durs atteint 17 à 18 t MS/ha/an. Ces forêts possèdent, de plus, des essences ayant un grand intérêt au point de vue commercial (chêne pédonculé, érable sycomore, frêne commun, noyer, merisier).

3) Leur position de plaque tournante : de nombreuses chaînes alimentaires aquatiques (poissons), terrestres (mammifères), aériennes (oiseaux) partent des forêts alluviales et des communautés herbacées associées qui constituent, ainsi, un support privilégié pour une productivité secondaire très élevée.

4) Leur position à l'interface terre-eau : cette position leur confère un rôle de "pourvoyeur" de matière organique pour les milieux aquatiques (rivières, lacs, étangs), d'"épurateur" des eaux phréatiques chargées en nitrates et en phosphates et de "systèmes de rétention" des éléments minéraux.

Dans quelle mesure les vestiges plus ou moins étendus des forêts alluviales peuvent-ils jouer un rôle important tant au plan écologique qu'au plan économique ?

Les études pluridisciplinaires menées dans la vallée du Haut-Rhône français à l'occasion de programmes théoriques finalisés (programmes PIREN: recherches méthodologiques en vue d'une gestion écologique des ressources en eau; rôle des forêts alluviales dans le fonctionnement des hydrosystèmes) et de programmes d'écologie appliquée (aménagements hydroélectriques, démoustication, gestion des forêts alluviales, etc...) ont conduit à collecter une masse considérable de données. Leur traitement à l'aide de méthodes statistiques appropriées (analyses multidimensionnelles, analyse des séries chronologiques, information mutuelle, etc...) nous a conduit à individualiser un petit nombre de descripteurs, présentant des corrélations avec de nombreuses variables physico-chimiques. Leur diagnose a facilité l'établissement d'un modèle de distribution rendant compte de l'organisation spatiale des différents types de forêts et de leur évolution dans le temps. Dans un deuxième temps, nous avons été conduit à examiner si ce modèle s'appliquait à d'autres systèmes planitaires du domaine médio-européen. A cet égard, les analogies qui existent avec le système rhénan dans la plaine alsacienne et le système danubien dans la plaine hongroise nous encouragent à multiplier la confrontation. Il nous a paru intéressant de voir comment ce modèle se modifiait dans d'autres unités phytogéographiques de basse altitude (par exemple dans le domaine atlantico-européen, en prenant le cas de l'axe garonnais) et de moyenne altitude (cas des vallées alpines parcourues par les affluents du Rhône) appartenant à la région holarctique. Mieux connaître le déterminisme de la distribution des forêts alluviales dans les différents systèmes fluviaux devrait faciliter la mise au point de propositions dans le domaine de la conservation et de la gestion des forêts alluviales.

La conservation des dernières forêts alluviales a été soulevée au Colloque International de Phytosociologie qui s'est tenu à Strasbourg en 1980. La liste des

principaux sites de la communauté européenne devant bénéficier de mesures conservatoires a été publiée en 1984.

Des mesures conservatoires n'ont un sens que lorsqu'elles s'accompagnent de dispositions assurant le renouvellement des forêts et leur pérennité. Nous avons montré que les aunaies à Alnus glutinosa sont des communautés reliques dans la mesure où la genèse des sites nouveaux d'implantation est impossible; les travaux d'endiguement, d'enrochement empêchent la migration du chenal, la formation de méandres et l'isolement de bras morts dont l'atterrissement conduit à l'installation des aunaies. De la même façon, en faisant obstacle aux processus de redistribution des sédiments, on condamne la saussaie à Salix alba à disparaître.

Les recherches que nous menons actuellement sur le confluent de l'Ain avec le Rhône montrent que la délimitation de périmètres protégés perd sa signification lorsque l'hydrosystème connaît une évolution irréversible. L'enfoncement du Rhône et corrélativement de l'Ain par érosion régressive condamne les forêts alluviales en place et conduit à l'implantation de groupements xériques collinéens (PAUTOU et GIREL, 1983). Existe-t-il des solutions technologiques permettant de maintenir, voire d'amplifier, les mouvements qui assurent le renouvellement des communautés dans un ordre dynamique et d'empêcher les mouvements qui conduisent à un changement de nature de l'hydrosystème? Ce type de problème a été posé aux ingénieurs de la Compagnie Nationale du Rhône à l'occasion de la création d'un espace de nature dans la basse vallée de l'Ain.

Proposer des plans de gestion est souvent délicat dans la mesure où les conditions hydrologiques sont modifiées. C'est le cas pour les forêts qui se trouvent dans les tronçons court-circuités (débits plus faibles, raccourcissement de la période de submersion, abaissement du niveau de la nappe alluviale, diminution de l'activité érosive du chenal). Il est difficile de connaître la réponse de végétaux placés dans des situations inédites (capacités d'innovation, accommodation, etc...). De nouveaux types de communautés peuvent s'installer. Dans la plaine de l'Oisans, c'est le cas des hêtraies qui semblent se substituer à la forêt de bois durs à l'extérieur des digues, après plusieurs décennies.

Enfin se pose le problème de la valorisation des forêts alluviales. L'élimination des forêts spontanées au profit des peupleraies s'est généralisée dans la plupart des axes fluviaux. Un plan de gestion forestière assurant l'extension des essences nobles et la croissance harmonieuse des individus est à l'étude dans plusieurs îles du Rhône. Nous avons déjà mentionné l'intérêt de l'aune blanc au point de vue papetier. Les sites favorables à l'installation des aunaies à Alnus incana occupent plusieurs milliers d'hectares dans les Alpes françaises.

I - PARTICULARITÉS ÉCOLOGIQUES DES AXES FLUVIAUX

Les axes fluviaux peuvent être considérés comme des hydrosystèmes si on prend ce terme dans son acception la plus large (AMOROS et al., 1982). L'hydrosystème comprend l'ensemble des communautés aquatiques, des communautés semi-aquatiques inondées de façon régulière (en période de hautes eaux ou de fortes précipitations) et des communautés terrestres liées à la présence d'une nappe phréatique, inondées en période de crue.

L'action des eaux courantes et les multiples interventions humaines conduisent à une très grande hétérogénéité des conditions écologiques, résultat de combinaisons nombreuses entre caractères hypsométriques, géomorphologiques et pédologiques. La circulation complexe des eaux est en rapport avec une grande variabilité des apports dans l'espace (eaux du fleuve, des affluents, eaux de résurgence, de ruissellement, eaux d'origine météorologique, sous-écoulement) et dans le temps (variabilité interannuelle et intersaisonnière). Elle est responsable d'une grande diversité spatiale des communautés.

Les mouvements des eaux ont été classés en trois types, en fonction de leurs effets sur la dynamique de la végétation:

- des mouvements qui permettent le maintien des communautés en place dans une structure déterminée. Ils assurent la circulation de la matière (cycle biologique) au sein de chaque communauté: ainsi, les oscillations cycliques de la nappe phréatique. Ce sont les modalités les plus fréquentes qui garantissent la permanence spatiale de la communauté (PAUTOU et GENSAC, 1973). Ainsi, l'aunaie à Alnus glutinosa est liée à une nappe de surface à faible amplitude de variations. Elle est inondée pendant la saison froide (de novembre à la mi-avril);
- des mouvements responsables d'une redistribution de la matière au sein de l'axe fluvial (transport et sédimentation, érosion). Ils s'exercent sur une surface d'autant plus vaste que le fleuve peut se déplacer librement dans son lit d'inondation. La construction de digues submersibles ou insubmersibles a généralement pour effet d'augmenter le volume des sédiments véhiculés dans le lit ordinaire et de diminuer les flux de matière à l'extérieur des digues. Ces

mouvements assurent la stabilité du système tout en modifiant l'organisation spatiale. Les communautés photophiles ne peuvent se pérenniser que par une perpétuelle "errance" (saussaies à Salix triandra, à Salix alba par exemple).

- des mouvements lents et de faible intensité qui se déroulent sur de longues périodes: ainsi, l'enfoncement de la ligne d'eau et, corrélativement, l'abaissement du niveau de la nappe, qu'ils soient naturels (érosion régressive) ou provoquées par la construction d'ouvrages (digues de chenalisation). Ces mouvements sont occultés par les précédents, à l'échelle de temps des biologistes (10 ans). Cette modification des conditions hydrologiques est, généralement, irréversible mais elle est partielle et n'affecte qu'une partie de l'hydrosystème: plusieurs types de communautés disparaissent, de nouveaux apparaissent, mais un grand nombre d'entre eux persistent (PAUTOU et GIREL, 1983, PAUTOU, 1983). Ainsi, dans la basse plaine de l'Ain, il existe une bande de remaniement où l'évolution de la végétation est régie par les mouvements de type 2 (processus allogéniques prépondérants) à côté d'une bande figée du point de vue géomorphologique, les Brotteaux, qui n'est plus atteinte par les crues depuis 1960 et où l'enfoncement de la nappe est tel qu'il y a installation de communautés xérophiles.

Si on prend un intervalle de temps suffisamment long, de l'ordre du siècle par exemple, le phénomène d'approfondissement apparaît nettement.

L'hydrosystème, durant la courte période où on l'analyse, constitue une étape de transition plus ou moins durable entre un état passé qu'il est difficile de connaître et un état futur qu'il est difficile de prévoir. Le choix de deux repères chronologiques s'impose donc: la dernière phase de retrait des glaciers avec apparition de grands lacs postglaciaires et l'an 2000 où les conséquences des aménagements hydroélectriques commenceront à se manifester. Les 8000 ans, qui séparent la vision de l'hydrosystème par l'homme de bronze de celle qu'en aura l'homme du 21ème siècle, s'ils ne représentent qu'un intervalle de temps infime à l'échelle géologique ont vu se produire des événements considérables. Les interventions humaines, qu'elles soient involontaires ou délibérées, ont accéléré le passage d'un espace aquatique issu du travail des glaciers à un espace semi-aquatique composé de vastes marais et de terrains inondés de façon fréquente et le passage de ce dernier à un espace terrestre à l'abri des inondations de moyenne intensité. Ainsi ont dominé tour à tour les hydrophytes, les héliophytes et enfin les hémicryptophytes et les phanérophytes.

L'état actuel représente un ajustement du fleuve à plusieurs paramètres: débit, pente, largeur du lit d'inondation, nature des matériaux de fond et de la charge, compte tenu des ouvrages de génie civil. Dans un travail précédent (BRAVARD, AMOROS et PAUTOU, 1984) nous avons analysé les impacts des digues submersibles construites en 1880 dans la plaine de Brégnier-Cordon (à l'extrémité méridionale du Jura) sur le fonctionnement géomorphologique (passage d'un modèle tressé à un modèle à anastomoses) et sur la dynamique de la végétation (extension de communautés planitiaires et palustres aux dépens de communautés submontagnardes liées à des sols filtrants). L'instauration d'un statut forestier à partir de 1940 devait accentuer la phytostabilisation et le piégeage des limons et des argiles. L'établissement d'un modèle de distribution des forêts alluviales se heurte à l'existence de discontinuités et de décalages. Le fait que les phénomènes physiques et biologiques n'aient pas la même origine, que chacun décrive une trajectoire spécifique, à sa propre vitesse, limite l'intérêt de l'analyse synchronique. Ainsi, par exemple, des ouvrages de nature différente (digues de rivière, digues submersibles, digues insubmersibles, etc...) ont été construites à plusieurs périodes dans des sections limitées de la vallée (BRAVARD, 1981, 1983). Il y a rarement correspondance entre les surfaces occupées par un type de communauté et les surfaces susceptibles de l'accueillir. Les coupes de bois à courte révolution, l'utilisation des terrains limoneux les moins submersibles pour l'agriculture ont grandement pénalisé la forêt de bois durs. Les relevés effectués depuis 1964 montrent que la chênaie-frênaie rhodanienne progresse de façon régulière dans les îles du fleuve.

L'hydrosystème présente une grande unité:

- sur le plan structural, dans la mesure où l'ordination des différents sous-systèmes (les communautés) se fait par rapport à l'eau;
- sur le plan dynamique dans la mesure où le chenal est responsable de son évolution (changement de nature par enfoncement de la ligne d'eau);
- sur le plan fonctionnel par suite des interrelations entre les différents sous-systèmes. Les différents circuits assurent des liaisons rapides dans un système interconnecté. Aussi, des phénomènes de rétroaction peuvent se manifester entre des sous-systèmes éloignés.

II - LA VÉGÉTATION DU LIT D'INONDATION, UN ENSEMBLE COMPOSITE

Les différents types de forêts alluviales, bien qu'ayant un dénominateur commun, la présence d'une nappe aquifère, représentent des sous-systèmes écologiques

souvent très éloignés par leurs caractères structuraux (composition floristique, organisation spatiale des populations, degré de stabilité, etc...) ou fonctionnels (productivité primaire, circulation des nutriments). A une diminution de l'impact des eaux courantes et des conditions d'hydromorphie correspond une augmentation de l'hétérogénéité du milieu physique; à l'hétérogénéité transversale et longitudinale (profil topographique, nature des sédiments, hauteur d'eau au cours des périodes de submersion) se surajoute une hétérogénéité verticale (multiplication des sous-espaces par superposition d'horizons de composition granulométrique différente) qui induit une hétérogénéité biotique (cohabitation de populations ayant des exigences écologiques opposées par exemple). Nous présenterons quatre aspects de cette hétérogénéité.

A - HETEROGENEITE GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE DE L'AXE FLUVIAL
(fig.1 et 2, tabl.I)

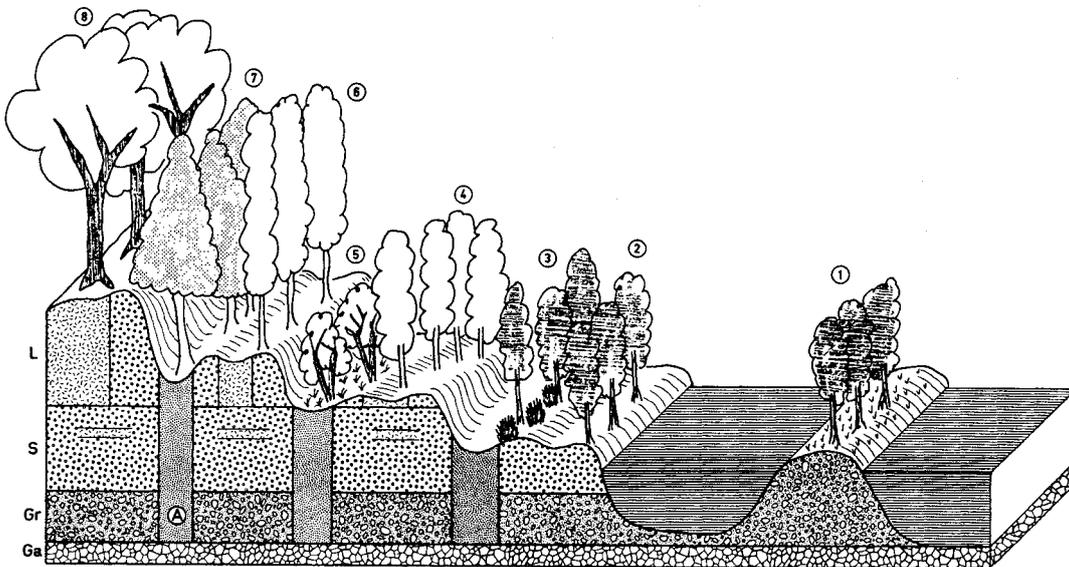


Fig.1.- Coupe transversale du lit ordinaire au niveau de Brégnier-Cordon
(extrémité méridionale du Jura)

1: lande à *Phalaris arundinacea* et *Salix* divers; 2 : fourré de *Salix*; 3 : saussaie à *Salix alba* et *Carex acutiformis*; 4 : saussaie à *Salix alba* et *Impatiens glandulifera*; 5 : saussaie à *Salix cinerea* et aunaie à *Alnus glutinosa*; 6 : aunaie à *Alnus incana* et *Equisetum hiemale*; 7 : ormaie à *Ulmus minor*; 8 : chênaie-frênaie à *Quercus robur*, *Populus alba* et *Arum maculatum*.

Ga: galets; Gr: graviers; S: sables; L: limons; A: argile et limon fin.

L'axe fluvial est un système écologique composite. De nombreuses communautés végétales organisées en une mosaïque complexe constituent un manteau forestier continu dans les îles du Rhône.

L'imbrication des différents types de forêts alluviales est le résultat de combinaisons nombreuses entre facteurs topographiques, géomorphologiques, pédologiques et hydrologiques (PAUTOU, 1979). Un profil en travers effectué dans le lit d'inondation présente un aspect tourmenté qui s'explique par une juxtaposition d'îles, de bras, d'anciens lits à des stades différents d'évolution. L'île, elle-même, est hétérogène au point de vue de l'hypsométrie. Elle se compose de bourrelets, de surfaces plates, de bancs d'alluvions récentes, de cuvettes, de dépressions (basses) étroitement mêlés et s'individualisant par des écarts altitudinaux plus ou moins marqués (de quelques centimètres à plusieurs mètres). En fait, elle constitue un réseau de caténas dont chaque maillon s'individualise par une composition floristique originale. Les interventions humaines conduisent, de plus, à multiplier les types physiologiques (taillis, perchis, futaies) sur chaque portion de territoire dont les caractères hypsométriques et pédologiques sont homogènes. Les figures 2 et 3 donnent un exemple d'un type d'organisation spatiale des forêts alluviales dans un modèle géomorphologique précis (modèle tressé à bras multiples et anastomoses, tel qu'il est défini par J.P. BRAVARD, 1981).

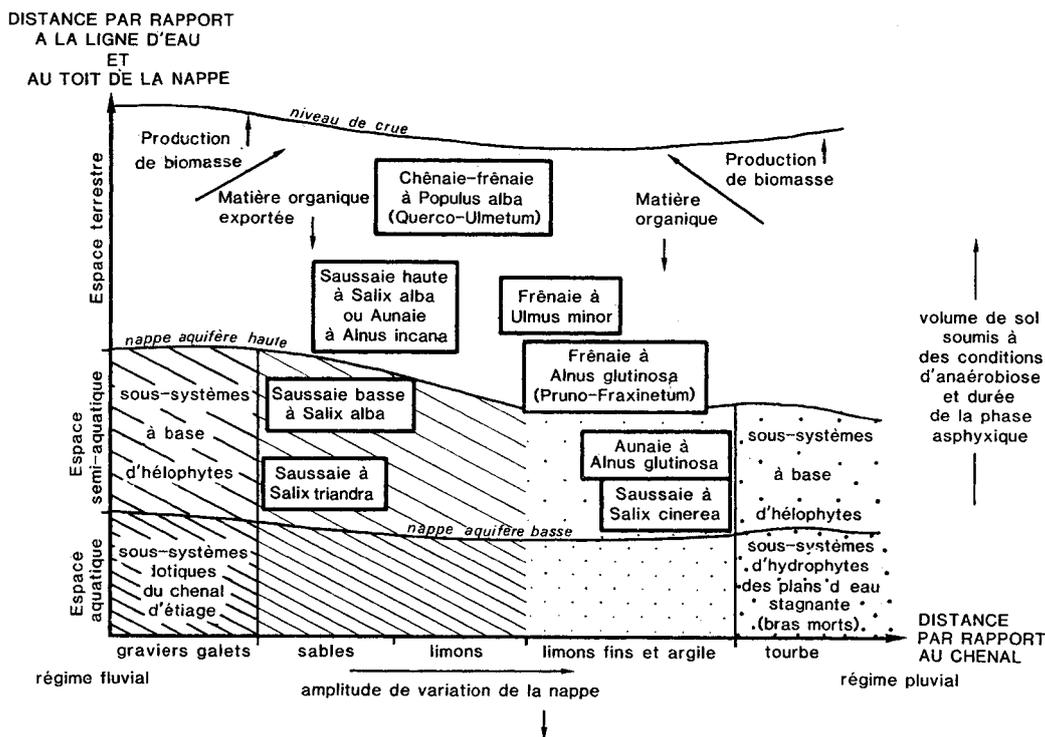


Fig.2.- Relations entre les principaux types de forêts alluviales dans la plaine du Rhône au niveau de l'extrémité méridionale du Jura; en abscisse: la composition granulométrique; en ordonnée: la profondeur de la nappe.

A cette organisation dans l'espace se surajoute une évolution dans le temps lorsqu'il y a exhaussement du niveau du sol par sédimentation ou enfoncement de la nappe alluviale, qu'il soit naturel (érosion régressive) ou d'origine anthropique (répercussions des travaux d'endiguement).

B - HETEROGENEITE DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES

Plusieurs réservoirs ou circuits interviennent dans l'alimentation en eau des populations qui composent les forêts alluviales:

- 1 - Les eaux de surface
(eaux provenant du chenal ou d'apports périphériques).

Ce circuit ne fonctionne que par intermittences. Généralement son rôle se restreint au fur et à mesure que l'on s'éloigne du chenal. Dans les parties les plus hautes de la plaine alluviale, des nappes d'eau temporaire apparaissent dans les communautés implantées sur des sols compacts (chênaie-charmaie sur sol brun à pseudogley). Elles disparaissent au printemps dès qu'il y a élévation de la température. Les végétaux hygrophiles et mésohygrophiles bénéficient de réserves d'eau élevées pendant la période vernale. Les eaux de débordement assurent les transferts de matière entre les différents sous-systèmes: entraînement de la matière organique provenant des forêts alluviales, dépôt des éléments minéraux en suspension dans l'eau pendant les crues (PAUTOU, 1975).

- 2 - La nappe phréatique

La profondeur moyenne de la nappe et l'amplitude de ses variations constituent des paramètres fondamentaux pour l'établissement d'une typologie (PAUTOU, 1979). C'est une voie privilégiée d'échanges entre les différentes communautés.

TABLEAU I

DEBITS CLASSES		VEGETATION NATURELLE		Profondeur moyenne de la nappe	Débit provoquant l'inondation
débits m ³ /s	Nombre de jours	Basses	Iles		
< 200	23	Groupement à <u>Typha latifolia</u>		eau en surface	350 m ³ /s
200 à 300	43	Groupement à <u>Phalaris</u> et <u>Phragmites</u>		0 à 0,30 m	400 m ³ /s
300 à 400	114	Sausaie à <u>Salix alba</u> et <u>Carex</u>		0,20 à 0,50 m	450 m ³ /s
400 à 500	53	Sausaie à <u>Salix cinerea</u> et <u>Aunaie</u> à <u>Alnus glutinosa</u>	Groupement pionnier à <u>Melilotus alba</u>	0,30 à 0,60 m	500 m ³ /s
500 à 600	50	Ormaie à <u>Ulmus minor</u>	Lande à <u>Salix</u> et <u>Phalaris arundinacea</u>	0,50 à 0,80 m	600 m ³ /s
600 à 700	36	Taillis de <u>Crataegus monogyna</u>	Fourré de <u>Salix</u> divers	0,60 à 1,20 m	800 m ³ /s
700 à 800	22	Chênaie-frênaie à <u>Quercus robur</u> , <u>Populus alba</u> et <u>Carex pendula</u>	Sausaie à <u>Salix alba</u> et <u>Impatiens glandulifera</u>	0,80 à 2 m	900 m ³ /s
800 à 900	8		Aunaie à <u>Alnus incana</u> et <u>Equisetum hiemale</u>	1 à 2 m	1100 m ³ /s
> 900	16		Chênaie-frênaie à <u>Quercus robur</u> , <u>Populus alba</u> et <u>Arum maculatum</u>	1,50 à 3 m	1300 m ³ /s

CARACTERES DONT LES VALEURS DIMINUENT DE HAUT EN BAS :

1 - La hauteur d'eau au-dessus du sol (une augmentation du débit de 100 m³/s provoque l'élévation de la ligne d'eau de 20 cm) ; 2 - La fréquence des mises en eau ; 3 - Le pourcentage des galets par rapport aux autres classes granulométriques dans l'ensemble du profil ; 4 - Le nombre d'espèces hygrophiles ; 5 - Le rapport : surfaces forestières/surfaces cultivées.

CARACTERES DONT LES VALEURS SONT MAXIMALES DANS LES NIVEAUX MOYENS :

1 - Le pourcentage de sables par rapport aux autres classes granulométriques dans l'ensemble du profil ; 2 - Le nombre d'espèces mésohygrophiles.

CARACTERES DONT LES VALEURS AUGMENTENT DE HAUT EN BAS :

1 - La profondeur de la nappe phréatique ; 2 - L'épaisseur de la couche soumise aux processus d'aérobiose ; 3 - Le pourcentage de limon et d'argile par rapport aux autres classes granulométriques dans l'ensemble du profil ; 4 - La capacité totale d'échange ; 5 - Le calcium échangeable (93 % à 98 % de S) ; 6 - Le nombre de phanérophytes ; 7 - Le nombre d'espèces mésophiles ; 8 - La hauteur des communautés végétales.

CARACTERES VARIANT FAIBLEMENT :

1 - Le pH ; 2 - Le taux de calcaire actif ; 3 - Le taux de carbonates.

3 - La solution nutritive du sol

Elle représente une plaque tournante sur laquelle viennent se brancher les autres circuits. Les interactions entre les éléments de ce système interconnecté sont encore mal connues. Suivant la localisation de la forêt dans l'axe fluvial (proximité ou non du chenal) et sa position altitudinale (par rapport au toit de la nappe en période d'activité biologique ou en période hivernale), chacun des circuits va jouer un rôle prépondérant. Ainsi, lorsque la communauté est liée à une nappe de surface à faible amplitude de variations (aunaies à Alnus glutinosa par exemple), le circuit "solution du sol" n'intervient pas. En revanche, lorsque la communauté est liée à une nappe profonde, il joue un rôle fondamental pour l'alimentation en eau et en sels minéraux des végétaux à appareil racinaire superficiel (chênaie-frênaie à Quercus robur et Populus alba par exemple).

Pour un type déterminé de forêt alluviale, des différences concernant le régime, l'amplitude des variations de la nappe, la durée de submersion, s'observent lorsqu'on compare plusieurs stations réparties dans l'axe fluvial. Nous prendrons l'exemple de cinq stations occupées par l'aunaie à Alnus glutinosa et Carex. La profondeur moyenne de la nappe est toujours comprise entre 0 et -0,50 m. Suivant la station, la durée de submersion est comprise entre 12 et 79 % du temps (tabl. II).

TABLEAU II

Conditions hydriques observées dans six stations occupées par une aunaie à *Alnus glutinosa* type au cours d'une période de 2 500 jours (soit près de sept années).

Stations	1	2	3	4	5	6
nombre de mises en eau.	35	13	30	11	24	35
durée de la plus longue mise en eau (en jours).	217	126	105	161	90	35
pourcentage de durée des phases de :						
- submersion	79	40	26	31	12	26
- nappe entre 0 et -0,5 m	17	55	63	64	45	64
- nappe entre -0,5 et -1 m	4	5	11	5	43	10

Aussi, nous avons été conduits à délimiter des zones ayant chacune un régime propre; nous parlons d'ensembles fonctionnels.

Dans la vallée du Haut-Rhône français, nous distinguons trois types principaux (fig.3):

- ensembles à régime fluvial avec hautes eaux pendant la saison chaude
- ensembles à régime pluvial avec hautes eaux pendant la saison froide
- ensembles à régime pluvio-nival avec hautes eaux à la fin du printemps et au début de l'automne.

A l'intérieur d'un ensemble, pour un type de forêt alluviale déterminé, les variations de la nappe se font de façon synchrone dans toutes les stations.

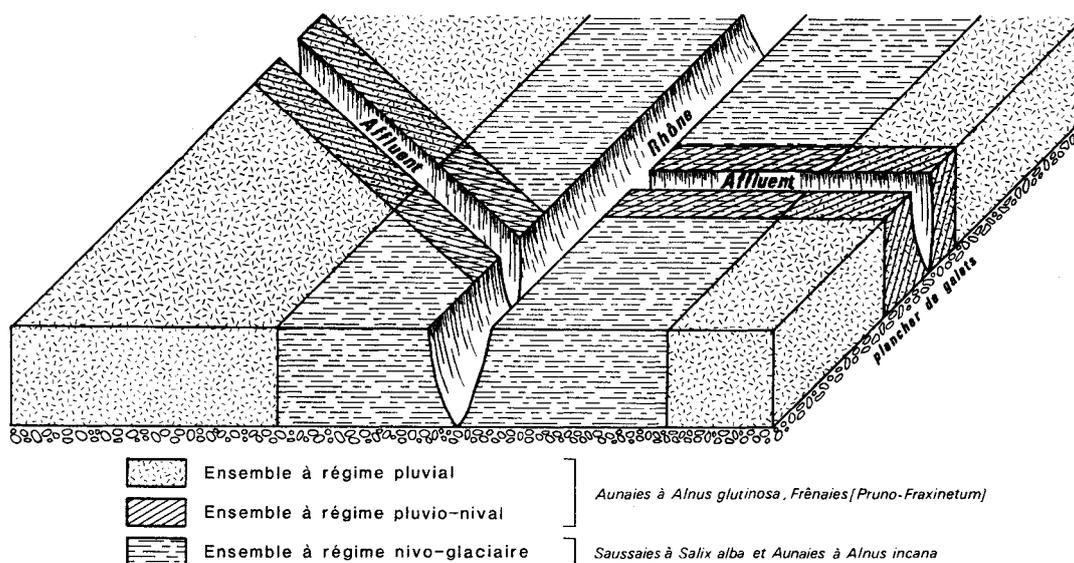


Fig.3.- Principaux ensembles fonctionnels de l'axe fluvial.

C - HETEROGENEITE DE LA COMPOSITION FLORISTIQUE

Les essences forestières s'ordonnent en fonction d'un gradient d'humidité (PAUTOU, 1979). A une diminution de l'impact de l'eau (fréquence et durée des phases de submersion) correspond une augmentation du nombre de phanérophytes. Les saussaies à *Salix alba* et *Carex* ainsi que les aunaies à *Alnus glutinosa* ne comptent que quatre phanérophytes; en revanche, plus de 50 espèces ligneuses coexistent dans la forêt de bois dur (*Quercus-Ulmetum*). Corrélativement, la biomasse ligneuse augmente; il y a installation d'essences susceptibles d'atteindre 40 mètres de hauteur et 1 mètre de diamètre. L'architecture végétale se complexifie et la composition floristique devient composite.

Le profil pédologique juxtapose des conditions hydrologiques différentes dans la mesure où chaque type de population explore un volume de sol plus ou moins grand et a la possibilité ou non d'accéder à la nappe phréatique. Les couches superficielles ne bénéficient pas toujours de remontées capillaires. Des discontinuités (horizons sableux) peuvent interrompre les remontées d'eau ascendantes (CHEVRIER, 1981). Ainsi s'explique la présence d'espèces qui trouvent leur optimum dans les communautés xérophiles de l'étage collinéen. Les essences arborescentes qui composent la forêt de bois durs possèdent, pour la plupart, un enracinement puissant qui leur permet d'accéder aux couches du sol influencées par la nappe phréatique. Les racines de Populus alba, Fraxinus excelsior, Fraxinus sp., Quercus robur, Populus nigra, Salix alba, descendent jusqu'à 4 mètres de profondeur. Les arbustes et les herbacées recherchent les couches soumises à des conditions d'aérobiose de façon durable: Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Viburnum lantana, Cornus sanguinea; elles tolèrent plus ou moins bien une phase d'anaérobiose (PAUTOU, 1979).

Les interventions humaines qui sont à l'origine de terrains dénudés (digues, plateformes élargies, zones de dépôt, gravières) favorisent la propagation des espèces de lumière à large amplitude écologique, telles que Populus nigra, Populus alba, Salix alba, Phalaris arundinacea, Solidago gigantea, Eupatorium cannabinum; leur fort recouvrement est un facteur d'homogénéisation. Les espèces introduites par l'homme développent des populations monopolistes dont l'extension rapide accentue la banalisation: nous citerons: Robinia pseudacacia, Acer negundo, Polygonum saccharinense, Ailanthus glandulosa, Amorpha fruticosa, Sambucus ebulus, Buddleia variabilis, Impatiens glandulifera, Asclepias cornuti. Amorpha fruticosa, qui est originaire des Etats-Unis, constitue de vastes peuplements dans le delta du Rhône; l'espèce remonte la vallée jusqu'au niveau de Bollène. Amorpha fruticosa s'est également naturalisé dans la plaine hongroise. Ailanthus glandulosa est en pleine extension dans la basse plaine de l'Ain; l'espèce est également très abondante sur les bords du Danube.

D - UN LARGE EVENTAIL DE BIOMASSE

Les facteurs principaux qui régissent la distribution des populations végétales et la structure des communautés interviennent également sur la production de biomasse (PAUTOU et DECAMPS, 1984). Les transects effectués dans la plaine alluviale du Rhône ont mis en évidence les relations entre biomasse et conditions hydrologiques. La production de biomasse croît avec la diminution de l'impact des eaux courantes et l'augmentation du volume de sol soumis à des conditions d'aérobiose. La composition granulométrique (horizon à forte compacité, pourcentage d'éléments grossiers élevé) peut infléchir grandement les modalités de production en exagérant l'effet des conditions asphyxiques ou la xéricité du milieu édaphique. De plus, l'aptitude de chaque type de population à transformer l'énergie solaire en énergie chimique doit être prise en compte.

Des données chiffrées figurent dans les articles de YOUNG (1971), de PARDE (1977), de DUVIGNEAUD (1980). Des études ont été menées par LOUIS (1976) dans la vallée du Rhône, par CHENEVIER (1982) dans la vallée du Saint-Laurent et par VERNET (1983) dans la vallée de la Garonne. Des études plus approfondies sont en cours dans l'axe rhodanien (PAUTOU et GIREL). Nous donnerons quelques exemples qui illustrent la variabilité des biomasses.

La saussaie à Salix divers qui constitue un fourré très dense sur les bancs d'alluvions sableuses n'a pas fait l'objet d'évaluations. YOUNG (1978) évalue à 65 t.M.S./ha la biomasse totale (dont 53 t de biomasse aérienne) d'une saussaie de 11 ans atteignant 5 mètres de hauteur. La saussaie à Salix alba et Impatiens glandulifera constitue la communauté forestière qui lui fait suite sur un profil transversal. La biomasse aérienne d'une saussaie de 14 à 15 ans composé d'individus ayant un diamètre de 20 à 25 centimètres est de 130 à 150 t.M.S./ha. Ces chiffres sont en accord avec ceux de DUVIGNEAUD (1970) qui situe la biomasse aérienne d'une saussaie à Salix alba de 30 à 40 ans entre 180 et 225 t/ha. L'aunaie à Alnus incana et Equisetum hiemale qui occupe le palier altitudinal supérieur a ces performances voisines: 200 à 225 t.M.S./ha de biomasse aérienne pour une communauté âgée de 25 ans.

Le passage à la forêt de bois durs représente un saut dans la production de biomasse. PARDE (1977) évalue à 350 t.M.S./ha la biomasse d'une chênaie-frênaie à tilleul âgée de 100 ans dans une vallée inondable de Tchécoslovaquie. Elle peut atteindre 400 à 500 t; la productivité primaire nette est également très élevée (de 16 à 17 t.M.S./ha/an).

La biomasse des herbacées est maximale dans les forêts de bois tendres qui sont soumises à une courte période de submersion (saussaie à Salix alba et Impatiens glandulifera, aunaie à Alnus incana et Equisetum hiemale. Le bon résultat s'explique par des conditions d'éclairement satisfaisantes (essences à feuillage léger) et par la présence de populations monopolistes qui sont des transformateurs efficaces de l'énergie solaire en énergie chimique. La biomasse aérienne d'une

population d'Impatiens glandulifera atteint 15 à 18 t.M.S./ha.

La biomasse des communautés forestières installées sur les sols à gley est étroitement dépendante du volume de sol soumis aux conditions d'anérobiose durant la période d'activité biologique. Des évaluations sont en cours dans la saussaie à Salix cinerea, l'aunaie à Alnus glutinosa, la frênaie à Quercus robur (Pruno-Fraxinetum). Dans le bassin garonnais, VERNET (1983) évalue la biomasse d'une aunaie de 17 à 20 mètres à 270 t.M.S./ha et la productivité primaire nette à 9 t. M.S./ha/an. Ces chiffres semblent élevés quand on les compare aux données de la littérature.

Sur les épaisses nappes de sables et de graviers (bords de l'Ain), la production de biomasse augmente dès qu'il y a aération durable des couches superficielles. Elle passe par un maximum dans la frênaie à Populus nigra, groupement vicariant du Querco-Ulmetum sur sols filtrants. La biomasse diminue lorsque la nappe phréatique dépasse 1,50 à 2 mètres de profondeur. Les bois durs (Ulmus, Fraxinus, Quercus, Juglans, Tilia) disparaissent; seul Populus nigra est capable de développer des individus de fort diamètre (0,80 à 1 mètre). Dans les stations où la nappe est plus profonde, la forêt cède la place à une communauté arborescente ouverte avec fourré d'épineux.

III - LES DIFFÉRENTS TYPES DE FORÊTS RHODANIENNES; LEUR POSITION DANS L'ESPACE ALLUVIAL

A - LA RECHERCHE DE DESCRIPTEURS

Limiter le nombre de paramètres physico-chimiques et biotiques est un impératif si on souhaite établir une typologie sans être obligé de recueillir un nombre de données pléthoriques et comparer les différents systèmes fluviaux. La recherche de descripteurs corrélés avec un grand nombre de variables et à haut pouvoir discriminant s'est imposé à nous. Les méthodes utilisées pour les individualiser seront présentées dans un article qui est en cours de rédaction (PAUTOU et LACHET). Nous nous limiterons à l'exposé de quelques résultats.

Les corrélations entre types d'humus et conditions hydrologiques n'existent que lorsque le sol est soumis à des conditions asphyxiques pendant de longues périodes (de plusieurs mois à une saturation quasi-permanente). Dès que l'aération des horizons de surface est durable, un mull calcique se constitue; d'autres caractères sont alors à considérer: profondeur des horizons Go, Gr, Bg, état du fer, etc...

Le taux de matière organique est un excellent descripteur des conditions hydrologiques: très faible sur les sols alluviaux balayés par les crues (saussaies à Salix alba, faible (en dessous de 5 %) dans les sols correspondant aux communautés qui s'implantent sur les parties les plus hautes de la plaine alluviale (chênaie-frênaie à Quercus robur et Populus alba), il dépasse 80 % dans les tourbes eutrophes des marais périphériques (aunaies à Alnus glutinosa, fourré à Frangula alnus). C'est un excellent descripteur des variables qui sont dépendantes de façon directe ou indirecte des conditions hydrologiques, telles que le taux de carbone total, le taux d'azote total, le total des bases échangeables, le pH, le C/N (BUDILLON, 1981).

Les corrélations entre variables pédologiques et variables floristiques ont été analysées par la méthode de l'information mutuelle) (DAGET et al., 1972; GAUTIER et al., 1977; COLLI, 1980). L'analyse comparative des profils indicés montre que les teneurs en matière organique, limons, argile et sables sont des variables très discriminantes).

Nous avons soumis 520 relevés de végétation à une analyse factorielle des correspondances. Son objectif est de déterminer le poids des variables hydrologiques et pédologiques sur la distribution des espèces et des communautés par rapport à l'ensemble des facteurs (facteurs biotiques en particulier) qui sont appréhendés de façon globale, en l'absence d'une prise en compte des données écologiques (BUDILLON, 1981). La carte des espèces montre qu'elles s'ordonnent selon des directions privilégiées qui correspondent à des gradients d'humidité et à des gradients correspondant à une modification des descripteurs mis en évidence par les analyses précédentes: teneur en matière organique, composition granulométrique. La carte des relevés corrobore ces assertions. La classification ascendante hiérarchique confirme que les rapports de proximité entre espèces et entre communautés sont régis par les mêmes variables (PAUTOU et LACHET, à paraître).

L'étude des variations de la nappe phréatique menée depuis 1974 dans des stations expérimentales montre, de plus, l'existence de relations étroites entre les différents types de forêts alluviales et certaines particularités du régime: étude de séries chronologiques par la méthode de Box et Jenkins (KOSMELJ, 1982),

essais de modélisation (LAPORTE 1982, LACHET, KOSMELJ, LAPORTE et GENTIL, 1983);
filtration de la composante saisonnière (RENAULT et WILLEM, 1983).

B - PRESENTATION DE L'ORGANIGRAMME (fig.4).

L'exploitation statistique des données écologiques et biotiques nous a conduit à établir la typologie des forêts alluviales en se référant aux descripteurs individualisés. Un essai de représentation synthétique a été tenté, en positionnant les différents types de forêts rhodaniennes dans un espace à trois dimensions. Les axes correspondent aux trois principaux descripteurs, dont dépendent les caractères de structure et les modalités de fonctionnement:

- hauteur d'eau et profondeur de la nappe phréatique
- composition granulométrique et teneur en matière organique de l'horizon A1
- régime de la nappe phréatique.

La composition floristique et la production de biomasse sont les deux variables biotiques les mieux corrélées avec les descripteurs physico-chimiques. Une modification des rapports quantitatifs entre populations, la disparition d'espèces et l'introduction de nouvelles, une augmentation ou une diminution de la production de biomasse indiquent que l'un des trois descripteurs a adopté des modalités nouvelles. L'intérêt de cet organigramme est de rassembler toutes les situations écologiques qui existent dans l'axe fluvial ou sont susceptibles d'apparaître après la mise en service des usines hydroélectriques.

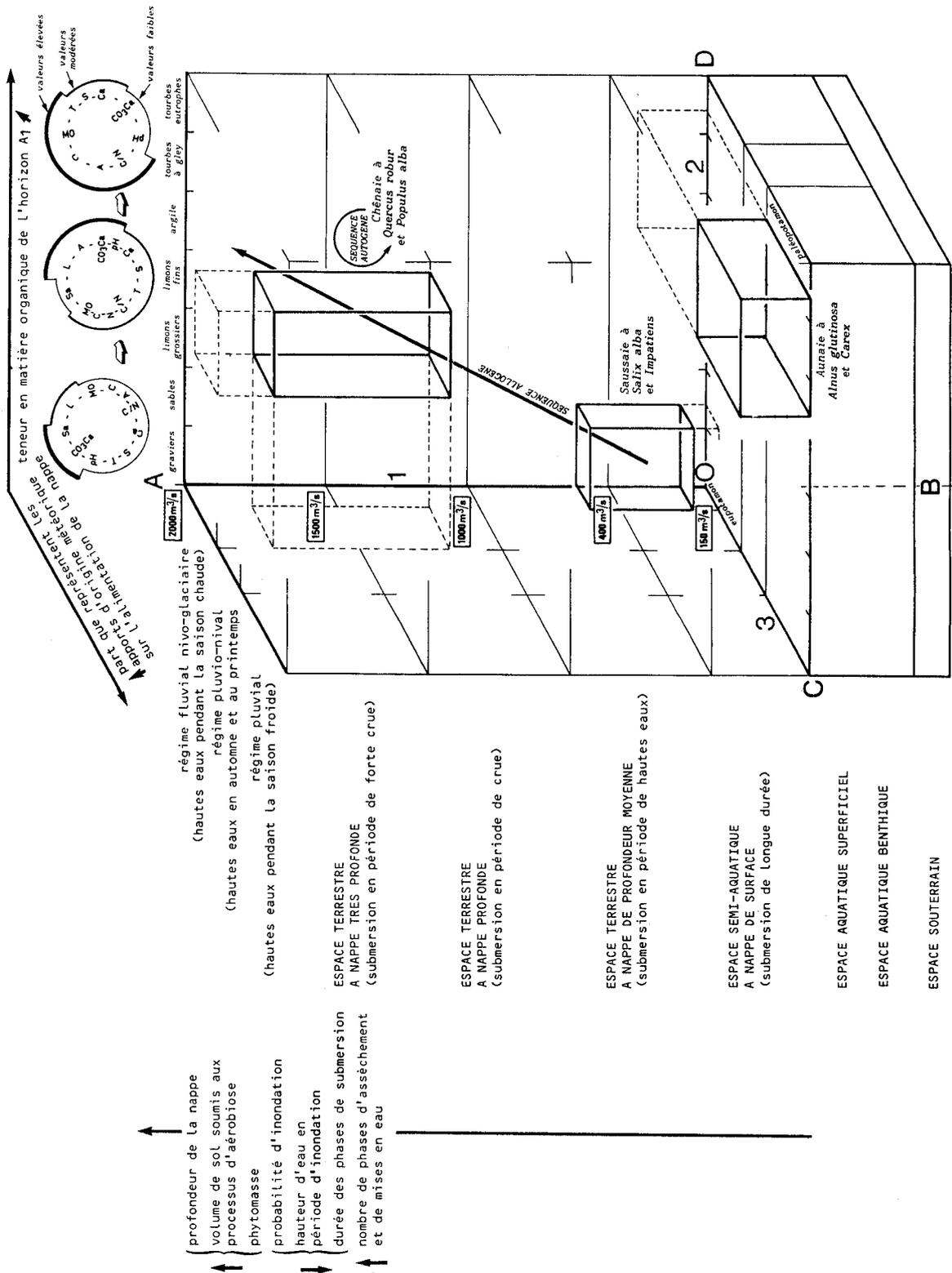
L'axe 1 (axe vertical) rend compte des modifications des conditions hydriques en fonction de l'hypsométrie (gradient vertical). Les êtres vivants se distribuent depuis la partie la plus profonde du chenal, soit 2 mètres en-dessous de la ligne d'étiage et le point le plus haut de la plaine alluviale qui se situe à 4 mètres environ au-dessus du toit de la nappe. Les modifications progressives des conditions hydrologiques (d'abord en milieu aquatique en rapport avec la diminution de la hauteur d'eau, ensuite en milieu semi-aquatique en rapport avec un raccourcissement de la période de submersion, enfin en milieu terrestre avec approfondissement de la nappe phréatique et corrélativement augmentation du volume de sol soumis aux processus d'aérobiose) provoquent un étagement des communautés végétales depuis l'axe des plus grandes vitesses où l'impact de l'eau est le plus violent jusqu'aux stations qui ne sont inondées qu'à l'occasion de crues centennales. Dans le palier altitudinal supérieur, les processus suivants peuvent intervenir: brunification avec décalcarisation des horizons de surface, tendance à l'argilification des matériaux avec formation d'un horizon B d'altération; sur les basses et moyennes terrasses de l'Ain qui sont protégées des inondations, l'évolution s'accroît et on observe une tendance à la rubéfaction avec apparition de sols faiblement fersialliatiques (BORNAND et al., 1980, 1982, 1983).

L'axe 2 rend compte des modifications de la composition granulométrique. La ligne d'eau à l'étiage correspond à l'énergie maximale dans la partie la plus profonde du chenal. La vitesse diminue dans les bras qui sont en communication directe, tout en restant unidirectionnelle. Elle est faible dans les anciens lits qui sont alimentés par le fleuve; en période de hautes eaux, les courants s'inversent. A cette diminution de la vitesse correspond une diminution de la teneur en oxygène dissous; en revanche, le taux de matière organique s'accroît (AMOROS et al., 1982).

L'augmentation du flux organique s'observe également dans les sols depuis les îles basses du lit ordinaire jusqu'aux marais de bordure. Au Nord du lac du Bourget on observe la séquence suivante: sols alluviaux bruts --- sols alluviaux calcaires (de texture sableuse à limono-sableuse) --- sols alluviaux à gley de texture limoneuse à limono-argileuse --- tourbes eutrophes à fort pourcentage de matière organique. Le carbone total, l'azote total, le C/N, le total des bases échangeables augmentent de gauche à droite (si on prend en considération l'horizon de surface des milieux semi-aquatiques). Le pourcentage de sables et de graviers par rapport aux autres classes granulométriques diminue dans l'ensemble du profil. La force de rétention de l'eau par le sol augmente. L'amplitude de variation de la nappe diminue. Sur l'organigramme, nous avons pris comme référence l'horizon A1. Les taux d'argile, de limons fins, de limons grossiers, de sables fins, de carbonates et le pH de cet horizon présentent des corrélations significatives avec les valeurs correspondantes de ou des horizons sous-jacents (prélèvements à -0,30 et -0,60 mètres).

Cette organisation spatiale est modifiée par la présence d'affluents. De part et d'autre du cours d'eau se déposent des alluvions qui localement peuvent recouvrir la tourbe. Une séquence d'ampleur réduite vient se greffer sur la séquence principale.

Figure 4



↑
↑
↑
↑
↑
↑

profondeur de la nappe
volume de sol soumis aux processus d'aérobiose
phytomasse
probabilité d'inondation
hauteur d'eau en période d'inondation
durée des phases de submersion
nombre de phases d'assèchement et de mises en eau

régime fluviatil nivoglaciare (hautes eaux pendant la saison chaude)
régime pluvio-nival (hautes eaux en automne et au printemps)
régime pluvial (hautes eaux pendant la saison froide)

ESPACE TERRESTRE A NAPPE TRES PROFONDE (submersion en période de forte crue)

ESPACE TERRESTRE A NAPPE PROFONDE (submersion en période de crue)

ESPACE TERRESTRE A NAPPE DE PROFONDEUR MOYENNE (submersion en période de hautes eaux)

ESPACE SEMI-AQUATIQUE A NAPPE DE SURFACE (submersion de longue durée)

ESPACE AQUATIQUE SUPERFICIEL
ESPACE AQUATIQUE BENTHIQUE

ESPACE SOUTERRAIN

Des accumulations de sédiments ou de matière organique homogènes peuvent se constituer dans des situations géomorphologiques particulières:

- nappes de galets et de sables grossiers sur les bords de l'Ain;
- couches de limons atteignant 1,50 à 2 mètres dans les sections à faible pente, au niveau de l'extrémité méridionale du Jura;
- couches de limons fins et d'argile dans les cuvettes de sédimentation plus ou moins éloignées de l'axe fluvial. C'est le cas des forêts de Lavours et de Chautagne où l'épaisseur dépasse 2 mètres;
- dépôts de sables atteignant 3 à 3,50 mètres sur les bourrelets de berge;
- couches de tourbe atteignant 7 à 10 mètres d'épaisseur dans les marais situés au Nord du lac du Bourget.

L'axe 3 correspond à un gradient de "contamination" de la nappe phréatique par les eaux du fleuve. L'ensemble fonctionnel du Rhône se caractérise par des hautes eaux pendant la saison chaude et un étiage hivernal. Les ensembles fonctionnels sous la dépendance des affluents du Rhône sont nourris par les eaux provenant du bassin intermédiaire (Jura, Préalpes); la nappe a un régime pluvio-nival avec une hauteur maximale à la fin du printemps et au début de l'automne. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du chenal, la part des eaux d'origine météorique devient prépondérante; on observe un passage progressif à des nappes à régime pluvial dont le niveau le plus haut correspond à la saison froide. Dans les parties les plus élevées de la plaine alluviale, des nappes d'eau temporaires se constituent pendant l'hiver et le début du printemps à la faveur d'horizons de texture limono-argileuse. Les nappes s'épuisent rapidement dès qu'il y a démarrage de la végétation (à partir du 15 avril). La phase de submersion n'entrave pas les processus de minéralisation (PAUTOU et GENSAC, 1973). La production d'azote sous forme NO₃ et NH₃ est maximale durant le mois de mars dans la chênaie à Quercus robur et Carpinus betulus.

C - POSITION DES PRINCIPAUX TYPES DE FORETS ALLUVIALES SUR L'ORGANIGRAMME (fig.5)

Les forêts rhodaniennes se regroupent en cinq catégories principales. A l'intérieur de chaque catégorie, les différents types sont classés en fonction d'un gradient d'humidité décroissant. Au fur et à mesure que l'impact de l'eau diminue (raccourcissement des phases de submersion et augmentation du volume de sols soumis à des conditions d'aérobiose) le nombre des espèces ligneuses et la biomasse augmentent; seule la séquence 3 fait exception.

1 - Forêts liées à des sols alluviaux limoneux à limono-sableux sur bourrelets et replats des îles; régime de type fluvial; profondeur de la nappe phréatique: 0,50 à 3,50 mètres:

- saussaie à Salix divers (1)
- saussaie à Salix alba et Impatiens glandulifera (2)
- aunaie à Alnus incana et Equisetum hiemale (3)
- aunaie à Alnus incana, Fraxinus excelsior et Hedera helix (3)
- chênaie-frênaie à Populus alba, Arum maculatum (4)
- chênaie-frênaie à Populus alba et Aegopodium podagraria ou peupleraie à Populus alba et Populus nigra ou bois de Robinia pseudacacia (4)

2 - Forêts sur sols limoneux à limono-argileux dans les dépressions colmatées des îles; profondeur de la nappe: 0 à -2 mètres; régime de type fluvial mais rétention des apports d'origine météorique:

a) dépressions en communication avec le chenal:

- saussaie à Salix triandra (5)
- saussaie à Salix alba et Carex acutiformis (5)
- ormaie à Ulmus minor (6)
- chênaie-frênaie à Populus alba et Carex pendula (7)

Légende la figure 4 ci-contre.

Fig.4.- Essai de positionnement des différents types de forêts alluviales dans un espace à trois dimensions. La chênaie-frênaie à Populus alba (Quercus-Ulmetum), la saussaie à Salix alba et Impatiens (Salici-Populetum) et l'aunaie à Alnus glutinosa et Carex (Alnetum glutinosae) sont représentées sur le schéma, à titre d'exemple.

La flèche qui traverse le diagramme matérialise une succession allogène. Il y a passage d'une saussaie à Salix alba et Impatiens (en bas à gauche) à une chênaie à Quercus robur et Populus alba (en haut, au milieu) après plusieurs stades intermédiaires par exhaussement du niveau du sol (dépôt de sables et ensuite de limons). La chênaie peut être le stade ultime d'une succession autogène, lorsqu'il y a arrêt des pratiques culturales.

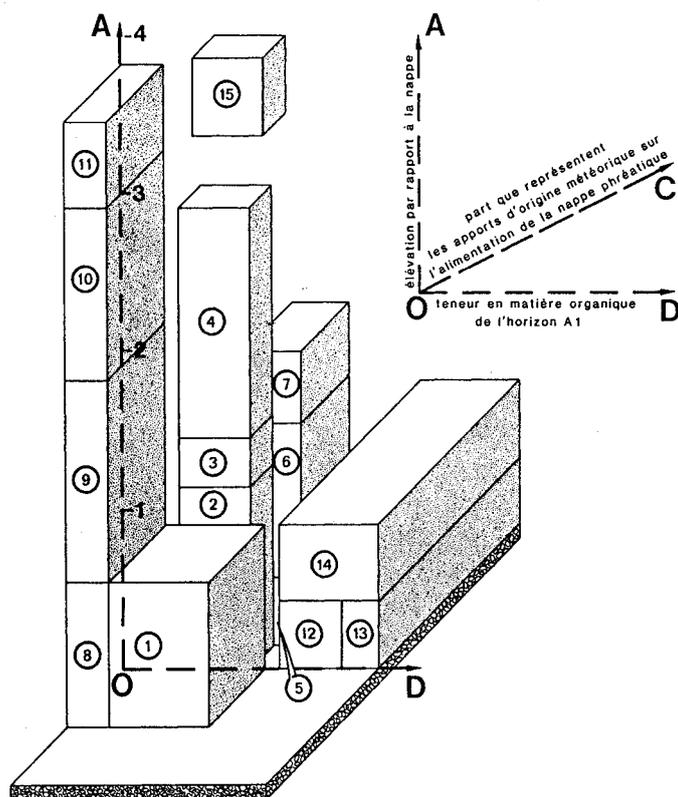


Fig.5.- Position des principaux types de forêts alluviales.

- 1 : Saussaie à Salix divers
- 2 : Saussaie à Salix alba et Impatiens glandulifera
- 3 : Aunaie à Alnus incana et Equisetum hiemale et aunaie à Alnus incana, Fraxinus excelsior et Hedera helix.
- 4 : Chênaie-frênaie à Populus alba et Arum maculatum et chênaie-frênaie à Populus alba et Aegopodium podagraria.
- 5 : Saussaie à Salix triandra, saussaie à Salix alba et Carex acutiformis, saussaie à Salix cinerea.
- 6 : Ormaie à Ulmus minor
- 7 : Chênaie-frênaie à Populus alba et Carex pendula.
- 8 : Saussaie à Salix eleagnos.
- 9 : Peupleraie clairière à Populus nigra et Fraxinus excelsior.
- 10 : Peupleraie clairière à Populus nigra et épineux.
- 11 : Lande à Robinia pseudacacia.
- 12 : Aunaie à Alnus glutinosa et Carex elata et aunaie à Alnus glutinosa et Fraxinus excelsior.
- 13 : Fourré à Frangula alnus.
- 14 : Frênaie à Alnus glutinosa et Carex remota et frênaie à Allium ursinum.
- 15 : Chênaie-charmaie à Carpinus betulus.

Les chiffres figurant à côté de l'axe OA indiquent la profondeur moyenne de la nappe en mètres. Le zéro indique que la nappe est en surface pendant une grande partie de l'année.

b) dépressions isolées du chenal :

- saussaie à Salix cinerea (3)
- aunaie à Alnus glutinosa et Carex elata (12)
- ormaie à Ulmus minor (6)
- chênaie-frênaie à Populus alba et Carex pendula (7)

3 - Forêts sur nappe de sables et de graviers; profondeur de la nappe: -0,50 à 4,50 m; régime de type pluvio-nival :

- saussaie à Salix eleagnos (8)
- peupleraie à Populus nigra et Fraxinus excelsior (9)

- peupleraie clairière à Populus nigra et épineux (10)
- lande à Robinia pseudacacia et Quercus pubescens

Sur les sols très filtrants, la forêt de bois durs, vicariante du Quercus-Ulmetum ne peut pas s'installer; elle est remplacée par un groupement plus pauvre où le frêne est encore bien représenté (PAUTOU et GIREL, 1983). L'approfondissement de la nappe s'accompagne d'une ouverture de la strate arborescente et d'une diminution de la biomasse.

4 - Forêts sur sol limono-argileux des marais (sol humique à gley superficiel et tourbes eutrophes; profondeur de la nappe: 0 à -1 m; régime de type pluvial avec phases de submersion pendant la saison froide :

- saussaie à Salix cinerea (sols à gley et tourbes avec entrecroisement d'un horizon Gr) ou fourré à Frangula alnus (tourbes à fort pourcentage de matière organique) (13)
- aunaie à Alnus glutinosa et Carex elata (12)
- aunaie à Alnus glutinosa et Fraxinus excelsior (12)
- frênaie à Alnus glutinosa et Carex remota (14)
- frênaie à Allium ursinum (14)

Les deux derniers types se rattachent à Pruno-Fraxinetum.

5 - Forêts sur sols limono-argileux avec présence d'un horizon Bg; nappe temporaire pendant la saison froide: chênaie-charmaie à Carpinus betulus (15).

Le schéma que nous venons de présenter rend compte de l'état de l'hydrosystème entre 1964 et 1984. En 20 ans, les rapports quantitatifs entre communautés se sont modifiés de façon sensible. Dans la section de l'axe fluvial qui s'inscrit dans le modèle géomorphologique à anastomoses (îles de Brégnier-Cordon), la formation d'épaisses couches de limons fins et de colloïdes argileux a favorisé l'extension des saussaies à Salix cinerea et des aunaies à Alnus glutinosa aux dépens des saussaies à Salix alba. La chênaie-frênaie à Quercus robur et Populus alba a progressé aux dépens de l'aunaie à Alnus incana et Equisetum hiemale.

D'autres états ont précédé l'état actuel et de nouveaux apparaîtront par la suite. Les travaux d'écologie rétrospective montrent qu'entre 1700 et 1900 les communautés forestières étaient presque totalement absentes. Après 1900, l'abandon des activités de fauche et de pâturage dans les marais et dans les îles, l'instauration d'un statut forestier ainsi que les effets des endiguements ont conduit à la formation d'un manteau forestier et à la diversification des communautés de ligneux.

L'aménagement hydroélectrique du Haut-Rhône, la création d'un réseau efficace de drainage devraient accélérer le passage à un nouvel état caractérisé par une augmentation considérable des sites potentiels de la chênaie-frênaie, mais pas nécessairement des sites qui seront réellement occupés par cette communauté. La genèse de terrains dénudés provoquera une progression rapide des peupleraies à Populus nigra et Populus alba, des bois de Robinia pseudacacia ou d'Ailanthus glandulosa. L'effet de masse est prédominant. Lorsque la forêt de bois durs est bien représentée sous sa forme type, les tendances à la dérive sont faibles. Lorsqu'elle n'occupe que des îlots minuscules, les essences opportunistes qui développent des populations monopolistes connaissent des fluctuations de type irruptif (exemple de la plaine alluviale de l'Isère à l'aval de Grenoble).

IV - COMPARAISON AVEC D'AUTRES SYSTÈMES FLUVIAUX DU DOMAINE MÉDIO-EUROPÉEN

Dans ce travail, seules le cas des basses plaines alluviales à faible déclivité (pente inférieure à 3%), dont l'altitude est inférieure à 500 m sera examiné. Les communautés herbacées qui colonisent les alluvions récemment déposées par le cours d'eau présentent une composition floristique voisine dans tous les systèmes fluviaux, avec un fort recouvrement des taxons appartenant aux genres Calamagrostis, Agrostis, Polygonum, Rumex, Chenopodium, Nasturtium, Bidens. Les groupements à base de Phalaris arundinacea constituent partout les stades pionniers des successions allogènes, aussi bien sur les dunes d'alluvions sableuses que dans les dépressions où se déposent les vases. Ils accélèrent la sédimentation des éléments minéraux en suspension dans l'eau et permettent l'installation des saules.

Les saussaies (à Salix purpurea, à Salix triandra, à Salix alba, à Salix fragilis) ont une composition floristique presque invariante dans tous les systèmes. Il existe de nombreuses similitudes entre le Salicetum albae, le Salicetum albae-fragilis, et le Salici-Populetum. Les associations s'individualisent toutes par les populations d'Impatiens: Impatiens glandulifera, I. parviflora, I. capensis.

L'amplitude verticale des saussaies sur un profil transversal du lit ordinaire est d'autant plus grande que le plancher alluvial est plus épais et que

le rapport débit de crue/débit moyen est élevé; des paliers altitudinaux éloignés de la ligne d'eau en période d'étiage sont affectés régulièrement par les inondations; c'est le cas pour la plaine hongroise où l'épaisseur du plancher alluvial atteint 7 à 8 m, alors qu'il ne dépasse pas 3 à 4 m dans la vallée du Haut-Rhône français. Salix alba possède un appareil racinaire qui s'enfonce jusqu'à 4 m en-dessous du niveau du sol.

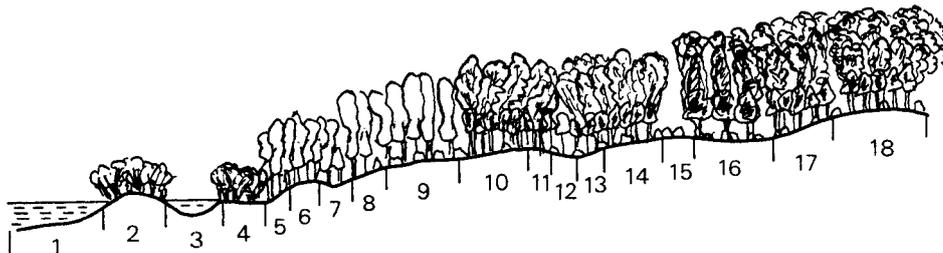
Les phénomènes de vicariance sont nombreux. Ainsi, dans la plaine du Saint-Laurent, entre Montréal et Québec, les saussaies à Salix nigra et Salix lucida occupent la position de la saussaie à Salix triandra; la saussaie à Salix gracilis occupe la position de la saussaie à Salix alba (TESSIER 1979, TESSIER et al., 1981).

L'organisation spatiale se complique dans les basses vallées alpines ou péri-alpines par la présence de l'aune blanc. L'aunaie submontagnarde (Equisetum-Alnetum) s'installe au-dessus de la ceinture des saussaies sur les sols alluviaux limoneux en surface et liés à une nappe phréatique, dont la profondeur moyenne est comprise entre 1 et 2m, en dessous du niveau du sol. Une aunaie mixte où Alnus glutinosa est associé à Alnus incana occupe les sites graveleux liés à une nappe de surface, mais uniquement à l'extérieur des digues (PAUTOU, 1984).

Dans la plaine alsacienne, l'aune blanc est présent mais peu fréquent (CARBIENER, 1970, 1974, 1983). Ce fait est, peut-être en relation avec la construction du canal d'Alsace. Dans la vallée du Rhône, nous avons montré que la construction de digues submersibles favorisait l'extension de la forêt de bois durs aux dépens de l'aunaie à Alnus incana (BRAVARD, AMOROS et PAUTOU, 1984). Il en est de même dans le cas de digues insubmersibles, mais on peut penser que, dans plusieurs siècles, une forêt collinéenne à base de Carpinus betulus, Fraxinus excelsior et Quercus robur se substituera au Querco-Ulmetum à l'extérieur des digues.

Dans la plaine autrichienne du Danube, WENDELBERGER (1952) décrit, au niveau de Wallsee, une zonation qui est très comparable à celle décrite dans la vallée du Haut-Rhône français; l'aunaie à Alnus incana y occupe la même position altitudinale. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne des Alpes, Alnus incana, se raréfie. Dans la plaine hongroise, l'espèce devient sporadique. Une saussaie à Salix alba, Populus alba et P. nigra occupe la position de l'Equiseto-Alnetum (fig. 6 et 7).

La séquence d'atterrissement des bras morts est également commune à tous les systèmes fluviaux de la région holarctique. Nous l'avons observée dans les vallées du Rhône, de l'Arve, de l'Isère, du Rhin et du Danube, que ce soit par colmatage minéral avec installation de saussaies à Salix cinerea ou par colmatage organique avec formation d'une lande à Frangula alnus sur la plateforme organique constituée par le chevelu des rhizomes et des racines élaboré par les hélophytes. Le stade ultime est toujours une aunaie à Alnus glutinosa (Carici elongatae-Alnetum glutinosae) ou une frênaie (Pruno-Fraxinetum). L'aunaie à Alnus rugosa et Cephalantus occidentalis (avec Symlocarpus foetidus, Osmunda regalis) est le



- 1, Eau permanente; 2, Salicetum purpureae polygonetosum; 3, Eau permanente;
- 4, Salicetum purpureae polygonetosum; 5, Salicetum albae-fragilis polygonetosum; 6, Salicetum albae-fragilis rubosum; 7, Salicetum albae-fragilis caricetosum; 8, Salicetum albae-fragilis rubosum; 9, Salicetum albae-fragilis cornetosum; 10, Fraxino pannonicae-Ulmetum brachypodietosum; 11, Fraxino pannonicae-Ulmetum alnetosum; 12, Thelypteri-alnetum; 13, Fraxino pannonicae-Ulmetum alnetosum; 14, Fraxino pannonicae-Ulmetum brachypodietosum; 15, Corneto-crataegetum; 16, Fraxino pannonicae-Ulmetum populetosum; 17, Fraxino pannonicae-Ulmetum asperuletosum; 18, Fraxino pannonicae-Ulmetum convallarietosum.

Fig.6.- Zonation de la végétation alluviale dans la plaine hongroise du Danube établie par I. KARPATI et V. KARPATI, 1958). Trois ceintures altitudinales principales apparaissent: la ceinture inférieure à Salix purpurea; la ceinture moyenne à Salix alba. (Compte tenu de la grande amplitude écologique de Salix alba, les auteurs ont distingué cinq sous-associations du Salicetum albae-fragilis), la ceinture supérieure à Fraxinus pannonicae et Ulmus laevis (elle comporte six sous-associations). On confrontera ce schéma à la figure 1.

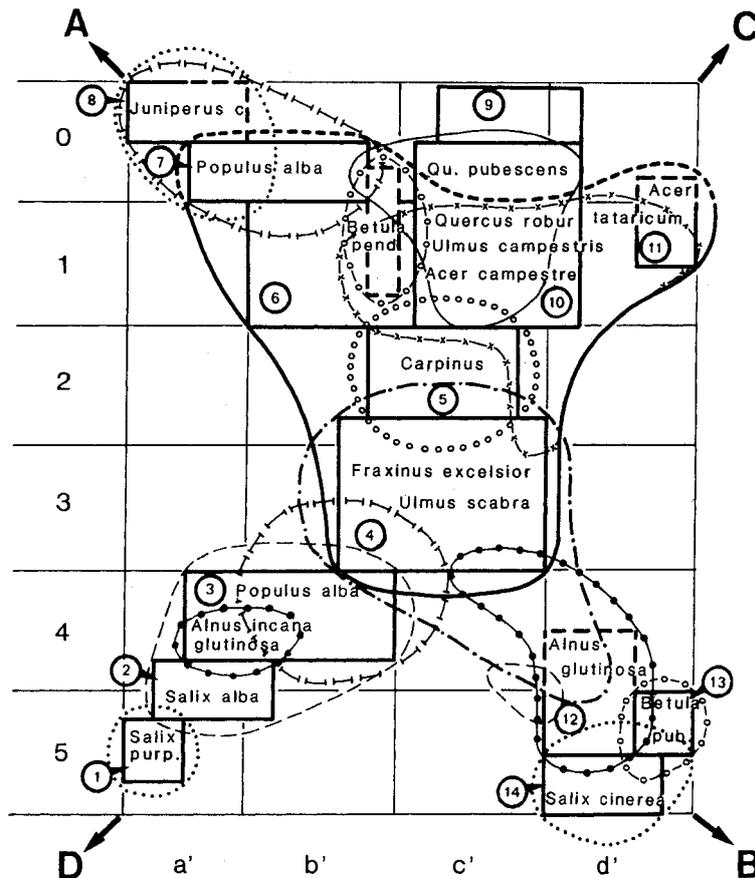


Fig.7.- Répartition des espèces forestières dans les différents types de forêts de la plaine hongroise (d'après ZOLYOMY, modifié).

1, Salicetum purpureae; 2, Salicetum albae-fragilis; 3, Populeto-Salicetum; 4, Ulmeto-Fraxineto-Roboretum; 5, Querceto-Carpinetum; 6, Querceto-Convalliarium; 7, Querceto-Festucetum sulcatae; 8, Junipereto-Populeto; 9, Prunetum tenellae; 10, Aceri-tatarico-Quercetum; 11, Galatello-Quercetum; 12, Carici elongatae-Alnetum; 13, Betuletum pubescentis; 14, Salicetum cinerea.

A, sécheresse du sol s'intensifiant; B, eau stagnante augmentant; C, matières nutritives diminuant; D, eau circulante augmentant.

De 0 à 5 : humidité croissante (passage d'un sol très sec à un sol saturé d'eau).

De a' à d' : teneur en matière organique croissante (passage d'un sol graveleux à un sol tourbeux).

vicariant de l'aunaie à *Alnus glutinosa* dans les anciens chenaux colmatés du St-Laurent (TESSIER, 1979). La présence d'aunaies à *Alnus glutinosa* dans les dépressions des îles du Rhône est une résultante de la conjonction de plusieurs facteurs: faible pente de la vallée (inférieure à 0,50 m/km), forte charge du fleuve en limons fins et en argile, formation d'un modèle géomorphologique à anastomoses qui est une conséquence de la construction de digues submersibles (BRAVARD, 1983), stabilisation des sédiments par la végétation herbacée.

Une ceinture composée de feuillus divers occupe le palier supérieur. La diversification de la composition floristique et les différences géographiques s'expliquent par une diminution des contraintes écologiques (durée de submersion ne dépassant pas 1 mois, sol soumis pendant la plus grande partie de l'année à des conditions d'aérobiose, rôle de réservoir en nutriments joué par l'humus et les horizons sous-jacents limoneux, rétention des eaux d'origine météorique). Elle est riche en frênes (*Fraxinus excelsior* dans l'Europe tempérée, *F. oxyphylla* dans l'Europe méridionale, *F. pannonica* dans les ripisylves d'Europe centrale, *F. nigra* en Amérique du Nord), en ormes (*Ulmus minor*, *U. laevis* dans les forêts plus continentales, *U. americana* dans le nord des Etats Unis et le sud du Canada), en

chênes (*Quercus robur* et *Q. pubescens* au contact de la région méditerranéenne), en érables (*Acer-pseudoplatanus*, *A. campestre*, *A. platanoides*, *A. negundo* en Europe, *A. saccharinum*, *A. pensylvanicum* dans les forêts du Saint-Laurent).

La composition floristique de la forêt de bois durs est influencée par la position géographique de la vallée. A côté d'un noyau d'espèces communes à toutes les forêts, quelle que soit leur localisation, figurent des espèces à distribution plus affirmée (*Acer tataricum* par exemple dans la plaine hongroise) et des espèces appartenant à des unités phytosociologiques non ripariales, les *Fagetalia* par exemple. Les représentants de cet ordre, absents des communautés de la basse plaine rhodanienne (altitude inférieure à 250 m), apparaissent à partir de 500 à 600 mètres dans les vallées alpines. Les aunaies à *Alnus incana* situées dans la plaine de l'Oisans, à 700 m d'altitude sont bien pourvues en caractéristiques du *Carpinion* et du *Fagion*. Un enrichissement en *Fagetalia* s'observe dans les basses vallées qui sont situées à une latitude plus septentrionale. Ainsi par exemple, *Asperula odorata* constitue des tapis très denses dans le *Fraxino-Ulmetum pannonicum*. Dans la plaine alsacienne, la hêtraie peut se substituer à la forêt de bois durs dans les sites à l'extérieur des digues, qui sont hors d'eau. Par ses interventions, l'homme favorise donc l'extension des *Fagetalia* aux dépens des *Populetalia*. Lorsque ce palier supérieur est constitué de dépôts très filtrants (galets, graviers, sables grossiers), un groupement où dominent *Populus nigra* et *Robinia pseudacacia* dans la strate arborescente et de nombreux phanérophytes épineux dans la strate arbustive, remplace le *Querco-Ulmetum*. Quand la nappe n'influence plus les couches du sol explorées par l'appareil racinaire, une végétation xérophile s'implante: lande à *Juniperus communis* et *Buxus sempervirens* sur les dépôts graveleux du Drac, pelouses à *Bromus erectus* (*Xerobrometum lugdunense*) et groupement à *Fumana procumbens* (*Teucro-Fumanetum*) sur les alluvions filtrantes de l'Ain, pelouses à *Festuca sulcata* et lande à *Quercus pubescens* sur celles du Danube.

V - L'EXEMPLE D'UN SYSTÈME DU DOMAINE ATLANTICO-EUROPÉEN :

LE MODÈLE GARONNAIS

La moyenne vallée de la Garonne, à l'aval de Toulouse présente des caractères communs avec les systèmes fluviaux du domaine médioeuropéen et des caractères propres en rapport avec la proximité de la région méditerranéenne et la nature du matériel biologique. Les groupements qui sont soumis à de fortes contraintes écologiques (phase de submersion durable, rhizosphère soumise à des conditions asphyxiques, etc...) sont, en tous points, comparables à leurs homologues du domaine médio-européen: groupement pionnier à *Phalaris arundinacea*, saussaies à *Salix alba*, saussaies à *Salix atrocinerea*, aunaies à *Alnus glutinosa*, frênaie à *Ulmus minor*.

Comme dans la plaine hongroise, les saussaies à *Salix alba* présentent une grande amplitude verticale, en rapport avec un plancher alluvial épais et des débits de crue très élevés (plus de 6000 m³/s en aval de Toulouse; rappelons que le débit du Rhône à l'extrémité du Jura n'atteint que 2500 m³/s au cours des crues décennales).

Les aunaies à *Alnus glutinosa* et *Carex* qui colonisent les anciens lits colmatés sont différentes des aunaies à *Alnus glutinosa* et *Sambucus nigra* décrites par GRUBER (1984) dans les Pyrénées centrales. Le *Sambuco nigrae-Alnetum glutinosae* est un groupement collinéen et montagnard qui est riche en représentants des *Fagetalia* et des *Betulo-Adenostyletea*. Cette association qui est très répandue dans le domaine atlantico-européen est également présente sur les bords des affluents du Rhône qui drainent le Jura méridional et les Préalpes (massif de la Chartreuse par exemple), mais également des torrents dans les massifs cristallins externes (chaîne de Belledonne par exemple). En fait, elle apparaît comme un vicariant de l'*Alnetum incanae* dans les zones où cette espèce est absente.

La frênaie à *Ulmus minor* relaie l'aunaie à *Alnus glutinosa* dans les parties des anciens lits qui sont inondées moins fréquemment. Ce groupement est un vicariant du *Pruno-Fraxinetum* continental, avec *Carex pendula*, *Carex remota*, *Equisetum arvense*, *Agropyrum caninum*, *Cardamine impatiens*, *Angelica sylvestris*, *Sambucus nigra*, *Alliaria officinalis*, *Glechoma hederaceum*. *Prunus padus*, qui est absent des ripisylves à l'aval de Toulouse apparaît lorsqu'on se rapproche des Pyrénées.

Un groupement vicariant de la forêt de bois dur continentale (le *Querco-Ulmetum*) n'existe qu'à l'état d'îlots. Plusieurs raisons expliquent cette faible représentation: l'absence de hautes eaux pendant la saison chaude (régime pluvio-nival), un niveau très bas de la nappe phréatique (les prélèvements de matériaux accentuent l'enfoncement du cours d'eau). Néanmoins, sur les sols limoneux liés à une nappe comprise entre 2 et 4 mètres, une communauté comportant un grand nombre

TABLEAU III

Distribution des principaux types de forêts alluviales dans le corridor garonnais.

(1): régime de la nappe aquifère intéressant les couches du sol explorées par l'appareil racinaire des végétaux; (2): classes granulométriques les mieux représentées dans les horizons superficiels du sol. En grisé: groupements qui sont éliminés par la culture du peuplier.

régime pluvial (1) →	Communités calcicoles		Communités neutrophiles ou acidophiles	
	← altitude	← acidification, formation d'un horizon imperméable		
— limite supérieure du système alluvial	ESPACE ALLUVIAL A NAPPE PERCHÉE	Chênaie à <i>Quercus robur</i> , <i>Betula verrucosa</i> et <i>Molinia cerulea</i> ou Chênaie à <i>Quercus robur</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Filipendula ulmaria</i> et <i>Erica scoparia</i>	Charmaie à <i>Quercus robur</i> , <i>Vincetoxicum</i> , <i>Melica uniflora</i> , <i>Ilex aquifolium</i>	
— limite supérieure de la basse plaine	ESPACE ALLUVIAL NON SUBMERSIBLE NAPPE PHREATIQUE ENTRE 1 ET 2 M.	Chênaie à <i>Quercus pubescens</i> (présence de <i>Quercus ilex</i> en amont de Toulouse)	Frênaie à <i>Fraxinus excelsior</i> ou Chênaie mixte de <i>Quercus robur</i> et <i>Quercus pubescens</i>	Groupement de feuillus divers (<i>Quercus robur</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Tilia parvifolia</i> , <i>Corylus avellana</i>)
— limite du lit d'inondation en période de crue	ESPACE TERRESTRE FAIBLEMENT SUBMERSIBLE	Chênaie à <i>Quercus pubescens</i> Peupleraie à <i>Populus nigra</i> et <i>Robinia pseudacacia</i>	Chênaie-Frênaie à <i>Populus alba</i> (avec <i>Quercus robur</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Fraxinus sp.</i> , <i>Ulmus minor</i> , <i>Acer negundo</i> , <i>Juglans regia</i> , <i>Populus nigra</i>); présence de lianes, groupement vicariant de la forêt de bois dur (<i>Quercus-Ulmatum</i>)	
— limite du lit d'inondation en période de hautes eaux	ESPACE SEMI-AQUATIQUE	Saussaie à <i>Salix alba</i> et <i>Impatiens glanduliflora</i> Saussaie à <i>Salix alba</i> et <i>Phalaris arundinacea</i>	Frênaie type ou Ormaie à <i>Ulmus minor</i> (à <i>Carex pendula</i>) Aunaie à <i>Alnus glutinosa</i>	
— limite du chenal d'étiage	ESPACE AQUATIQUE	Groupement à <i>Melilotus alba</i> et <i>Phalaris</i> Phragmitaie-Scirpaie: faciès à <i>Typha latifolia</i> Groupement à <i>Myriophyllum sp.</i> et <i>Nuphar luteum</i>	Groupement à <i>Bidens tripartitus</i> et <i>Phalaris</i> Magnocaricaies, Saussaie à <i>Salix atrocinerea</i>	
	Galets et graviers (2)	Sables (2)	Limons et sables fins (2)	Limons fins et argile (2)

	← diminution de la perméabilité	←	←	←
				↑ Pourcentage de limons fins et d'argile

d'espèces arborescentes s'implante. Parmi les phanérophytes, nous citerons : Quercus robur, Fraxinus excelsior, Fraxinus sp., Ulmus minor, Populus alba, Populus nigra, Juglans regia, Acer negundo. Les espèces lianoides sont bien représentées : Clematis vitalba, Humulus lupulus, Vitis sp., Parthenocissus quinquefolia, Tamus communis. En amont de Toulouse, à proximité des Pyrénées, le groupement s'enrichit en Tilia parvifolia, Acer pseudoplatanus, Ulmus scabra et en représentants des Fagalia. La présence de nombreux frênes présentant des caractères intermédiaires entre Fraxinus excelsior et Fraxinus oxyphylla pose le problème de l'appartenance phytosociologique de ce groupement. Si Fraxinus oxyphylla est l'essence de base des ripisylves méditerranéennes ou supraméditerranéennes, elle semble plus répandue dans la section inférieure des cours d'eau qu'on ne le pensait auparavant. Dans la vallée du Rhône, F. oxyphylla est sporadique en amont de Lyon, plus fréquente entre Lyon et Valence, très répandue à l'aval. Elle est signalée, dans la vallée de la Saône, par RAMEAU et SCHMITT (1984), ainsi que dans la partie méridionale de la vallée de la Seine (BOURNERIAS, 1978). Le statut taxinomique des populations de frêne mérite d'être précisée à l'aide des méthodes modernes de classification (mise en évidence du polymorphisme enzymatique par des études allo-enzymatiques). Il serait ainsi possible d'affiner la distribution de l'Ulmo-Fraxinetum, décrit par SCHMITT et RAMEAU sur les bords de la Saône et de préciser ses relations chorologiques avec le Querco-Ulmetum continental et l'Alneto-Fraxinetum oxycarpae Tchou, 1946, qui colonise les berges de rivières inondées de façon temporaire dans l'étage supraméditerranéen (BRAUN-BLANQUET, 1952).

L'extension des peupleraies sur les sols limoneux explique également, en partie, la disparition des forêts de bois durs dans l'axe garonnais. La rudéralisation est telle qu'un tapis continu d'Urtica dioica et de nitratophiles s'est substitué à la flore compagne. L'absence de semenciers rend la reconstitution de la forêt impossible dans les parcelles abandonnées. Seul Sambucus nigra développe une strate arbustive plus ou moins dense.

CONCLUSION

Peut-on à partir de la distribution des communautés végétales à un instant t_0 prévoir dans quel sens se fera l'évolution ? Des éléments de réponse peuvent être formulés lorsqu'on travaille à des échelles de temps relativement courtes (de l'ordre de la décennie par exemple) dans la mesure où les phénomènes physiques et biologiques sont reproductibles et qu'un changement brutal de nature de l'hydrosystème n'intervient pas. Le schéma proposé indique dans quel sens se fera la transformation de la végétation si un abaissement ou un rehaussement du niveau de la nappe se produisent.

Faire un diagnostic prévisionnel devient très difficile lorsqu'il y a apparition de conditions écologiques inédites. Dans les travaux précédents, nous avons montré que la construction de digues avait provoqué la formation de nouveaux sites écologiques (nappe superficielle, substrat graveleux) à l'abri des inondations). Ils permettent à une ou plusieurs espèces d'exprimer les potentialités cachées qui sont inscrites dans leur équipement génétique de s'exprimer (accommodation) ou d'acquérir des aptitudes nouvelles (innovation). L'apparition de ce type de biotope a permis à Cladium mariscus de développer des populations nombreuses alors qu'auparavant l'espèce n'était présente que dans des communautés sur tourbe alcaline. La composition élémentaire des individus vivant sur chaque type de substrat est différente (PAUTOU et GIREL, 1983). L'installation d'aunages mixtes (à Alnus incana et Alnus glutinosa) était plus facilement prévisible dans la mesure où les conditions écologiques sont compatibles pour les 2 espèces: sol filtrant et nappe superficielle.

Les mêmes observations sont valables pour les tronçons des fleuves qui sont court-circuités par la construction d'un canal de dérivation amenant un flux hydrique constant à une usine hydroélectrique. L'abaissement du niveau de la nappe de 1 à 2 mètres est une conséquence de la construction de ce type d'ouvrage. Si on se réfère au schéma proposé, on peut penser que la diminution des apports en eau favorisera les communautés qui occupent les paliers altitudinaux les plus hauts, mais le fait que les eaux soient rejetées en totalité dans le Rhône court-circuité en période de crue ne risque-t-il pas d'interrompre la descente des essences mésophiles vers des stations abyssales? Il n'y a pas une seule réponse mais un ensemble de réponses, si on rappelle l'hétérogénéité extraordinaire des conditions écologiques. Acquérir plus de certitude impose de classer les différents types de communautés en fonction de leur niveau de stabilité, c'est-à-dire de leur plus ou moins grande capacité de revenir à l'état initial après une perturbation.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- AMOROS (Cl.), BRAVARD (J.P.), COULET (M.), PAUTOU (G.), REYGROBELLET (J.L.) et ROUX (A.L.), 1982.- Cartographie polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux. Etude d'un hydrosystème fluvial: le Haut-Rhône français. Ed. CNRS, 98p.
- BORNAND (M.) et GUYON (A.), 1980.- Etude pédologique dans la haute vallée du Rhône. Aménagement de Brégnier-Cordon. Rapport CNR, 95 p., annexes, 99 p., 2 cartes coul. h.t.
- BORNAND (M.) et GUYON (A.), 1982.- Etude pédologique dans la haute vallée du Rhône. Aménagement de Loyettes et de Sault-Brénaz. Rapport CNR, 132 p., annexes 158 p., 1 carte coul. h.t.
- BORNAND (M.), CHEVRIER (L.) et GUYON (A.), 1983.- Etude pédologique dans la haute vallée du Rhône. Aménagement de Chautagne. Rapport CNR, 59 p., annexes 24 p., 1 carte coul. h.t.
- BOURNIERAS (M.), 1978.- Le Frêne dit "oxyphyllé", espèce méconnue dans le bassin de la Seine. Cahier des Naturalistes, 2, 73-75.
- BRAVARD (J.P.), 1981.- La Chautagne. Institut des Etudes rhodaniennes. Lyon, 182 p.
- BRAVARD (J.P.), 1983.- Une auto-capture du Rhône par déversement dans les basses terres du Bas-Dauphiné (Isère, Ain). R.G.L., 4, 370-381.
- BRAVARD (J.P.), 1983.- Les sédiments fins des plaines d'inondations dans la vallée du Haut-Rhône (approche qualitative et spatiale). R.G.A., t. LXXI, 4, p. 363-379.
- BRAVARD (J.P.), AMOROS (C.) et PAUTOU (G.), 1984.- Vers une modélisation des interactions espace-temps-impact dans l'hydrosystème fluvial. Rapport PIREN (CNRS), p. 8-17.
- BRAVARD (J.P.), AMOROS (Cl.) et PAUTOU (G.), à paraître.- Impact des travaux de génie civil sur les successions des communautés dans un système fluvial. Essai méthodologique sur un secteur du Haut-Rhône français.
- BUDILLON (P.), 1981.- Contribution à l'étude statistique des données écologiques recueillies dans la vallée du Haut-Rhône français: analyse factorielle des correspondances et classification hiérarchique. Rapport CENG, Grenoble, 79 p.
- BRAUN-BLANQUET (J.), 1952.- Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. Ed. du CNRS, 267 p.
- CARBIENER (R.), 1970.- Un exemple de type forestier exceptionnel pour l'Europe occidentale: la forêt du lit majeur du Rhin au niveau du fossé rhénan. Vegetatio, 20, 1/4: 97-148.
- CARBIENER (R.), 1974.- Le Rhin et l'Alsace. Histoire de l'évolution des rapports entre l'homme et un grand fleuve. Bull. Soc. Industr. Mulhouse, n°757, 61-69.
- CARBIENER (R.), 1974.- Die linksrheinischen Naturräume und Waldungen der Schutzgebiete von Rhinau und Daubensand (Frankreich): eine pflanzensoziologische und landschaftsökologische Studie. In : Das Taubergiessengebiet, Die Natur und Landschafts-schutzgebiet Baden-Württenbergs, Bd: 7, 438-535.
- CARBIENER (R.), 1974.- Bemerkungen zur Problematik Wald-Mantel-Saum in Ökologischer Sicht am Beispiel eines intrazonalen thermo, und hygrophilen Vegetationskomplexes, die Auenwälder des Oberrheingravers. In : Tatsachen und Probleme der Grenzen in der Vegetation (Rinteln, 1968), R. TUXEN, 195-197.
- CARBIENER (R.), 1983.- Le grand ried central d'Alsace: écologie et évolution d'une zone humide fluviale rhénane. Bull. Ecol. t. 14, 4, p. 249-277.
- CARBIENER (R.), 1984.- De quelques aspects de l'écologie des complexes forestiers alluviaux d'Europe. Colloques phytosociologiques, IX, "les forêts alluviales". Ed. J. Cramer, 1-7.
- CHENEVIER (D.), 1982.- Ecologie quantitative des phytocénoses du Saint-Laurent (Québec). Essai de typologie par l'analyse multispectrale d'une simulation SPOT. Thèse 3ème Cycle, Grenoble, 111p.
- CHEVRIER (L.), 1981.- Contribution à l'étude du fonctionnement hydrique des sols à nappe de la haute vallée du Rhône. Application du secteur de la Balme (Savoie). Mém. Ingén. Université de Montpellier, 64 p., annexes 16 p.
- COLLI (Ch.), 1980.- Contribution à l'exploitation statistique des données écologiques recueillies dans la vallée du haut-Rhône français: utilisation du critère de l'information mutuelle. Rapport CENG, Grenoble, 27 p.
- DAGET (Ph.), GODRON (M.) et GUILLERM (J.L.), 1972.- Profils écologiques et information mutuelle entre espèces et facteurs écologiques. Actes du Symp. Int. Grunfragen und Methoden in der Pflanzensoziologie Rinteln 1970, 121-149.
- DUPIAS (G.), 1963.- La végétation des côtes de Gascogne, sa physionomie et son dynamisme. In : Recherches expérimentales et essai de synthèse biogéographique dans la région des côtes de Gascogne. S.C.V. (CNRS), 53-69.
- DUVIGNEAUD (P.), 1980.- La synthèse écologique. Doin, Paris, 380 p.
- GAUDRY (Ph.), 1981.- Etude forestière des îles du Rhône entre le pont de Cordon et le pont de Groslée pour le projet de réserve naturelle de Brégnier-Cordon. Rapport D.D.A., 25 p.
- GAUTHIER (B.), GODRON (M.), HERNIAUX (P.) et LEPART (J.), 1977.- Un type complémentaire de profil écologique: le profil écologique indicé. Lan. f. Bot., n°2859-2865.

- GRUBER (M.), 1984.- La ripisylve à Alnus glutinosa (L.) Gaertner en vallée de Luron (Pyrénées centrales). Colloques phytosociologiques, IX, "les forêts alluviales", Strasbourg, 1980. Ed. J. Cramer, 405-409.
- JOYEUX (S.), 1982.- Premiers résultats de l'étude écologique de la végétation riveraine dans la moyenne vallée de la Garonne. DEA, Toulouse, 35 p.
- KARPATI (L.), 1958.- Die Vegetation der Auen Ökosysteme in Ungarn-Veröffentlichung der Internationalen Arbeitsgemeinschaft für Clusius-Forschung, Heft 4, 1-23.
- KOSMELJ (K.), 1982.- Méthodologie statistique pour le traitement des variables hydriques du Haut-Rhône français. Thèse, Grenoble, 45 p.
- LACHET (B.), KOSMELJ (K.), LAPORTE (P.) et GENTIL (J.), 1983.- Aspect temporel des relations entre apports en eau, température et fonctionnement de la nappe phréatique dans plusieurs unités fonctionnelles de Brégnier-Cordon. Essai de modélisation du fonctionnement de la nappe. Rapport PIREN-RHONE, 15-21.
- LAPORTE (P.), 1982.- Modélisation de la nappe phréatique dans le bassin versant du Haut-Rhône. Dipl. Ing. ENSEIG-INPG, Grenoble, 83. p.
- LEPART (L.) et ESCARRE (J.), 1983.- La succession végétale, mécanismes et modèles: analyse bibliographique. Bull. Ecol., t. 14, 3, p.133-178.
- LOUIS (J.M.), 1976.- Etude des variations de quelques facteurs écologiques dans une Phragmitaie. DEA, Grenoble, 25 p.
- PARDE (J.), 1977.- Biomasses forestières et utilisation totale des arbres. Rev. forest. fr., fasc. 5, 333-342.
- PAUTOU (G.) et GENSAC (P.), 1973.- La forêt d'Evieu (Ain). Chênaie à charme sur sol hydromorphe. Ann. Centre Univ. de Savoie, I, Sci. nat., 47-55.
- PAUTOU (G.), 1975.- Contribution à l'étude écologique de la plaine alluviale du Rhône entre Seyssel et Lyon, Thèse Doctorat Etat, Grenoble 375p. + annexes.
- PAUTOU (G.), GIREL (J.), LACHET (B.) et AIN (G.), 1979.- Recherches écologiques dans la vallée du Haut-Rhône français. Doc. Cart. Ecol., XXII, 1-63, 2 cartes coul. h.t.
- PAUTOU (G.) et BRAVARD (J.P.), 1982.- L'incidence des activités humaines sur la dynamique de l'eau et l'évolution de la végétation dans la vallée du Haut-Rhône français. R.G.L., vol. 57, n°1, 63-79.
- PAUTOU (G.), 1982.- Genèse, évolution et disparition des unités fonctionnelles semi-aquatiques. Rapport PIREN-CNRS, p.38-42.
- PAUTOU (G.), 1983.- Répercussions des aménagements hydroélectriques sur le dynamisme de la végétation (l'exemple du Haut-Rhône français). R.G.A., t. LXXI, 4, p. 331-342.
- PAUTOU (G.) et GIREL (J.), 1983.- Etude floristique et phytosociologique du site retenu pour l'aménagement hydroélectrique de Loyettes. Rapport CNR, 59 p., 1 carte coul. h.t.
- PAUTOU (G.) et GIREL (J.), 1983.- Les associations végétales à Cladium mariscus dominante entre Lyon et Genève. Colloques phytosociologiques, X, "la végétation aquatique amphibie". Ed. J. Cramer, Germany, 263-270.
- PAUTOU (G.), 1984.- Le rôle des forêts alluviales dans le fonctionnement des hydrosystèmes. Rapport PIREN-CNRS, 25 p.
- PAUTOU (G.) et DECAMPS (H.), à paraître.- Ecological interactions between the alluvial forests and hydrology of the Upper Rhône. Archiv für hydrobiology.
- RAMEAU (J.Cl.) et SCHMITT (H.), 1984.- Les forêts alluviales de la plaine de la Saône. Colloques phytosociologiques, IX, "les forêts alluviales". Ed. J. Cramer, 93-113.
- RENAULT (J.B.) et WILLEM (D.), 1983.- Etude du caractère saisonnier des relations entre variables hydriques dans la vallée du Haut-Rhône français. Mém. Ingén. INPG, Grenoble, 60 P.
- TESSIER (C.), 1979.- Analyse écologique de la végétation et des populations larvaires de moustiques (Diptera Culicidae) dans les zones riveraines de l'archipel des Cent îles (Québec). Thèse 3ème cycle, Grenoble, 102 p.
- TESSIER (C.), MAIRE (A.), et AUBIN (A.), 1981.- Etude de la végétation des zones riveraines de l'archipel des Cent îles du fleuve Saint-Laurent (Québec). Journ. Can. Bot., 59 (8), 1526-1536.
- VERNET (O.), 1982.- Structure et phytomasse des forêts riveraines de la moyenne vallée de la Garonne; premiers essais d'estimation. DEA, Toulouse, 44 p.
- YOUNG (M.E.), 1971.- Biomass sampling methods for punckerbrush stands in forest biomass studies. College of life sciences and agriculture University of Maine. Toronto, Maine, 170-190.
- ZOLYOMI (B.), 1954.- Classification bidimensionnelle des types de forêts dans la plaine hongroise. Acta botanica Acad. Sc. Hungaricae, I, 215-222.

(1) Laboratoire "Ecologie et Biogéographie des grands systèmes montagneux" de l'Université de Grenoble I, associé au CNRS (LA 242) et Centre d'Ecologie des Ressources renouvelables, Toulouse.

Adresse postale :

Université scientifique et médicale de Grenoble, Laboratoire de Botanique et Biologie végétale, BP 68, F38402 SAINT-MARTIN D'HERES CEDEX (France).

Cette publication a été effectuée dans le cadre des programmes PIREN du CNRS.