



National Library of Canada
Collections Development Branch

Canadian Theses on
Microfiche Service

Bibliothèque nationale du Canada
Direction du développement des collections

Service des thèses canadiennes
sur microfiche

NOTICE

The quality of this microfiche is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us a poor photocopy.

Previously copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this film is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30. Please read the authorization forms which accompany this thesis.

**THIS DISSERTATION
HAS BEEN MICROFILMED
EXACTLY AS RECEIVED**

AVIS

La qualité de cette microfiche dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de mauvaise qualité.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, examens publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de ce microfilm est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30. Veuillez prendre connaissance des formules d'autorisation qui accompagnent cette thèse.

**LA THÈSE A ÉTÉ
MICROFILMÉE TELLE QUE
NOUS L'AVONS REÇUE**

Léopold BOURGEOIS

Département de Géographie,
Université d'Ottawa,
Ottawa, Canada, K1N-6N5.

THESE DE MAITRISE

"Analyse du rôle et de l'utilisation de l'information
écologique en aménagement forestier."

Thèse présentée à l'Ecole des études supérieures
de l'Université d'Ottawa en vue de l'obtention de la
Maîtrise es Arts en Géographie.

Ottawa, Ontario, 1980

Directeur de thèse:

Dr. M. Phipps,

Directeur,

(c) Léopold Bourgeois, 1980

Département de Géographie

R E M E R C I E M E N T S

Je désire remercier sincèrement les professeurs du département de géographie de l'Université d'Ottawa et surtout mon directeur de thèse, Michel Phipps, pour m'avoir continuellement inspiré des merveilles de l'organisation de la nature, des paysages humains et de la science.

Merci aussi à l'Ecole des Etudes Supérieures pour l'octroi d'une bourse me permettant de rédiger cette thèse.

Enfin, merci à mes parents et amis de Cocagne, Suzanne surtout, pour leur patience et le temps qu'ils m'ont accordé afin que je puisse terminer ce travail:

R E S U M E

7 Cette thèse se veut être une évaluation critique de notre participation, en temps que géographes et écologistes, à l'aménagement des Cédraies du Moyen-Atlas occidental au Maroc. L'emphase est mise sur la valeur pratique de l'information que la géographie-écologique peut apporter à l'aménagement d'une zone forestière.

Après avoir passé brièvement en revue, dans l'introduction, ce qui a déjà été fait dans ce domaine, nous démontrons, dans une première partie, comment la méthodologie utilisée pour réaliser ce travail, permettait de fournir aux aménagistes de l'information écologique potentiellement très valable. Les raisons pour lesquelles les aménagistes n'ont pas toujours pu tirer le plein potentiel de cette information sont mises en évidence, puis dans un deuxième temps, une proposition méthodologique (ou organisationnelle) alternative est proposée, qui permettrait de spatialiser encore plus de résultats. Après l'analyse des avantages et des désavantages des deux types d'organisations méthodologiques, un choix final est justifié.

Un effort constant est fait pour essayer de démontrer qu'une étude écologique, faite d'une certaine manière, peut conduire à une compréhension assez claire des phénomènes.

pour permettre aux écologistes de définir les types de traitements à appliquer dans la forêt.

Nous essayons aussi de montrer que des résultats théoriques très intéressants n'ont aucune valeur pratique pour l'aménagement à moins d'être spatialisés. Plusieurs notions d'écologie végétale, dont les plus importantes sont sûrement celles de structure et de dynamisme des communautés végétales, ont servi d'exemples et de preuves à ces arguments.

Il ressort de la thèse qu'une étude écologique, méthodologiquement orientée vers l'obtention de résultats réellement pratiques, peut constituer une base solide sur laquelle concevoir l'aménagement d'une forêt.

A B S T R A C T

The thesis constitutes in fact a critical evaluation of our work, as geographers and ecologists, in planning the future utilisation of the Cedar forests of the western Middle Atlas region of Morocco. Emphasis is placed on the practical value of the information which geographical ecology can bring to the forester.

The introduction contains a brief revue of what has already been done in this specialized field and of the methods used in these previous studies. In the first part of the thesis, an evaluation of how the methodology used in the morroccan experience can generate ecological information of very high potential practical value, is presented. An explanation is then given as to why foresters did not use the full potential of the ecological information.

In the second part of the thesis an alternative methodology is suggested which would permit an even greater spatia- lization of the ecological information or results. Following an analysis of the advantages and disadvantages of the two types of organisation a final choice is justified for future projects of the same nature.

Throughout the thesis it is emphasized that an ecological

study, done the right way, can result in a very good understanding of the phenoménas involved, thereby enabling ecologists to define the best actions or treatments to be undertaken by the foresters. It is also shown that results which are not spatialized (put into cartographic form), although they may be very interesting theoretically, have no real practical value. Several concepts of vegetation ecology, the most important of which are surely the structure and the dynamics of forest communities, serve as examples and proof of these demonstrations.

It is therefore argued, in this thesis, that an ecological study, if its methodology is oriented towards obtaining results of real practical value (applicable in space), can become the foundation on which to conceive the future utilization of a forest region.

INTRODUCTION

Depuis trente ans surtout, l'écologie, en tant que connaissance des relations fonctionnelles des êtres vivants entre eux et avec leur milieu, a connu un développement très rapide. Son concept fondamental est celui de l'écosystème, unité systémique et spatiale de base dans laquelle s'effectuent ces relations. Ce concept fut défini pour la première fois en 1935 par TANSLEY. Il a depuis subi des développements de plus en plus détaillés et constitue maintenant une base théorique solide où tout phénomène, naturel ou humain, peut être intégré. C'est donc un concept holistique (cf. ODUM 1971 surtout). De nombreux milieux de vie réels (terrestres, aquatiques et marins) ont été étudiés et décrits dans le cadre de cette théorie et consistent en autant de preuves que le concept est propice à leur analyse structurale, fonctionnelle et dynamique.

Malheureusement, l'application des notions écosystémiques au domaine de l'aménagement du territoire n'a pas suivi ce rythme. Malgré des efforts constants et souvent brillants, depuis une quinzaine d'années surtout (ODUM 1971, ISARD 1972, DANSEREAU 1973 et 1976, etc...), les propositions d'aménagement basées sur une connaissance du dynamisme des

écosystèmes affectés, sont encore assez rares de nos jours. Cet état de chose résulte probablement du fait qu'il est encore aujourd'hui assez difficile, long et coûteux d'entreprendre des études de ce genre.

Parmi les travaux les plus significatifs réalisés dans ce domaine, certains sont purement théoriques, visant l'établissement d'une méthodologie par laquelle le concept d'écosystème pourrait être intégré dans les processus de planification et d'aménagement du territoire (E.P. ODUM 1971, H.T. ODUM 1971, DANSEREAU 1973, HANSON 1977 ; etc...). D'autres, développent des exemples concrets d'aménagements fondés sur une connaissance du fonctionnement des écosystèmes considérés (ISARD 1972, DANSEREAU 1976, TODD 1977 surtout, mais aussi LONG 1974, qui analyse l'écosystème à partir de l'écologie végétale).

Enfin, plusieurs aménagistes ont suggéré une démarche tenant compte de certains facteurs écologiques (susceptibilité du terrain aux inondations ou aux glissements, type de sol, sensibilité de la végétation, etc...), mais qui n'est pas véritablement fondée sur une compréhension du dynamisme des écosystèmes (McHARG 1969, MARSAN 1972, LYLE and VonWODTKE 1974, etc...). I. McHARG est peut-être le mieux connu des représentants de ce type d'approche à

l'aménagement du territoire.

Dans le domaine de l'aménagement forestier le même genre de dilemme existe. L'école soviétique est la seule à préconiser la compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers comme base à l'aménagement des forêts (DOKUCHAEV 1889, MOROZOV 1931, SUKACHEV et DYLLIS 1964 et ALEXANDROVA 1969).

En se fondant sur le fait reconnu (LONG 1975) que la végétation d'un site est l'expression de l'intégration de tous les facteurs écologiques de ce site (climat, type de sol, conditions de drainage, exposition, etc...) ainsi que de la compétition intra et interspécifique, les écoles européennes (celles de Zurich-Montpellier et de Toulouse surtout) et américaines pensent justifiable de baser un plan d'aménagement forestier sur une bonne connaissance de la végétation de la région (BRAUN-BLANQUET 1951, ELLENBERG 1952, DAGNELIE 1960, WHITTAKER 1967, DAUBENMIRE 1968, GRANDTNER 1968 et 1971, MAAREL 1969, DANSEREAU 1976, etc...). Même les chercheurs soviétiques, en dépit de leur position de principe rappelée plus haut, se basent uniquement sur la connaissance des phytocénoses (communautés végétales) pour délimiter les biogéocénoses (écosystèmes) pour une raison qu'ils citent:

"Among the components of a biogeocoenose, phytocoenoses usually have the leading biogeocoenose-forming role." (SUKACHEV and DYLLIS 1968)

Cette approche a l'avantage d'être beaucoup plus rapide et moins coûteuse, tout en donnant de bons résultats lorsqu'elle est bien appliquée; ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas.

Une différence fondamentale doit être faite ici, entre une étude écologique liée à un projet d'aménagement forestier, et une étude écologique réalisée dans le cadre d'un aménagement de substitution (par exemple, substitution d'un espace forestier par un espace agricole, un parc récréatif, une banlieue urbaine ou une ville nouvelle).

Dans le premier cas, c'est la connaissance même du fonctionnement et du dynamisme des différents types de communautés végétales qui sert directement à la formulation des politiques d'aménagement possibles ou nécessaires dans leur cas respectif. Cela est également vrai, par exemple, dans le cas d'un aménagement pastoral de prairies naturelles (élevage extensif).

Dans le deuxième cas, l'étude écologique des types de communautés végétales sert le plus souvent à donner une image du potentiel bio-physique du milieu, qui guidera subséquemment le choix de localisation des types substitutifs d'utilisation du sol (GRANDTNER 1968 et 1971, LONG 1975, etc...). En Amérique du nord, on a tendance à utiliser cette deuxième approche de façon très générale, même lorsqu'il s'agit d'un aménagement forestier.

Il nous semble cependant que cette dernière approche, qui présente de nombreux mérites dans le cas d'un aménagement de type substitutif, pose quelques problèmes lorsqu'il s'agit d'un aménagement forestier. En effet, par leur évolution en contact permanent les milieux physique et biotique ne se sont-ils pas tellement enrichis mutuellement, que la végétation que l'on observe aujourd'hui représente un potentiel plus grand que celui du milieu physique, démunie de sa couverture végétale? En plus, n'est-il pas plus complexe et plus long d'étudier le potentiel bio-physique d'un type de végétation lorsque la seule connaissance de son fonctionnement et de son dynamisme suffit à établir certaines lois d'utilisation, de culture ou de conservation très adéquates?

Quelle que soit l'approche utilisée (soviétique,

européenne ou américaine), un effort sérieux de communication entre écologistes et aménagistes est nécessaire pour que la connaissance théorique de l'écologie ait une véritable portée pratique. L'aménagement étant d'abord une opération d'ordre spatial il est surtout impératif que la connaissance des phénomènes écologiques intervenant dans la forêt soit spatialisée; exprimée ou non sous forme de cartes. Par exemple, il est théoriquement très intéressant de savoir que l'érable à sucre (*Acer saccharum*) requiert un sol bien drainé et des conditions mésoclimatiques intermédiaires (ni extrêmement froides et exposées, ni extrêmement chaudes et étouffées) pour avoir l'avantage compétitif dans la végétation des laurentides québécoises. Cependant si l'aménagiste ne connaît pas la répartition géographique des sites qui possèdent ces caractéristiques, comment peut-il choisir les zones où la priorité devrait être accordée à l'érable à sucre dans l'établissement des principes de gestion de la forêt?

L'aménagement étant également une opération qui va guider l'évolution future de la forêt, il est essentiel de connaître les variations spatiales du dynamisme de la végétation forestière (comportement évolutif progressif ou régressif). Même de nos jours, très peu d'études écologiques liées à des projets d'aménagement forestier

fournissent aux gestionnaires de l'information, d'une véritable valeur pratique (DANSEREAU 1976).

C'est sur des problèmes de ce genre que se penche cette thèse. Son objectif principal est justement de tenter de formuler une approche différente aux études d'aménagement forestier qui permettrait ou faciliterait l'acquisition d'un type d'information scientifique ayant une valeur pratique réelle. Deux conditions sont essentielles pour aboutir à un tel type d'information. Il faut d'abord que les thèmes étudiés représentent des facteurs sur lesquels il est possible d'agir; par exemple, un recouvrement forestier peut être modifié, une altitude pas. Il faut en plus que ces thèmes soient étudiés de façon spatiale; que leurs variations dans l'espace soient connues.

Etant fondée sur une expérience d'aménagement forestier en pays méditerranéen, (forêts de Cèdre du Moyen-Atlas occidental au Maroc), l'évaluation que constitue cette thèse sera valable, en général, pour l'ensemble de cette zone. Dans cette tradition, l'inventaire forestier pratiqué sur le terrain, forme une partie importante des travaux préparatoires à l'aménagement.

Bien des aspects de cette critique s'appliquent égale-

ment aux aménagements forestiers nord-américains. Là, l'immensité du territoire a jusqu'à nos jours favorisé l'utilisation de techniques d'inventaire basées sur la photo-interprétation plutôt que sur les travaux de terrain. Cette tendance s'atténue quelque peu aujourd'hui alors que l'on prend conscience de l'importance d'aménagements plus détaillés de la forêt; à des échelles plus grandes que celles qui furent généralement utilisées historiquement. L'adaptation que nécessite un tel changement d'approche ne sera peut-être pas facile, pour des raisons que P. Dansereau a bien reconnues. Il écrit dans le premier rapport de la série EZAIM (DANSEREAU 1976):

"On assiste aujourd'hui au Canada à une renaissance des inventaires. Le discrédit relatif, au cours des années cinquante et soixante, de la taxonomie comme science, et des travaux de terrain comme méthode, aura privé toute une génération universitaire de compétences adéquates dans plusieurs domaines des sciences naturelles. La soi-disant crise de l'environnement (1962 - ?), ou plutôt la prise de conscience de cette crise (1965 - ?), aura eu comme effet de révéler cette carence, de stimuler de nouveaux travaux et de faire de nouvelles demandes aux centres d'enseignement et de recherche."

D'autres canadiens, notamment des forestiers, sont beaucoup plus sévères dans leurs accusations envers les pratiques forestières nord-américaines. S. Manley, généticien forestier, directeur des opérations au Département de l'agriculture et des forêts de l'Ile du Prince-Edouard, l'un de ceux dont l'influence et le travail sont des plus

marquants, déclare:

"Foresters in North America are not trained to grow trees, they are trained to mine forests. They learn how to build the road and how to extract the wood in the most efficient way possible so that they never run out. Forestry students in Europe learn that whatever is ecologically incorrect will never be economically sound. A forester in the traditional sense, is someone who not only harvests the forest, he replaces it and he tends it. He sticks around to make sure that it grows in proper mix." (MANLEY in LEES 1978)

Un autre problème, d'importance générale dans toutes les zones arides et semi-arides, a fait l'objet de discussions lors des travaux au MAROC et est relevé dans cette thèse (cf. section 1.2. de la bibliographie), Il s'agit de l'aridification. En effet, l'analyse du comportement de la végétation naturelle ou influencée par l'homme, devrait permettre de comprendre, de localiser et de combattre ce désastreux phénomène dynamique (UNESCO 1975, LeHOUEOU 1976, HARE 1977, U.N. 1977). On reviendra sur ce point important plus tard (sections 1.1.2. et 2.1.2. de la thèse).

Il était prévu, lors de la présentation du sujet, que la thèse porterait sur l'analyse de l'efficacité informationnelle de différents types d'organisation des études précédant l'aménagement d'une forêt. La mesure des quantités d'information circulant entre les différents secteurs et étapes de l'aménagement devrait, dans cette optique, être un aspect majeur. Depuis, tout en gardant le même thème,

il nous est apparu beaucoup plus profitable de mettre l'emphase sur l'utilité ou la valeur pratique, pour l'aménagement de la forêt, de l'information écologique que différents types d'organisation nous permettent de capter. La qualité pratique de l'information écologique plutôt que sa quantité, fera donc l'objet de l'évaluation que se veut être cette thèse. Pour y arriver nous montrerons d'abord l'utilité pratique de l'information écologique acquise pendant l'exécution du contrat marocain. Nous verrons ensuite comment un différent type d'organisation des études aurait permis d'aboutir à des résultats encore plus intéressants. Pour chacune de ces deux alternatives nous discuterons des principaux thèmes ayant un intérêt pratique majeur. Souvent ces thèmes seront illustrés par des exemples tirés de notre recherche contractuelle. Une connaissance des résultats de cette recherche aiderait donc le lecteur à mieux comprendre cette thèse (cf. les rapports sur l'Analyse des Communautés Végétales et le rapport de Synthèse Ecologique, surtout, section 1.2. de la bibliographie).

Une certaine analogie peut être faite entre cette thèse et une thèse plus traditionnelle. Une telle thèse comprendrait les étapes suivantes: définition du problème, exposé de la méthodologie utilisée pour résoudre le problème, les données recueillies, analyse des données et critique des

résultats et finalement souvent, une proposition méthodologique nouvelle pour résoudre des problèmes similaires, basée sur l'expérience acquise. Dans notre cas le problème consiste à évaluer l'utilité pratique de l'information que l'écologiste peut apporter aux gestionnaires des ressources forestières. Pour y arriver nous verrons à partir d'une expérience réelle, qui constitue en l'occurrence nos données de base, ce qu'il a été possible d'offrir aux aménagistes des cédraines marocaines. Nous mettrons en évidence les avantages et les désavantages de cette expérience. Enfin, nous proposerons des modifications à cette démarche qui assureraient une intégration plus efficace et complète de l'information écologique aux travaux d'aménagement forestier.

PARTIE I
L'EXPERIENCE MAROCAINE

DEMONSTRATION ET EVALUATION DE L'INTERET PRATIQUE DE
L'INFORMATION ACQUISE DANS L'ETUDE ECOLOGIQUE LIEE AU
PROJET D'AMENAGEMENT DES FORETS DU MOYEN-ATLAS OCCI-
DENTAL AU MAROC.

INTRODUCTION:

Historiquement les projets d'aménagement forestier, au moins ceux de tradition européenne, ont presque toujours été accompagnés d'une étude écologique. Cependant, autant on sentait l'importance de cette contribution pour une saine gestion de la forêt, autant le rôle assigné au départ à l'étude écologique restait peu précis et l'on ne voyait guère quel genre d'information celle-ci pouvait offrir aux gestionnaires. Cette méconnaissance a souvent eu comme conséquence, une mauvaise formulation des demandes contractuelles adressées aux écologistes. Tel est encore le cas de nos jours.

La responsabilité revient peut-être aux écologistes eux-mêmes, qui n'ont pas toujours su adapter leurs méthodes de recherche à des objectifs pratiques d'aménagement. Dans cette première partie de la thèse nous verrons comment la

méthodologie de l'étude écologique des cédraies marocaines a, au moins partiellement, remédier à ce problème. Pour réaliser cette évaluation, les deux grandes parties de l'étude écologique (Analyse des Communautés Végétales et Analyse des Conditions Spatiales de la Régénération du Cèdre) seront traitées séparément. Pour chacune, nous analyserons la portée pratique générale (applicable à d'autres cas) des principaux thèmes qui sont apparus lors de la synthèse de leurs résultats.

Description générale de la zone d'étude (cf. CARTE 1 en ANNEXE II p.12 et CARTES 5 et 6 en ANNEXE IV).

Une courte description de la région étudiée donnera au lecteur un cadre de référence dans lequel situer les thèmes dont on discutera dans la thèse.

Géomorphologiquement le Moyen-Atlas occidental est composé de deux grandes régions. Au nord-ouest (ouest de l'oued SROU), les causses calcaires et dolomitiques dominent, formant un grand plateau exposé vers l'ouest aux masses d'air humide venant de l'Atlantique (le causse moyen-atlassique). Au sud-est une zone de grands plissements (Moyen-Atlas plissé), où des intrusions de roches ignées ont assez fréquemment percé les couches sédimentaires, domine la vallée de la MOULOUIYA. La tendance climatique générale, dans ce contexte méditerranéen humide, est donc

vers un gradient ouest - humide (océanique), est - plus aride (continental). Les choses ne sont toutefois pas aussi simples puisque des mécanismes assez complexes interviennent dans la création des climats au niveau des sous-régions (cf. rapports de l'étude écologique, section 1.2. de la bibliographie).

Du point de vue socio-économique, le Moyen-Atlas constitue une des zones forestières les plus importantes du MAROC. Ses forêts naturelles de Cèdre et de Chêne vert sont d'une grande importance économique, aussi bien au niveau national que régional. En outre, leur richesse végétale supporte depuis longtemps le mode de vie des tribues berbères qui y transhumant en été.

Malheureusement plusieurs problèmes menacent actuellement la continuité de ces forêts. En effet, à un problème naturel, le manque de régénération du Cèdre (vraisemblablement dû à des changements climatiques), s'ajoutent plusieurs problèmes découlant de l'intégration récente de cette région dans le courant de la civilisation occidentale. Les changements dans le système de valeurs des gens, accompagnant cette transition socio-culturelle, posent probablement les problèmes les plus graves et les plus difficiles à résoudre. Ils ne relèvent cependant pas de notre domaine et nous n'en parlerons pas. Parmi les problèmes actuels plus concrets

mentionnons: une demande de bois d'oeuvre toujours plus grande et pour satisfaire des marchés de plus en plus lointains, un accroissement de la population régionale sédentaire et nomade (progrès médicaux) qui entraîne une plus importante cueillette de bois de chauffage et une augmentation du nombre et de la taille des troupeaux. Ce dernier constat est particulièrement important puisqu'une augmentation des populations de moutons et surtout de chèvres constitue une menace additionnelle pour les jeunes plants de Cèdre, en plus d'engendrer une détérioration générale du tapis herbacé, avec toutes les conséquences que cela peut avoir.

C'est à ces problèmes qu'a dû s'attaquer prioritairement l'étude écologique. Un bref aperçu du cadre d'organisation dans lequel s'insérait cette étude et de la méthodologie qu'elle utilisait s'avère nécessaire à la compréhension de ce qui suit et apparaît en annexe (cf. ANNEXES I, II et III).

1.1. ANALYSE DES COMMUNAUTES VEGETALES

Introduction:

L'objectif de ce chapitre est de montrer que l'étude écologique des communautés végétales, dont l'intérêt semblait surtout d'ordre théorique, a donné des résultats d'une valeur pratique potentiellement importante. En effet, comme il est mentionné en annexe (cf. ANNEXE I) cette étude entreprise pour des raisons de pure convention contractuelle, ne semblait pas, aux yeux des demandeurs, promettre des résultats tangibles au niveau concret de l'aménagement.

Il y a là un point fondamental, s'est-on suffisamment préoccupé de savoir ce qu'une bonne étude typologique des communautés végétales pouvait apporter concrètement à l'aménagement d'une forêt? Nous essayerons de montrer ici qu'une telle étude peut potentiellement apporter beaucoup sur le plan pratique, et même qu'elle constitue un élément essentiel à l'aménagement. Cependant pour que ce plein potentiel soit réalisé l'information obtenue dans l'étude des communautés doit être spatialisée; c'est à dire, poussée jusqu'au stade de la cartographie.

Une telle étude devrait donc être vue comme le premier

pas d'une démarche qui permettrait, à partir des critères de définition des types de communautés végétales, des types de structures forestières, des types de régénération, etc., de procéder à leur inventaire spatiale et à la réalisation de cartes.

Comme tout projet d'aménagement, celui-ci prévoyait un inventaire des ressources forestières (cf. ANNEXE I). Il eu donc été intéressant de maximiser son apport d'information en incluant aux objectifs des forestiers, l'acquisition d'informations qui auraient permis de définir les types de communautés dans l'espace, et par conséquent de compléter l'étude écologique. Malheureusement ces deux parties des travaux (étude écologique et inventaire forestier) furent réalisées en même temps. Il fut donc impossible, pendant l'inventaire, de prendre avantage des résultats de l'étude écologique. Nous reviendrons sur ce problème tout au long de la thèse, au fur et à mesure que nous amasserons des preuves de son importance et que nous y proposerons des solutions.

Nous verrons d'abord quelques thèmes dont l'importance a été révélée par l'analyse des types de communautés végétales et qui sont, potentiellement, d'une grande valeur pratique. Dans la deuxième partie de cette thèse, nous verrons comment ce potentiel aurait pu être plus avantageusement utilisé.

1.1.1. La notion de diversité d'une structure forestière et son intérêt pratique:

Définition:

Définissons d'abord la notion de structure de la végétation d'une forêt. Selon le Centre Phytosociologique et Ecologique de Montpellier (C.E.P.E. 1968): "la structure de la végétation est la répartition spatiale des individus végétaux de la station". P. Dansereau ajouterait à cette définition que le concept de structure doit aussi intégrer explicitement les notions de densité et de stratification de la végétation. Une meilleure définition serait peut-être alors: la répartition horizontale (spatiale) et verticale (dans les différentes strates) des individus de la station.

Importance des études de structure de la végétation:

Depuis longtemps les écologistes (phytosociologues surtout) ont reconnu l'importance du rôle de la structure dans l'évolution de la forêt. Plusieurs ont même proposé des systèmes de classification basés uniquement sur la structure (TANSLEY and CHIPP 1928, RAUNKIAER 1934, CHAMPION 1936, RICHARDS, TANSLEY and WATT 1940, BEARD 1944, GILLMAN 1949, KUCHLER 1949). Plus récemment P. Dansereau a passé en revue toutes ces approches et a proposé lui-même, un

nouveau système d'étude de la végétation fondé sur la codification de plusieurs aspects de la structure (DANSEREAU 1951). Ce système peut aussi servir à classifier les communautés végétales. R.H. Whittaker (WHITTAKER 1973) a lui aussi fait la synthèse des approches structurales (ou physiognomiques) à l'étude de la végétation et a résumé brièvement la situation. Selon lui les approches proposées jusqu'à date sont: soit simples et assez pratiques au niveau de la cartographie de la végétation à petite échelle (sur de très grandes surfaces), soit très complexes, comme celle de Dansereau, mais applicable à des études détaillées de la végétation (au niveau d'une station forestière, par exemple). Dans ce dernier cas cependant, le temps requis pour étudier la structure de la végétation permettrait selon Whittaker, de faire l'inventaire floristique et de passer à une méthode de classification basée sur la composition floristique. Ceci aboutirait, selon cet auteur, à des résultats beaucoup plus intéressants. On a, depuis les efforts de P. Dansereau, eu tendance à négliger les aspects structuraux de la végétation au profit de d'autres facteurs, écologiques et floristiques. De notre côté nous pensons, qu'aucune de ces positions extrêmes n'est satisfaisante et que l'on devrait probablement, après une classification floristique, accorder plus d'importance à l'étude de la structure des types établis. D'ailleurs R.H. Whittaker également, préconise de marier les deux approches mais par une méthode

différente. Après avoir classé la végétation sur des critères floristiques, il suggère de regrouper les unités floristiques obtenues en unités structurales si leurs structures sont similaires (WHITTAKER 1973).

Il y a donc, encore aujourd'hui, confusion sur la place des analyses de structure dans les études de végétation¹. Pourtant les relations entre la structure et l'évolution ou le maintien des communautés végétales n'ont jamais été aussi bien reconnues (SUKACHEV and DYLLIS 1968, ODUM 1971, WHITTAKER 1973, etc...). On sait par exemple, que chaque strate d'une communauté a un comportement particulier par rapport à plusieurs facteurs (une capacité spécifique de capter les minéraux et l'énergie disponible, des interactions spécifiques avec la lumière, l'eau et le sol, etc...), qui font que chacune diffère non seulement par sa localisation verticale ou par sa morphologie, mais aussi en tant que

¹ Ce problème serait peut-être à moitié résolu si l'on possédait une méthode de relevé plus efficace servant à décrire la structure de la végétation. Un indice de diversité de la structure de la végétation pourrait être développé, qui incorporerait (peut-être par sommation) un indice de diversité verticale (d'après le nombre de strates), un indice de diversité horizontale (d'après les variations de la structure dans l'espace, cf. PIELOU 1975), et un indice de diversité floristique basé sur un relevé floristique (qui refléterait certains aspects de la compétition ou du partage des ressources de l'écosystème).

système d'échange de matière et d'énergie. En plus, les différentes strates d'une communauté sont toujours liées entre elles par des relations et des interdépendances qui sont en évolution continuelle. Du point de vue écologique ces relations spécifiques à chaque strate et ces échanges entre strates sont très importants car ils nous permettent de déceler certains aspects du métabolisme d'une communauté végétale. On reviendra sur ces problèmes dans la prochaine section de la thèse.

Il existe aussi des phénomènes de ce genre sur le plan horizontal, dépendant par exemple, du type de dispersion des différentes espèces dans la communauté. Différents types de dispersion (dispersion uniforme, dispersion par taches, etc...) peuvent résulter de différents types de relations entre les espèces: compétition, symbiose, parasitisme, etc... Des considérations de ce genre sont à la base du raisonnement de V. Sukachev lorsqu'il dit:

"Structural features of a forest phytocoenose may exert the strongest and most direct influence on competition between plants and the mechanism of interactions among them in a forest biogeocoenose." (SUKACHEV and DYLLIS 1968)

Importance d'une structure végétale diversifiée :

La diversité, comme synonyme de bon fonctionnement, de stabilité, de santé, d'utilisation optimale des ressources,

etc..., constitue peut-être la plus fondamentale des lois de l'écologie (ODUM 1971, PIELOU 1975, ect...). Pourtant rares sont les projets d'aménagement, forestiers ou autres, qui s'en sont laissés inspirer.

En écologie végétale ce principe est d'une importance primordiale. Les milieux naturels faciles (zone tempérée et tropicale humide) offrent certainement de plus grandes chances de diversification que les milieux plus rigoureux (zones arides, semi-arides ou froides). Quel que soit le milieu cependant, les types de végétation les plus diversifiés (floristiquement et structurellement) y sont toujours les plus bienvenants, les plus résistants et ainsi les plus stables, les meilleurs consommateurs de l'énergie disponible mais aussi les meilleurs recycleurs de cette énergie (ODUM 1971, BRYSON and MURRAY 1977, HARE 1977).

Une forêt dont la structure est diversifiée crée son propre micro- et meso-climat, ses propres conditions édaphiques, hydriques, etc... qui lui permettent de tempérer à l'intérieur de certaines limites, les fluctuations du milieu physique environnant. Ce fait revêt une importance particulière dans les zones arides et semi-arides du globe. Là, où depuis des millénaires la végétation se spécialise dans la lutte contre la sécheresse et les températures élevées, la diversité de la structure végétale (forestière

ou autre) semble constituer l'unique défense du milieu vivant contre les conditions extrêmement rudes (très variables) du milieu physique. Lorsque la structure végétale d'un site est simplifiée ou qu'elle est complètement éliminée, soit par des cataclysmes naturels (incendies, inondations, volcanisme, etc...), soit par l'homme (par d'innombrables types d'actions) il se déclenche un processus presque irréversible, celui de l'aridification (HARE 1977, LeHOUEIROU 1976, U.N. 1977). Nous examinerons de plus près ce processus désastreux dans la prochaine section de cette thèse car il entraîne avec lui une série de cercles vicieux qui ne peuvent être rompus que par des millénaires d'évolution ou des dépenses énormes d'énergie humaine et physique.

Les degrés de diversité structurale de certains types de végétation tirés de l'analyse des communautés végétales et leurs intérêts pratiques:

L'analyse des communautés végétales des cédraies du Moyen-Atlas marocain procure des exemples intéressants de différents types de structures forestières. Pour chacun, examinons: les causes de la structure actuelle (naturelles ou anthropiques), leurs conséquences ainsi que les interventions possibles dans chacun de ces cas. (Cf. ANNEXE II p. 10 et le rapport de l'Analyse des Communautés Végétales pour la description détaillée de ces

types de communautés, section 1.2. de la bibliographie.)

V05 - Cédraie d'AJDIR:

Ce type de communauté est le plus océanique de la série étant le plus exposé aux masses d'air humide venant de l'ouest. Il possède donc des conditions climatiques excellentes pour la croissance du Cèdre, mais aussi pour celle du Chêne vert. Ces deux espèces s'y développent en compétition intense. On y rencontre deux types majeurs de structure forestière, l'une assez naturelle, l'autre sans doute très artificielle est due à l'application de certains types de coupes.

Le premier type de structure est très diversifié, horizontalement, verticalement et floristiquement. Les deux essences principales, Cèdre et Chêne vert, y sont représentées par toutes leurs classes d'âge, condition qui résulte en une régénération continue de la forêt. Beaucoup d'autres espèces arborescentes et arbustives s'y développent assez abondamment: Chêne zéen, Erable de Montpellier, Genévrier oxycèdre, Alisier torminal, Houx, etc... Même l'action des bergers (nomades berbères), qui coupent ou ébranchent un ou deux arbres ici et là pour du bois de chauffage ou du fourrage pour leurs troupeaux, aident souvent à diversifier encore davantage la structure de cette forêt naturelle.

L'action de leurs troupeaux (chèvres et moutons), lorsque modérée, peut aussi agir dans ce sens. Cependant un surpâturage excessif, surtout par les chèvres, peut entraîner une simplification de la structure.

Quel type d'action peut-on adopter pour la conduite d'un tel type de peuplement? Le principe essentiel doit être de maintenir la diversité structurale. Ainsi on pourrait envisager des coupes d'éclaircissage d'assez faible volume mais répétées dans le temps, afin de favoriser la présence d'arbres de tout âge. Même si ce type d'action est certainement plus coûteux à court terme (non pas à long terme) c'est la seule option écologique valable dans de telles conditions.

A l'opposé, le deuxième type est caractérisé par la simplicité de la structure. Il n'est constitué que de deux strates, uniformes dans l'espace (horizontalement): la strate dominante, composée uniquement de Cèdres adultes (strate équiennne); et la strate inférieure constituée presque uniquement de cèpées de Chêne vert. Le nombre et la fréquence des essences secondaires sont très faibles. Ce type de structure est sans aucun doute dû à l'action des forestiers qui, voulant donner l'avantage compétitif au Cèdre (favoriser sa régénération), ont pratiqué la coupe à blanc du Chêne vert. Malheureusement, dans ces conditions

climatiques, le Chêne vert est très vigoureux et est favorisé par un avantage physiologique considérable par rapport au Cèdre: sa régénération par rejets de souches et non par la germination de graines. Les cépées de Chêne vert se sont donc développées rapidement et de façon si dense, qu'elles ont étouffé toute autre croissance, ne laissant que le Cèdre adulte dans la strate supérieure. Dans un tel peuplement, tous les Cèdres arriveront à maturité presque en même temps. Une coupe des arbres adultes risquerait donc d'éliminer le Cèdre du peuplement. Même si quelques adultes sont laissés comme semenciers la régénération complète de la forêt, si elle se réalisait, serait très lente.

Devant une telle situation la seule préoccupation du forestier doit être de tenter de redonner à la structure forestière une diversité suffisante. Cette diversité devrait permettre d'augmenter la diversité des conditions micro-climatiques, certaines favorables, certaines défavorables, permettant à un nombre minimum de plantules de Cèdre de se développer. Ici encore, les techniques à adopter devraient comporter des coupes d'éclaircissage du Cèdre et le dépressage du Chêne vert (laisser un tronc par cépée, par exemple). La répétition de ces opérations dans le temps (tout les cinq ans par exemple) est encore essentiel. Il est aussi important de noter, que même si on s'intéresse à la production du Cèdre, il est indispensable d'avoir des

Chênes verts de toutes tailles (de la plantule à la futaie) dans la structure forestière et non seulement des Cèdres de toutes tailles.

V06 - Cédraie dense et équiennne:

Situé dans un contexte meso-climatique légèrement moins humide et plus froid que le précédent (bioclimat sub-humide) et sur des substrats très favorables (dolérites et grès du Trias), ce type de communauté végétale demeure très favorable à la croissance du Cèdre tout en l'étant beaucoup moins pour le Chêne vert. De ce fait, le Cèdre y est presque complètement libéré de la compétition de cette espèce.

Autant le contexte dans lequel on rencontre ce type de communauté est favorable, autant sa structure est défavorable. En effet, cette dernière ne montre qu'une strate équiennne de Cèdre (exception faite du tapis herbacé lorsqu'il existe). Elle est certainement la moins diversifiée des structures rencontrées dans cette région. Sa flore est également très simple, ne comportant, outre le Cèdre, que quelques espèces de sous-bois ombragé et dont le sol est recouvert d'une forte couche de litière.

Les causes de l'existence d'un tel type de peuplement forestier, qu'elles soient naturelles ou dues à l'homme,

sont assurément de nature catastrophique, éliminant brutalement des étendues assez grandes de forêt (incendies, coupes à blanc, etc...). Etant donné les conditions très favorables du milieu, une régénération rapide et vigoureuse du Cèdre a fait immédiatement suite à ces catastrophes (au moins lorsque la graine était disponible et que le sol n'avait pas été complètement érodé).

Bien que certaines observations montrent que les attaques de la Chenille processionnaire sont assez intenses dans ce type de communauté, il n'y a encore peu de preuves indiquant qu'une structure aussi simple, dans ce contexte précis, rende le peuplement très vulnérable. Ailleurs cependant, cette relation entre une structure très simple et la vulnérabilité du peuplement a souvent été constatée. Par exemple au Canada, dans les provinces atlantiques, les peuplements équiennes de sapin, et secondairement ceux de sapin et d'épinette, sont les plus susceptibles à être dévastés par la tordeuse à bourgeon d'épinette.

La réponse du forestier devant une telle situation devrait, ici encore, tendre à assurer, par des coupes d'éclaircissage répétées, une diversification suffisante de la forêt pour réduire sa vulnérabilité et stabiliser sa production. Encore une fois le travail requis et le type de coupe permis, ne sont pas très profitables dans l'immédiat et le forestier a souvent tendance à agir autrement.

V03 - Cédraie du J'bel SAA:

Ce type de communauté végétale est caractérisé par un mesoclimat semi-aride continental froid. Il est peut-être le seul parmi les types mis en évidence dans cette analyse, qui soit vulnérable au phénomène de steppisation (régression végétale), qui peut être interprété comme une manifestation d'aridification. La Cédraie dégradée (V07) ou le Cèdre est en voie de disparition par manque de régénération est le produit intermédiaire de cette steppisation. Pour ce type de communauté le maintien de la structure forestière est la condition de sa survie. En fait cette Cédraie, pour des raisons que nous verrons dans la prochaine section, semble être en déséquilibre avec le climat régional devenu trop aride. Ce n'est qu'à l'intérieur du meso-climat que crée sa structure qu'elle réussit à se régénérer. Le rôle régulateur que joue cette structure en ce qui concerne l'humidité, les températures, les vents, les cycles des éléments minéraux et peut-être même par la réduction de l'albedo qu'elle impose (par rapport à un sol nu), semble permettre l'existence d'un meso-climat intérieur moins aride que le climat régional. En ce qui concerne l'effet exact d'une réduction de l'albedo (énergie solaire réfléchie par une surface) en zone aride ou semi-aride, les opinions diffèrent encore aujourd'hui. Plusieurs climatologues supportent l'hypothèse voulant qu'une réduction de l'albedo (recouvre-

ment végétal accru) entraîne un réchauffement de la surface et par conséquent: ascendance des masses d'air circulant au-dessus de cette surface, condensation de l'humidité qu'elles contiennent et finalement, formation d'orages (OVINGTON 1965, LeHOUEIROU 1976, HARE 1977, U.N. 1977, MULLER and OBERLANDER 1978). D'autres suggèrent cependant qu'au-dessus de ces zones de subsidence intertropicale l'atmosphère manque de stratification thermique. Dans ces conditions le réchauffement des masses d'air au-dessus d'une zone recouverte de végétation, leur permet d'absorber encore davantage d'humidité sans qu'il y ait déclenchement de mouvements de convection (BRYSON and MURRAY 1977). Espérons que l'intérêt récent accordé à toutes ces questions de fonctionnement du climat, aidera à lever les incertitudes qui caractérisent encore aujourd'hui ce domaine de la science.

Dans une situation telle que représente ce type de communauté, le forestier a tout intérêt à ne pas toucher à la forêt, si ce n'est que pour l'aider à maintenir sa diversification et à combattre, éventuellement, certains parasites. Il serait peut-être même dangereux de prélever le mort-bois d'une telle forêt, car il peut jouer un rôle important dans la diversification des micro-milieus au sol. Les parcelles forestières appartenant à ce type devraient donc faire l'objet d'une mise en conservation stricte. Ceci n'excluerait pas obligatoirement le pâturage. Celui-ci devrait cependant être réglementé de façon à assurer un passage

rapide des troupeaux au moment le plus propice de la saison.

Chacun des quatorze types de communautés végétales pourrait être passé en revue sous l'angle de sa structure. Cela n'ajouterait rien de plus à la discussion que des exemples supplémentaires. Nous passerons donc au thème suivant.

1.1.2. La notion de dynamisme d'un type de communauté végétale et son intérêt pratique:

Définition:

Le dynamisme d'un type de végétation se rapporte à son comportement dans le temps. Ce comportement peut être plus ou moins drastiquement modifié et souvent la succession amorcée doit repartir à zéro à la suite de phénomènes accidentels (naturels ou anthropiques) tels que des coupes à blanc étoc, des chablis systématiques, des incendies, etc... Ces causes exogènes interfèrent avec les éléments endogènes de l'évolution des communautés. Bien que le dynamisme de la végétation ne soit concerné que par les phénomènes endogènes, les causes des deux origines doivent être considérées ici.

Le dynamisme d'un type de végétation peut agir dans le sens d'une évolution progressive, ou d'une évolution régressive (CLEMENTS 1916, WHITTAKER 1953, BYKOV 1957, ALEKSANDROVA 1969, WOODWELL 1970, COLLIER et al. 1973, KNAPP 1974, STERN and ROCHE 1974, HARE 1977). L'évolution progressive de la végétation d'un site est caractérisée par une série de changements floristiques, structuraux ou autres, de la végétation du site menant à une meilleure adaptation de la végétation aux conditions physiques du site et à une

utilisation plus complète et efficace de ces conditions par la végétation. Une telle évolution de la végétation entraîne toujours une augmentation de sa diversité floristique et structurale, une augmentation de la phytomasse, ainsi qu'un meilleur contrôle des conditions physiques (édaphiques, climatiques, etc...) du milieu par la végétation elle-même. Cette végétation est donc de moins en moins affectée par les variations de l'environnement, qu'elles soient cycliques ou aléatoires.

Lorsqu'une évolution végétale progressive approche le maximum de diversité floristique et structurale et utilise le maximum d'énergie que le milieu physique peut supporter (à long terme), son rythme diminue; elle se stabilise par des processus internes (stockage de l'énergie, recyclage des éléments minéraux, etc...). Cet état assez stable de la végétation est souvent appelé le stade de l'homéostasie et la végétation qui le caractérise, le climax végétal d'un milieu. Une telle stabilité n'est cependant jamais complète à long terme. Pour les écologistes soviétiques, il ne s'agit que d'un ralentissement des processus évolutifs dû à l'établissement d'un équilibre entre les éléments biotiques et abiotiques d'un milieu. C'est pourquoi ces derniers n'emploient jamais le concept du climax. Sukachev et Dylis écrivent:

"Forest biogeocoenoses (i.e. forest ecosystem), like all others, are forever changing i.e., they

are dynamic because: their environment (immediate and remote) is constantly changing and interactions between their components (vegetation, fauna, soil, climate, etc...) never cease. There are not, and cannot be, biogeocoenoses that are permanent, whose development has stopped." (SUKACHEV and DYLLIS, 1968)

□
 Une évolution végétale régressive consiste en un phénomène inverse de ce qui vient d'être décrit et aboutirait à la formation d'un désert absolu au lieu d'une communauté climacique, si rien ne la tenait en échec. En outre, lors d'une évolution régressive, la composition floristique et la structure de la végétation sont simplifiées, la phytomasse diminue, et la végétation devient de plus en plus dépendante des conditions du milieu physique. Dans de telles conditions la variabilité des constituantes de l'environnement risque de perturber assez gravement la végétation. Les causes d'une évolution végétale régressive peuvent être naturelles (changement climatique) ou anthropique (pollution; surpâturage, utilisation inappropriée des sols, etc...). Bykov et Aleksandrova définissent et illustrent très clairement ces deux types d'évolution (BYKOV 1957, ALEKSANDROVA 1969, voir aussi WHITTAKER 1953, WOODWELL 1970, COLLIER and al. 1973 et KNAPP 1974).

Importance des études de dynamisme de la végétation:

L'importance en général, des études de dynamisme en éco-

logie végétale est aussi un fait depuis longtemps reconnu (CLEMENTS 1905, GREIG-SMITH 1964, DAUBENMIRE 1968, SUKACHEV and DYLLIS 1968, KERSHAW 1973, ODUM 1971, WHITTAKER 1973, etc...). Souvent ces études prenaient la forme d'analyses des successions végétales, relevant les changements de la végétation d'un site à travers le temps. Ce type d'analyse est sûrement idéal pour déceler les mécanismes dynamiques d'un type de communauté végétale. Malheureusement, il est rare que des études d'écologie végétale intégrées à des projets d'aménagement forestier disposent de plus d'une ou deux années pour effectuer le travail. On doit donc, dans ces études, recourir à d'autres méthodes pour découvrir l'évolution passée et future des différents types de végétation. Parmi ces méthodes il y a: les analyses de structure dont on vient de parler, l'étude des ressemblances floristiques ou écologiques entre les types de communautés, l'examen de la distribution géographique de ces types et l'analyse de certains types de gradients dont les analyses chrono-spatiales sont un exemple, etc...(WHITTAKER 1953, 1967 et 1973, DAUBENMIRE 1968, COLLIER and al. 1973 et KERSHAW 1973).

Comme c'était le cas pour les analyses de la structure végétale, la connaissance du dynamisme de la végétation revêt un caractère impératif dans les zones arides et semi-arides. Dans ces zones en effet, la variabilité du climat

accroît, avec l'aide de l'action humaine, la probabilité d'évolutions végétales régressives. Depuis la sécheresse au Sahel (1968 - 1973) beaucoup d'écologistes et de climatologues se sont intéressés aux processus de désertification, où le dynamisme régressif de la végétation est, de loin, un des éléments les plus importants. Aussi la conférence des Nations-Unies qui a eu lieu à Nairobi en août-septembre 1977, avait-elle comme thème l'étude de ce phénomène (BRYSON and MURRAY 1977, HARE 1977, U.N. 1977). Beaucoup de progrès a donc été réalisé récemment vers une meilleure compréhension du processus de désertification, de ses causes, naturelles ou anthropiques et de ses conséquences (sur le milieu naturel et sur la société humaine). Plusieurs types de solutions ont été proposées et essayées, dans le but de freiner ce processus et de reconquérir les espaces désertifiés.

Comme les exemples donnés dans la section précédente le font remarquer, la zone que nous avons la charge d'étudier renfermait une assez grande étendue de types climatiques; du méditerranéen humide (Cédraie d'AJDIR) au méditerranéen semi-aride (Cédraie du J'bel SAA et Iliçaie des Ait OUFELLA). Plusieurs des types de communautés végétales retenus dans l'analyse sont donc potentiellement sensibles à l'aridification. La mise en évidence du phénomène et la suggestion d'actions de ralentissement ou de correction que nous proposons peuvent donc être d'un

intérêt général pour les études écologiques réalisées dans ces zones climatiques et auxquelles de courtes limites de temps sont imposées.

Il faudrait peut-être noter ici, que malgré les définitions données, il peut facilement y avoir confusion dans l'utilisation des notions de structure et de dynamisme végétal. Le fait que ces deux notions, fondamentalement très différentes, fournissent toutes les deux des indications sur l'évolution future de la végétation, peut porter à confusion. D'autant plus que dans une étude telle que celle-ci, où le temps prévu ne permet pas la réalisation d'une étude de successions végétales, on doit se servir, parmi d'autres critères, de la notion de structure pour déterminer le dynamisme d'un type de communauté. Nous pensons cependant qu'il est important d'analyser ces deux aspects de la végétation séparément parce que ni la notion de structure, ni celle de dynamisme n'inclut totalement l'autre. Traiter l'une comme un élément de l'autre entraînerait donc davantage de confusion et une perte d'information.

Voyons maintenant quelques exemples de communautés forestières avec des dynamismes différents et comment la connaissance de ces dynamismes peut servir à la formulation d'actions d'aménagement susceptibles d'améliorer leur état

(état sanitaire et production améliorée, etc...).

Il peut être intéressant de faire ressortir une différence fondamentale dans le dynamisme végétal d'une région telle que le Moyen-Atlas au MAROC et celui d'une région dont le climat est plus tempéré, le nord-est des Etats-Unis, par exemple. Le Moyen-Atlas marocain constitue un milieu forestier génétiquement pauvre. Deux espèces arborescentes seulement sont d'une importance significative: le Cèdre et le Chêne vert. Dans ces conditions le dynamisme de la forêt ne provient que de la régénération de ces deux espèces climaciques. On ne peut donc pas parler de véritable succession forestière. Dans les forêts caducifoliées de l'Amérique du Nord, par contre, plusieurs sères représentées par des espèces arborescentes, précèdent le climax végétal. Sur les terres agricoles abandonnées, par exemple, l'on passe successivement des sères caractérisées par des espèces telles que l'aulne, le peuplier faux-tremble, les bouleaux, les épinettes et le sapin pour arriver à un climax contenant de la pruche, du bouleau jaune, du frêne, du chêne et des pins (blancs ou rouges). La richesse génétique de ces deux milieux n'est évidemment pas comparable et elle est vraisemblablement le reflèt de leurs différents héritages climatiques.

Les dynamismes de certains types de communautés végétales et leurs intérêts pratiques:

Six types de communautés végétales retenus dans la classification seront examinés dans cette perspective dynamique. Les deux premiers sont des exemples d'évolutions régressives ou potentiellement régressives. Le troisième est un exemple d'évolution interrompue ou tronquée (que ce soit naturellement ou artificiellement), tandis que le quatrième montre un exemple d'évolution progressive. Les deux derniers types de communautés offrent des exemples de relative stabilité. (Voir le rapport de l'Analyse des Communautés Végétales pour la description complète de ces types, section 1.2. de la bibliographie.)

V03 - Cédraie du J'bel SAA:

Bref aperçu du diagnostic phyto-écologique:

Plusieurs relations, mises en évidence dans l'analyse des communautés végétales, entre la Cédraie du J'bel SAA et d'autres types de communautés suggèrent très fortement qu'elle est en déséquilibre climatique et de ce fait, potentiellement dégradable. Par exemple, des affinités floristiques et écologiques très significatives ont été relevées, entre la Cédraie du J'bel SAA et la Cédraie dégradée, dans la classification et dans l'ordination des communautés végétales. Géographiquement, la Cédraie du J'bel SAA est presque complètement encerclée par la Cédraie dégradée.

Finale^{ment} certains critères floristiques rapprochent ce type de communauté des zones asylvatiques du J'bel SAA (plusieurs espèces sont communes à ces deux types de communautés). Il semble que ce processus de dégradation (aridification) soit actif en lisière des massifs forestiers de la Cédraie du J'bel SAA. En outre, en lisière des peuplements, la régénération est toujours très faible et les attaques de la Chenille processionnaire sont beaucoup plus fréquentes.

Si ce type de communauté végétale réussit à se régénérer à l'intérieur des peuplements comme nous l'avons mentionné ci-dessus, c'est sans doute parce que sa propre structure forestière opère les corrections meso et micro-climatiques nécessaires à la survie des germinations. L'ombrage, la couche de matière organique plus épaisse, la protection contre les vents desséchants, à l'intérieur des peuplements font que l'humidité y est beaucoup plus importante qu'en dehors des peuplements. Il faut noter que nous parlons ici d'une protection forestière à l'échelle de massifs entiers et non pas à l'échelle des plants de régénération individuels qui, selon notre explication, peuvent pousser soit à découvert (sous le soleil), soit à l'abri du couvert végétal. Dans le cas du J'bel SAA, une Cédraie d'altitude, la régénération se fait surtout à découvert (PUJOS 1964). Cependant, nos recherches ont démontré que, dans ce type de communauté, la régénération se fait souvent par taches de plants d'âges

différents. Dans un tel cas les plants les plus âgés s'installent probablement à découvert, tandis que les plus jeunes plants s'installent sous le couvert des plus anciens. Notons que souvent ces taches de jeunes Cèdres sont également dues ou favorisées par la symbiose qui existe entre le Cèdre et un champignon microscopique, le mycélium de micorhize, que l'on trouve sur les racines du Cèdre, dans ces hautes Cédraies continentales. Par cette symbiose, "le Cèdre attire le Cèdre", ce qui peut expliquer des taches de régénérations.

Voici la liste des éléments essentiels qui caractérisent le dynamisme de ce type de communauté. Il ne faudra cependant pas oublier dans l'établissement des actions d'aménagement, que ce dynamisme interne est continuellement remis en cause par des forces extérieures se manifestant surtout en lisière des peuplements.

- fructification abondante du Cèdre;
- germination très médiocre, ceci est peut-être dû à la compétition pour l'eau et les minéraux avec le tapis herbacé surtout;
- régénération du Cèdre quantitativement assez faible même si presque toutes les classes d'âge sont représentées;
- tapis herbacé très dense et assez continu;
- avec l'exception possible du Genévrier thurifère, dans quelques sites très particuliers (sur substrat de cal-

caire compacte et sous un micro-climat continental très froid et exposé au vent), aucune espèce secondaire ne fait compétition au Cèdre;

- la régénération du Cèdre se fait souvent par taches, ce fait semble être dû à la présence du mycélium de mycorhize vivant en symbiose avec les racines du Cèdre.

V07 - Cédraie dégradée.

Bref aperçu du diagnostic phyto-écologique:

Ce type de communauté végétale est le seul, parmi ceux qui ont été retenus dans la classification, qui présente un stade assez avancé d'évolution régressive. De toute évidence, sa structure forestière était beaucoup plus diversifiée et complète dans le passé qu'elle ne l'est maintenant. Plusieurs relations écologiques découvertes dans l'Analyse des Communautés Végétales nous portent à croire qu'il s'agit d'un stade de régression avancé de la Cédraie du J'bel SAA dont il était question ci-dessus (cf. rapport II de l'Analyse des Communautés Végétales: les Types de Communautés Végétales, section 1.2. de la Bibliographie).

Voici quelques éléments descriptifs essentiels, caractéristiques du dynamisme de ce type de communauté:

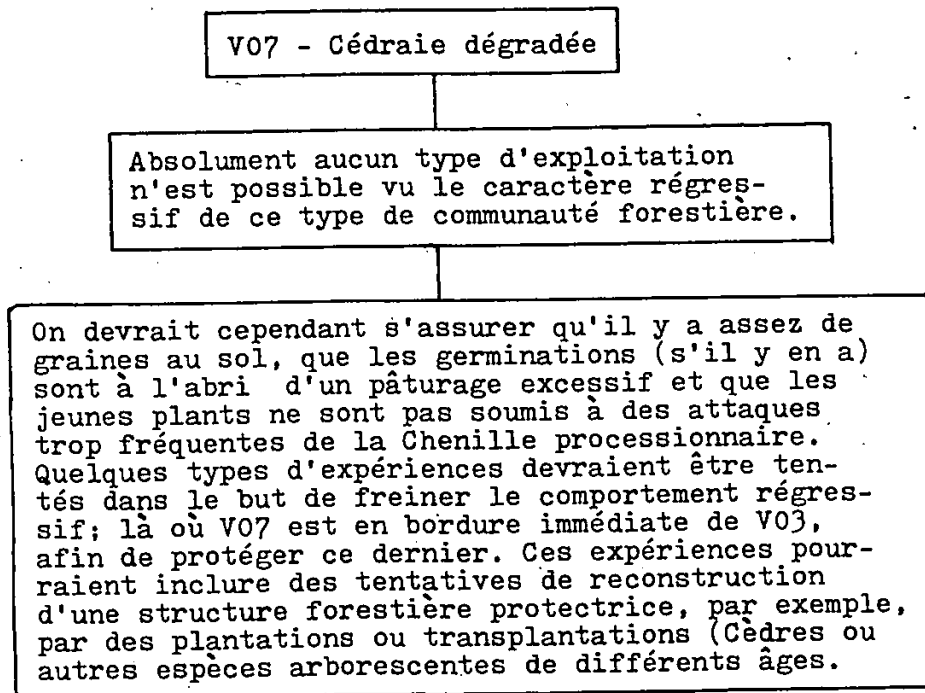
- le Cèdre adulte n'est présent que dans 50% des relevés;
- les autres classes d'âge du Cèdre en sont pratiquement absentes;
- il y a une tendance nette vers un recouvrement forestier nul;
- la germination et donc la régénération du Cèdre tendent également à être nuls;
- les quelques régénérations qui existent sont généra-

lement malvenantes;

- la fructification du Cèdre est faible ou nulle;
- la structure de la forêt, assez variable, est souvent très simple: une strate de vieux Cèdres, quelques Génévriers thurifères et le tapis herbacé;
- ce tapis herbacé est assez important (dense mais discontinu).

Intérêt pratique de ce diagnostic:

Un tel diagnostic impose à l'aménagiste, la mise en conservation stricte de ce type de communauté.



Les recommandations auxquelles aboutit la connaissance du dynamisme de cette communauté végétale sont évidemment limitées en raison de la dégradation irréversible déjà accusée. Ce diagnostic suggère cependant plusieurs thèmes à étudier plus profondément dans des études futures: études de successions végétales étalées sur de grandes étendues de temps, études de gradients phyto-écologiques (par exemple, d'un gradient allant des vallées asylvatiques jusqu'à

la Cédraie du J'bel SAA - V03, en passant par la Cédraie dégradée - V07), etc...

V06 - Cédraie dense et équiennne:

Bref aperçu du diagnostic phyto-écologique:

Voyons maintenant un cas où les conditions du milieu physique (climat, sol, roche-mère, etc...) sont très favorables à la croissance du Cèdre. En analysant la structure de ce type de communauté (cf. section 1.1.1.), nous avons vu que des événements historiques (naturels ou anthropiques) brutaux, peuvent dans un contexte favorable, diriger l'évolution de la forêt vers une simplification floristique et structurale extrême. Des événements similaires interviennent encore aujourd'hui et réussissent à raser le peuplement avant que celui-ci n'atteigne sa pleine maturité. Le dynamisme d'un tel type de communauté peut donc être perçu comme étant tronqué; n'atteignant jamais son plein potentiel. Voici brièvement comment cela peut se produire. Après les catastrophes historiques (coupes, incendies, etc...), l'espace libéré se régénère tout d'un coup, formant un peuplement jeune, unistrate. Lorsque ce peuplement arrive à peu près à maturité il est généralement abattu. Sa destruction peut cependant aussi être due à d'autres phénomènes: soit des incendies, ou encore des attaques parasitaires.

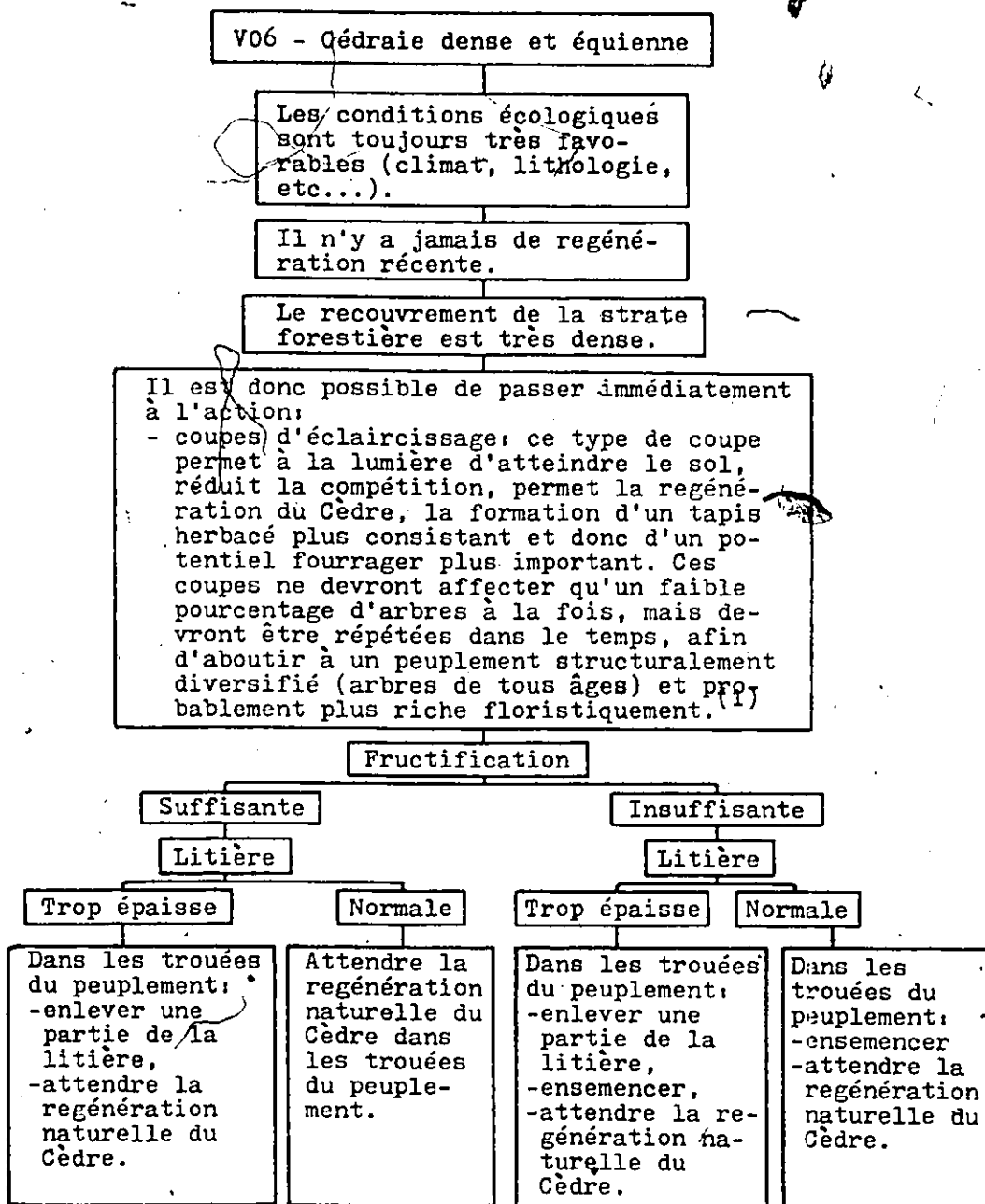
Sans interventions de ce genre, et grâce aux différences individuelles de longévité des Cèdres, on peut imaginer le retour progressif vers une structure plus diversifiée (arbres d'âges différents) et ainsi vers une dynamique plus équilibrée. Le forestier peut cependant accélérer ce processus en intervenant avec des méthodes sylvicoles appropriées. Il serait ainsi possible d'obtenir la diversité structurale voulue en moins d'une génération d'arbres.

Les éléments suivants du diagnostic fait à l'endroit de ce type de communauté, reflètent le mieux son dynamisme:

- ce type de communauté est assez rare et se présente toujours de façon très localisée;
- le peuplement de Cèdre est pur, il n'y a pas d'essences secondaires importantes;
- ce peuplement est presque toujours d'âge moyen (jeunes adultes, adultes);
- sa flore est très pauvre, peu diversifiée;
- il n'y a jamais de régénération récente;
- la structure végétale est très simple, une strate forestière uniforme;
- le couvert de la strate forestière est très dense;
- la fructification du Cèdre est irrégulière;
- la germination du Cèdre est irrégulière;
- la couche de litière est très épaisse, souvent il y a germination des graines mais sans que les racines n'atteignent le sol minéral avant les sécheresses d'été.

Intérêt pratique de ce diagnostic:

Pour définir des actions, l'aménagiste devrait intégrer la connaissance des caractères principaux du dynamisme de ce type de communauté, de la manière suivante:



(1) Une citation de G. LONG est très appropriée ici:
 "Il est vrai que le 'management' des systèmes écologiques complexes implique des servitudes plus grandes pour le producteur. Mais la conservation de la qualité de la vie est à ce prix."
 (LONG 1975)

V09 - Iliçaie d'ITZER:

Bref aperçu du diagnostic phytéo-écologique:

Ce type de communauté forestière est l'un des rares types où le Cèdre gagne du terrain de façon notable. La mise en évidence des caractéristiques climatiques qui rendent la partie sud-ouest de la forêt d'ITZER si propice à l'avancée du Cèdre constitue un autre apport important de l'étude écologique liée à ce projet d'aménagement (cf. rapport sur les Conditions Ecologiques et Spatiales de la Régénération du Cèdre dans la Forêt d'ITZER, partie 1.2. de la bibliographie).

Les principaux éléments descriptifs permettant de déduire le dynamisme de l'Iliçaie d'ITZER dans les zones où le Cèdre est présent, sont les suivants:

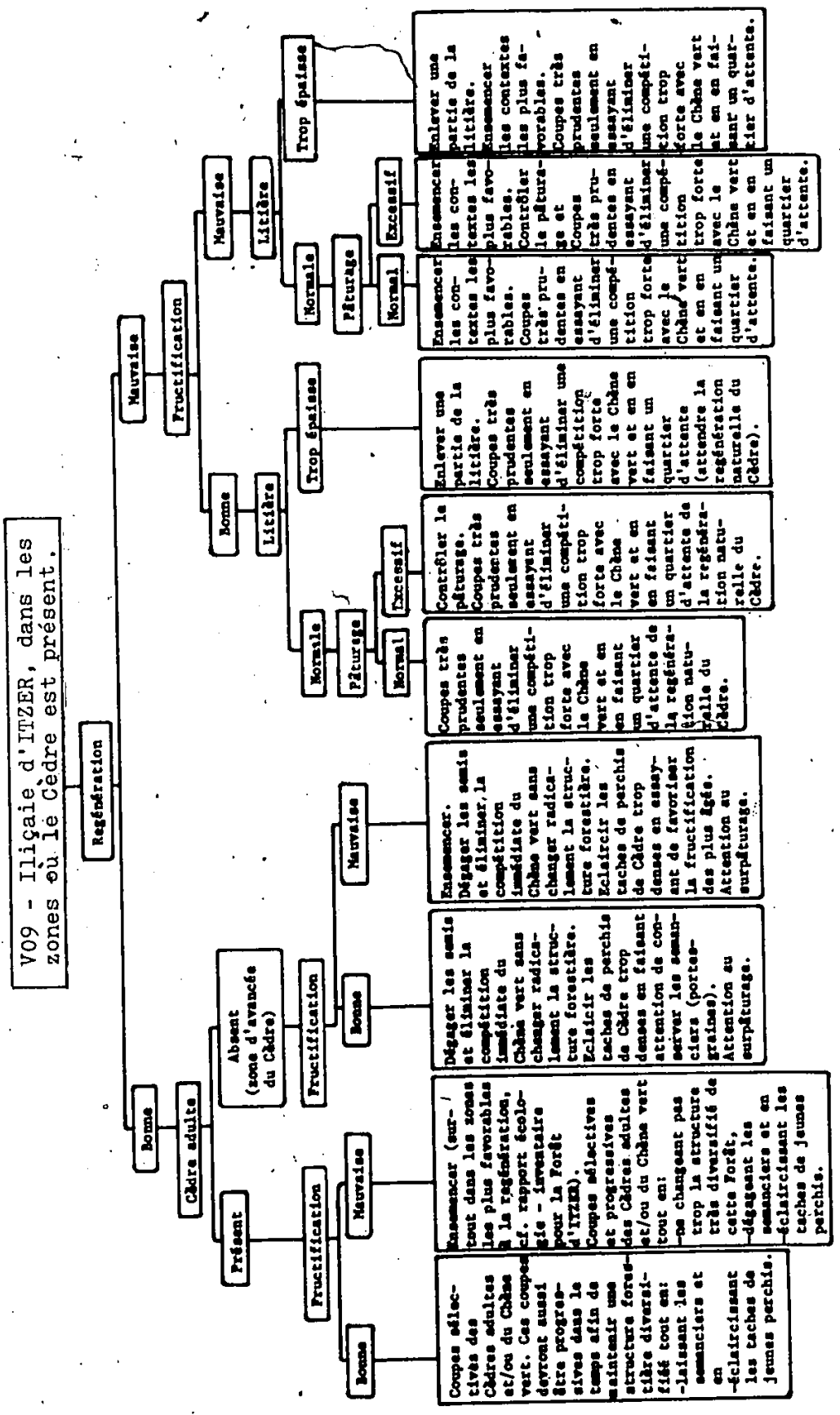
- un peuplement mixte de Cèdre, Chêne vert, Chêne zéen et Genévrier oxycèdre;
- une structure forestière diversifiée, multistrate, comportant: une strate supérieure de Cèdre au recouvrement faible, et une strate inférieure mixte et plus dense;
- une fructification du Cèdre assez médiocre surtout dans la zone d'avancée du Cèdre;
- une germination faible et irrégulière;
- une régénération allant de rare à abondante, mais tou-

jours multistrate;

- un dynamisme positif du Cèdre, plus de jeunes arbres que de vieux;
- un tapis herbacé très peu développé; plusieurs types de chamaéphytes sont cependant assez abondants (cistes, cytises, etc...).

Intérêt pratique de ce diagnostic:

Dans un contexte si diversifié la tâche de l'aménagiste est beaucoup plus complexe; il doit fonder ses actions sur l'intégration de plusieurs facteurs.



V01 - Cédraie basse de KERROUCHENE:

Bref aperçu du diagnostic phyto-écologique:

Ce type de communauté, situé dans une zone bio-climatique sub-humide, est caractérisé par une végétation très diversifiée. Son dynamisme lui permet, moyennant un apport sylvicole minimum, de se maintenir dans un état à peu près stable. En effet, il est à se demander si le recouvrement très dense de ce type de communauté permettrait au Cèdre de se régénérer complètement sans un effort d'éclaircissage des peuplements (éclaircissage du Chêne vert surtout).

Ce dynamisme rappelle beaucoup celui de la Cédraie d'AJDIR à l'état naturel (non-exploité) dont nous avons analysé la structure dans la section précédente (section 1.1.1.).

- Voici les principaux attributs de ce type de communauté:
- un peuplement mixte et dense où le Chêne vert est très vigoureux;
 - un recouvrement excessif rendant souvent la régénération difficile;
 - un sous-bois très bien développé et très dense (Genévrier oxycèdre, Houx, Chêne zéen, Chêne vert et Cèdre);
 - ces caractéristiques entraînent évidemment une structure forestière très diversifiée;

- une fructification du Cèdre, moyenne en général; parfois bonne;
- une régénération du Cèdre assez pauvre (rare et unistrate);
- un tapis herbacé très peu développé, ce qui est normal sous un couvert si dense;
- une litière très importante.

V02 - Cédraie moyenne sur grès:

Bref aperçu du diagnostic phyto-écologique:

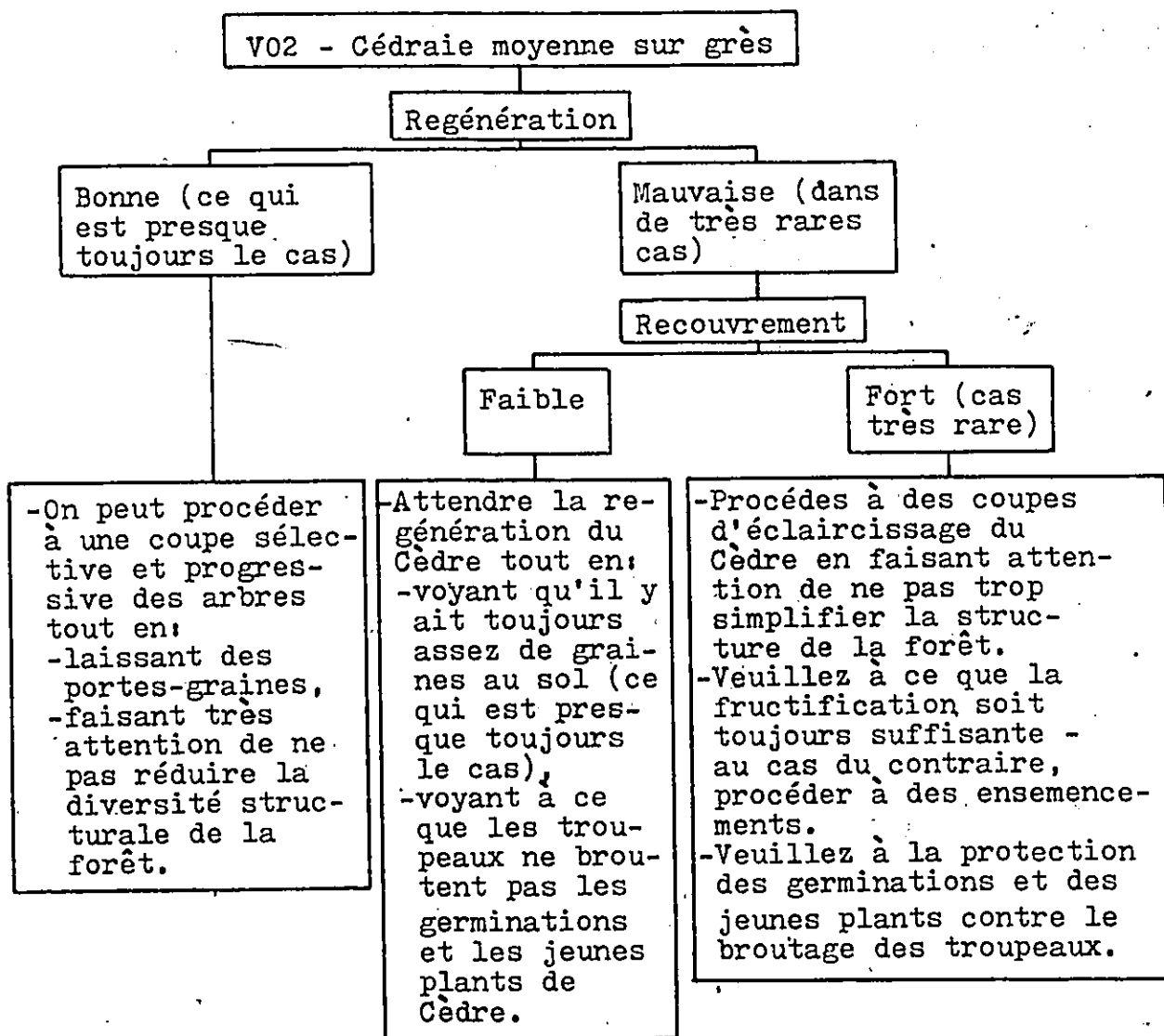
Le dernier exemple concerne le type de communauté qui a sans doute le comportement le plus équilibré et stable. Des Cèdres de tous âges traduisent un peuplement en renouvellement continu. Dans un climat et sur un type de substrat (grès de TALARINE) qui lui donnent un net avantage compétitif sur les autres espèces, le Cèdre est pratiquement la seule espèce arborescente.

Les principaux traits du comportement de ce type de communauté sont les suivants:

- toutes les classes d'âge du Cèdre sont représentées mais sont très inégalement réparties dans l'espace;
- une stratification verticale assez peu développée; la structure forestière est néanmoins très diversifiée horizontalement dans l'espace à deux dimensions;
- les peuplements sont assez discontinus et aérés donnant l'allure d'une forêt parc;
- un recouvrement total faible (tendance vers la classe 0 à 20%);
- une fructification abondante;
- une germination abondante;
- une régénération abondante;
- un tapis herbacé très continu.

Intérêt pratique de ce diagnostic :

Doté d'un tel dynamisme ce type de communauté ne pose pas de problème grave à l'aménagiste. Il faut cependant que les coupes pratiquées dans ce peuplement soient bien réparties dans le temps, faute de quoi, l'évolution pourrait bien rapprocher ce type de V06 dont le dynamisme est nettement moins favorable. Ces deux types de communautés se développent dans des contextes écologiques très similaires.



Dans la Cédraie moyenne sur grès, le forestier doit aussi constamment surveiller: la fructification, les attaques de la Chenille processionnaire et surtout le pâturage des troupeaux qui y séjournent en été.

Conclusion:

Ces différents cas montrent assez clairement ce que la connaissance du dynamisme des types de communautés peut suggérer à l'aménagiste lors de l'établissement des règles d'exploitation et de culture de la forêt.

Il est à noter que certains des facteurs, qui interviennent dans les schémas de définition des actions ainsi que dans la description des types de communautés sont des facteurs sur lesquels le forestier ne peut pas agir directement. Il s'agit surtout des facteurs du milieu physique: pente, roche-mère, sols, etc... mais aussi de certains facteurs biotiques: attaques de la Chenille processionnaire et même la régénération. Tandis que les facteurs sur lesquels il peut agir servent surtout à définir les actions à entreprendre, ces derniers servent à localiser ces actions dans les sites où les chances de succès sont les plus élevées.

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous discuterons des conditions additionnelles que nécessite une application directe de cette connaissance au niveau pratique.

1.1.3. Relations complexes: types de communautés végétales - facteurs écologiques

L'intérêt pratique de la découverte de relations entre les types de communautés végétales et les facteurs écologiques (climatiques surtout):

Introduction:

L'analyse écologique des communautés végétales a donné un autre type de résultats pratiques. Ces résultats ont été acquis par le calcul de l'information mutuelle liant les types de communautés aux différents facteurs du milieu, par l'ordination des types de communautés et par la recherche des groupes écologiques¹.

Plusieurs relations simples entre communautés végétales et facteurs écologiques ont déjà été notées, dans les descriptions des types de communautés qui ont servi d'exemples aux deux sections précédentes. Nous avons vu que la connaissance de certaines de ces relations est d'une utilité pratique indéniable pour le gestionnaire, (quant il s'agit de facteurs

¹Groupe écologique: un ensemble d'espèces qui, en raison de leur comportement similaire vis à vis de certains facteurs de l'environnement, tendent à être distribuées de façon identique (DUVIGNEAUD 1946, ELLENBERG 1950 et 1952, WESTHOFF et Van Der MAAREL 1973).

explicatifs sur lesquels il peut agir).

Le type de relations dont il s'agit dans cette partie est plus complexe, faisant intervenir plusieurs facteurs à la fois. De telles relations sont très importantes surtout parce qu'elles nous permettent d'acquérir une vue globale des phénomènes dans l'ensemble de la région. La plupart des études d'écologie végétale ont pour objectif la découverte de ce type de relations entre la végétation et le milieu environnant (biotique et abiotique). Il s'agit donc d'un problème d'intérêt très général.

Nous donnerons deux exemples de ce type de relations. Le premier a été mis en évidence par les résultats de l'analyse des communautés végétales. Le deuxième, en outre, a été appuyé par les observations écologiques de l'inventaire forestier.

Exemples de l'intérêt pratique de la connaissance de ce type de relations complexes:

Le premier exemple intègre les aspects suivants: le meso-climat, le recouvrement forestier, la litière, le tapis herbacé et le potentiel pastoral.

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, la région

à l'étude est caractérisée par une gamme de climats assez diversifiés, allant du méditerranéen humide chaud au méditerranéen semi-aride froid d'altitude. Cette variation entraîne évidemment d'importantes différences dans l'aspect des grandes zones forestières.

La partie ouest de la région est constituée d'un grand causse assez découpé mais dont l'inclinaison générale est vers le sud-ouest (Causse d'AJDIR, Causse du SROU). Cette zone est exposée au flux des masses d'air océanique venant de l'ouest-nord-ouest, ce qui lui donne un caractère climatique humide. Des températures chaudes où moyennes accompagnent ce caractère humide selon l'altitude et l'exposition particulières du site.

Ce caractère climatique favorise évidemment le développement d'un couvert forestier très dense. Un couvert aussi dense a pour conséquences la formation d'une épaisse couche de litière au sol, et une interception presque totale de la lumière avant qu'elle atteigne le sol. A leur tour ces deux facteurs ne permettent pas le développement d'une strate herbacée. En raison de ce fait, ces forêts ne représentent qu'un potentiel fourrager très limité. Ce type de relations prévaut dans les communautés végétales de types: V05 -Cédraie d'AJDIR et V08 - Iliçaie d'AJDIR-KERROUCHENE surtout.

Au contraire les hauts massifs forestiers de la partie nord-est de cette région (J'bel SAA, J'bel KOUBBATE, J'bel HAYANE, et les plateaux du MIMEJADE et du TALHREMT) sont soumis à un climat continental froid d'altitude. Ce climat ne permet pas le développement d'un couvert forestier dense et continu (le taux d'accroissement dans ce contexte est très lent, chaque arbre nécessite une plus grande superficie pour son approvisionnement en eau, etc...) En retour, le peu de litière et la lumière abondante que reçoit le sol, permettent l'existence d'une strate herbacée très diversifiée, dense et continue (celle-ci peut même nuire à la régénération du Cèdre). La flore dont ce tapis herbacé est composé: des graminées et des légumineuses très appétibles, mais aussi des cistacées (Helianthème jaune) non comestibles, constitue un potentiel fourrager très important.

Entre ces deux situations extrêmes, un moyen terme existe avec les forêts du grand versant moulouyen d'ITZER où la continentalité est moins grande (surtout vers l'extrémité sud-ouest de cette forêt), mais où le climat n'est pas assez humide non plus, pour permettre un recouvrement forestier protégeant suffisamment le sol du rayonnement solaire. Il s'opère cependant dans cette zone, une substitution: à la place d'un tapis herbacé dense et continu, plusieurs espèces ligneuses (chamaephytes) se développent et représentent un potentiel fourrager qualitativement très important (armoïse, thym, etc...).

L'intérêt pratique de la compréhension de ces relations entre divers phénomènes réside dans le fait que le forestier intervenant sur n'importe quel de ces éléments peut prévoir le sens des réactions qui se produiront sur les autres éléments. Ainsi s'il propose des coupes dans la Cédraie d'AJDIR, il sait que la réduction du recouvrement que causera ces coupes, si maintenue à long terme, entraînera une augmentation de la valeur pastorale de la forêt (une diminution de la litière et une augmentation de la lumière au sol permettraient le développement d'un tapis herbacé).

Le deuxième de nos exemples concerne la mise en évidence d'un phénomène tout à fait différent: l'explication de la zone d'avancée du Cèdre dans la partie sud-ouest de la forêt d'ITZER. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus (section 1.1.2.), l'explication élaborée repose sur des évidences relevées aussi bien par les équipes de l'inventaire forestier que par l'équipe écologique elle-même.

Le comportement pionnier du Cèdre dans les peuplements de Chêne vert, dans cette partie du territoire, a été constaté par tous les chercheurs qui ont étudié la région avant nous. Cependant aucune explication claire n'avait été proposée. Le phénomène semblait d'autant plus surprenant que l'on croyait cette zone soumise à un climat continental chaud et aride, tel que sa localisation sur le grand versant moulouyen semblait l'indiquer.

Cette fausse interprétation du climat local a pu être levée grâce aux résultats de l'ordination floristique des types de communautés et par la réalisation des cartes de distribution des espèces indicatrices. Dans l'ordination floristique, les deux types de communauté qui font partie de cette zone d'avancée du Cèdre: la Cédraie d'ITZER (V04) et l'Iliçaie d'ITZER (V09), montraient des saturations sur le facteur humidité qui les situaient presque au même niveau que les types des zones sub-humides: la Cédraie basse de KERROUCHE (V01) et Cédraie moyenne sur grès (V02). Ce premier fait s'oppose donc clairement au caractère aride supposé de cette zone. En outre, les données de l'inventaire forestier ont montré la présence de plusieurs espèces clairement indicatrices de conditions humides (Chêne zéen, Erable de Montpellier, Frêne dimorphe, Pivoine, Houx, etc...). Leur présence, à l'intérieur et au pourtour de la zone d'avancée du Cèdre confirme donc clairement que les conditions climatiques ne sont pas continentales arides. L'existence de ce caractère climatique sub-humide ou atlantique atténué dans un contexte géographiquement continental s'explique sûrement par des phénomènes meso-climatiques tels qu'un effet de ceinture thermique sur ce grand versant moulouyen, comme le suggère, pour d'autres régions, l'étude récente de DELANNOY et LECOMPTE (1975). On peut aussi invoquer le patron de circulation des masses d'air océaniques au-dessus du relief moyen-atlasique. Ces masses d'air sembleraient emprunter la vallée de l'Oued SROU pour contourner les hauts reliefs et arriver

dans la partie sud-ouest du grand versant moulouyen sans avoir déversé toute leur charge d'humidité. Cet effet atlantique s'atténuerait assez rapidement le long de ce versant en allant vers le nord-est, en même temps que disparaît la zone d'avancée du Cèdre.

Ce caractère climatique chaud et assez humide n'est cependant pas uniquement propice au Cèdre; le Chêne vert s'y développe aussi avec assez de vigueur. Il est possible que le Cèdre trouve là des conditions d'humidité optimales, lui permettant de s'intégrer au peuplement de Chêne vert sans que l'une des deux espèces puisse totalement étouffer l'autre; l'humidité disponible n'est probablement pas suffisante pour que le Chêne vert atteigne sa pleine vigueur. Le succès du Cèdre dans cette zone est donc dû en partie aux conditions climatiques favorables mais aussi à la structure spatialement discontinue du peuplement de Chêne vert.

Une connaissance, au moins partielle des causes permettant au Cèdre d'envahir les peuplements de Chêne vert, apporte déjà des suggestions pratiques aux aménagistes. Ils savent, par exemple, qu'il serait inutile d'espérer une avancée du Cèdre, ou même de faire des plantations de Cèdre vers le nord-est de la zone d'extension actuelle, étant donné que les conditions climatiques s'y détériorent rapidement. Ils savent aussi que pour maintenir l'équilibre bioclimatique

qui permet cette avancée du Cèdre, il ne faudrait surtout pas commander des coupes à blanc, ni même des coupes totales du Chêne vert, au moins jusqu'à ce qu'il y ait beaucoup de Cèdres adultes. Ceci risquerait d'augmenter l'aridité au sol. Dans cette région, les jeunes plants de Cèdre s'installent souvent à l'ombre des Chênes verts (régénération sous couvert) et y passent leurs premières années dans des conditions plus fraîches qu'en plein soleil. Des coupes d'éclaircissage des cépées de Chêne vert (laisser un tronc par cépée, par exemple) pourraient cependant favoriser l'installation du Cèdre en diminuant le potentiel compétitif du Chêne vert.

Conclusion:

D'autres exemples de relations entre des facteurs écologiques ou entre des types de communautés végétales et ces facteurs pourraient être donnés (relations entre certains types de communautés, des types de meso-climats et des types de sols, par exemple). Ceux que nous avons décrits suffisent cependant pour démontrer leur utilité pratique potentielle. La découverte de ce type de relations nous aide surtout à synthétiser notre vue des variations des phénomènes à l'échelle de la région entière (variations d'humidité et du couvert forestier dense à l'inverse de celles du potentiel fourrager, par exemple). Nous reviendrons aussi sur ce thème dans la deuxième partie de cette thèse pour voir comment ce potentiel pratique pourrait être exploité au maximum.

Conclusion de la discussion sur l'intérêt pratique de
l'ensemble des résultats de l'analyse des communautés
végétales:

Nous venons de passer en revue, séparément, les trois principaux types de résultats de l'analyse des communautés végétales, qui présentent un intérêt pratique: les résultats concernant la structure forestière, les résultats concernant le dynamisme des phytocénoses et les résultats concernant les relations complexes entre les phytocénoses et les facteurs écologiques. Il existe aussi des relations évidentes entre ces différents thèmes. Nous l'avons déjà mentionné pour les deux premiers. Comment pourrait-il en être autrement si la végétation mature d'un site est le reflet de l'intégration de toutes les conditions écologiques de ce site, aussi bien physiques que biocénotiques. S'il est avantageux d'analyser ces types de résultats séparément afin de saisir le maximum de ce que chacun peut offrir, la plupart des interprétations et des hypothèses sont fondées sur la synthèse constante de ces trois thèmes et de bien d'autres. Réunis, ces trois thèmes nous offrent une base très solide à partir de laquelle on peut décrire les types de communautés végétales, connaître leurs comportements et ainsi être en mesure de faire des recommandations valables aux aménagistes. Par exemple, en ce qui concerne la Cédraie dense et équienne (V06), les effets d'un contexte très favorable (climat sub-humide d'altitude moyenne, roche-mère doléritique ou gréseuse) sont hypothéqués.

par un dynamisme qui aboutit à une structure forestière trop simple (dense et équiennne). Les recommandations sont alors évidentes; des actions visant la diversification de cette structure corrigeront cette évolution et feront que la forêt reflète davantage les conditions du milieu.

Il faudrait ajouter que c'est au travers de cette analyse des communautés végétales que peut être pleinement comprise l'importance majeure de la loi de la diversité, autant dans l'espace que dans le temps.

Rappelons cependant que, vu sa méthodologie et en particulier sa stratégie d'échantillonnage (cf. ANNEXE II) , la connaissance que nous apporte cette analyse n'est pas de nature spatiale. Pourquoi avons nous donc utilisé une telle méthodologie? Les raisons principales sont les suivantes:

- Premièrement, parce que dans la première phase d'une analyse des types de communautés il est normal et nécessaire de procéder ainsi. Pour avoir une vue générale satisfaisante des principaux types assez rapidement, il faut utiliser une stratégie d'échantillonnage stratifiée.
- Puis parce que personne n'a jamais considéré tous les apports potentiels d'une étude écologique pour l'aménagement d'une forêt; les meilleures méthodes à utiliser pour aboutir à des résultats réellement pratiques n'ont donc pas encore été clairement définies.

- Et finalement parce que ce n'est que maintenant, après avoir analysé toutes les informations qui peuvent être tirées d'une telle étude que nous sommes en mesure de proposer des étapes supplémentaires ou un nouveau type d'organisation des études. On peut même envisager un type d'organisation selon lequel tout l'édifice d'aménagement forestier pourrait reposer sur l'étude écologique des communautés végétales, particulièrement en ce qui a trait au parcellaire et aux règles de culture des parcelles (cf. ANNEXE I).

L'objet de la deuxième partie de cette thèse sera précisément de montrer comment toute l'information acquise dans l'Analyse des Communautés Végétales, aurait pu être spatialisée et ainsi, être directement appliquée à l'aménagement de ces forêts. Pour l'instant voyons ce que la deuxième partie de l'étude écologique, réalisée dans le cadre de ce contrat marocain, a apporté en tant qu'information écologique ayant une valeur pratique.

1.2. ANALYSE DES CONDITIONS ECOLOGIQUES ET SPATIALES DE LA REGENERATION DU CEDRE

Introduction:

Ce chapitre montrera l'utilité pratique des deux principaux types d'information qu'a apporté cette partie de l'étude écologique. La régénération du Cèdre est certainement le point le plus important de l'écologie de ces Forêts. Une importante partie de la Cédraie, surtout en haute altitude est en fait en voie de disparition par manque de régénération. Par contre, comme nous venons de le voir, nous assistons dans d'autres zones à une avancée du Cèdre, dans les peuplements de Chêne vert. En outre, il est vraisemblable qu'il s'agisse d'un processus de réajustement à la suite d'un changement climatique de longue durée.

Comme il est mentionné en annexe (cf. ANNEXE II), la cueillette des données de cette analyse était couplée aux travaux de terrain de l'inventaire forestier. Le plan d'échantillonnage systématique, dense dans l'espace, indispensable à l'inventaire assurait à cette étude écologique dès le départ, des résultats spatialisés et ainsi directement applicables à l'aménagement.

Passons immédiatement au premier type d'information que nous a donné cette analyse de la régénération du Cèdre.

1.2.1. Cartographie des variables relevées par l'inventaire

L'utilité pratique de la cartographie de certaines variables brutes relevées par l'inventaire forestier:

Lors des travaux de terrain de l'inventaire forestier, plusieurs variables écologiques simples mais importantes furent relevées (échantillonnage systématique selon une maille hexagonale, un relevé tout les 215 m. ; 10,000 relevés sur l'ensemble du territoire). Parmi les plus intéressantes notons:

- l'abondance de la régénération du Cèdre et son degré de stratification;
- l'abondance de la fructification du Cèdre;
- l'intensité des attaques de la Chenille processionnaire;
- la densité du couvert forestier;
- le meso-relief;
- diverses espèces indicatrices (cf. CARTES #1 et 2 en ANNEXE IV).

Il est peut-être évident que la cartographie de ces variables est d'une grande utilité pratique pour l'aménagiste, dans le choix de localisation des actions. Les cartes automatiques réalisées nous ont cependant apporté plus qu'une simple indication de localisation des actions, elles nous ont aussi aidés à comprendre certains phénomènes et ainsi à

formuler des actions mieux conçues (plus averties).

Un exemple de l'apport de ces cartes, pour la compréhension des phénomènes, a déjà été donné. Il s'agit de l'explication de la zone d'avancée du Cèdre dans la partie sud-ouest de la Forêt d'ITZER. Nous avons dit que les cartes de distribution des espèces indicatrices des milieux humides (et la carte de l'indice bio-climatique formé à partir de ces espèces) ont montré le caractère climatique assez humide de cette zone que tous croyaient continentale. Cette constatation nous a ensuite conduit à expliquer ce caractère humide par les hypothèses les plus probables dans l'état des connaissances actuelles. Les actions proposées découlent d'une part de la description de la forêt de cette zone (structure, flore, dynamisme, etc...) et d'autre part, de ces hypothèses. En outre, à la suite de ces hypothèses, on peut proposer la réalisation d'études plus détaillées du climat de cette zone particulière. Ces études devraient être basées sur l'analyse des successions de types de temps plutôt que sur l'analyse de moyennes et de quotients (minima du mois le plus froid, précipitations annuelles, quotient d'Emberger, etc...) comme cela a souvent été le cas jusqu'à cette date.

Un autre exemple de l'apport de ces cartes de variables brutes, est la mise en évidence et la compréhension du phénomène de dégradation en bordure des massifs appartenant

à la Cédraie du J'bel SAA (V03). La carte de la régénération du Gèdre pour la forêt de BEKRIT et une partie des Forêts d'ITZER et de SENOUAL, montre clairement que les lisières des massifs forestiers ne sont pas ou peu régénérés. En plus, la carte de l'intensité des attaques de la Chenille processionnaire montre que ces lisières sont parmi les zones les plus sévèrement atteintes (cf. CARTES 3 et 4 en ANNEXE IV). Ces deux cartes indiquent donc le caractère dégradé du pourtour des massifs de V03, fait qui va dans le sens de l'hypothèse voulant que ce type de communauté soit en danger de disparition. Rappelons que ce caractère forestier potentiellement dégradé de V03 a aussi été constaté avec l'aide de méthodes différentes dans l'Analyse des Communautés Végétales (cf. section 1.1.2. de cette thèse).

Dans ce cas également, la mise en évidence du phénomène nous a conduit à poser des hypothèses d'explications. La plus plausible soutient que ces massifs forestiers sont des reliques d'un climat passé et que leur régénération n'est possible qu'à l'intérieur d'une structure forestière (à l'échelle de massifs entiers) qui crée un meso-climat plus tempéré et favorable. Les bordures des massifs sont évidemment beaucoup plus exposées au macro-climat régional et souffrent de dégradation. Etant donné que ce processus est probablement actif, pour des raisons que nous avons citées dans la section 1.1.2. de cette thèse, les actions que nous proposons suggèrent la

protection complète de la structure forestière de ces massifs et surtout de leurs bordures afin de tenter de freiner le processus.

Il est donc démontré que les cartes des variables écologiques brutes relevées par l'inventaire forestier sont d'une utilité pratique pour formuler les actions d'aménagement aussi bien que pour les localiser. C'était le but de cette section de la thèse.

1.2.2. Hierarchie spatiale des facteurs déterminant l'état de la régénération du Cèdre

L'utilité pratique de la découverte de la hiérarchie spatiale des facteurs qui déterminent l'état de la régénération du Cèdre (la méthode PEGASE):

Alors que nous nous intéressions, dans la section précédente, à la simple distribution spatiale (cartes) des facteurs écologiques, nous allons maintenant essayer de démontrer la valeur pratique d'une analyse spatiale multivariée tenant compte de l'ensemble de ces facteurs. Cette analyse est orientée vers l'explication spatiale de la régénération du Cèdre, et basée sur des calculs d'information mutuelle. Méthodologiquement, la méthode d'analyse cherche d'abord le facteur qui possède la plus grande information mutuelle avec le degré de régénération du Cèdre, c'est-à-dire celui qui explique le mieux la distribution spatiale de cette régénération. L'ensemble des relevés (points d'échantillonnage) sont alors divisés selon les classes de ce facteur. La même procédure est ensuite appliquée à chacun des groupes obtenus dans cette division, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de facteur qui apporte une information additionnelle significative. A la fin de la démarche, nous disposons pour chaque site de relevé, de la hiérarchie des facteurs écologiques qui expliquent le mieux l'état de la régénération du Cèdre. Cette analyse a été conduite séparément pour

chacune des cinq forêts administratives qui font partie de la zone d'étude.

Ici encore, les facteurs qui interviennent peuvent être des facteurs du milieu physique ou du milieu biotique (végétal surtout, mais aussi animal; chenilles par exemple). Quelle que soit la nature de ces facteurs, cependant, ils ont tous une valeur pratique réelle pour l'aménagement puisque leur distribution spatiale est connue. Il aurait même été possible, si cela s'était avéré nécessaire, de faire des cartes de combinaisons de facteurs auxquelles ont abouti les analyses.

La découverte la plus surprenante de ces analyses est sûrement le fait que dans les cinq Forêts, c'est l'abondance de la fructification du Cèdre qui est le facteur le plus explicatif de la régénération (la relation est bien sûre positive, fructification abondante = régénération abondante). Cette découverte a une implication pratique importante dans le fait qu'elle suggère des opérations d'ensemencement des zones dépourvues de régénération où la fructification est faible ou nulle, dans la mesure où les autres facteurs de la hiérarchie semblent indiquer des conditions favorables à la croissance du Cèdre.

Voyons maintenant un exemple de la hiérarchie des facteurs explicatifs d'une zone particulière.

Dans la forêt de SENOVAL, là où la fructification est bonne ou moyenne (cf. ORG. #1, ANNEXE V), c'est le type de substrat géologique qui explique le mieux la distribution des états de la régénération du Cèdre. Les grès constituent le milieu édaphique le plus favorable à la régénération. Les roches carbonatées (calcaire, dolomie, calcaire dolomitique) offrent des conditions assez neutres. Enfin, les dolérites se comportent comme un milieu défavorable à la régénération. Ce fait est surprenant dans la mesure où ce matériel est connu comme l'un des plus favorables à la croissance du Cèdre. Cela s'explique toutefois puisqu'au palier suivant, en zone doléritique, c'est le recouvrement qui intervient; les recouvrements claires étant les plus favorables. En effet, nous l'avons déjà vu, même s'il est très favorable au Cèdre le substrat doléritique permet, après une destruction catastrophique du couvert forestier (incendie ou coupe à blanc par exemple) une repousse très rapide et dense ne laissant pas assez de lumière et d'espace au sol pour qu'il y ait régénération subséquente (ces milieux correspondent à la Cédraie dense et équiène - V06). Dans les deux autres contextes lithologiques c'est l'altitude qui joue, les altitudes hautes (au moins jusqu'à 2100m.) étant plus favorables que les altitudes basses.

Arrêtons nous là, bien que la hiérarchie continue, et voyons ce que cette connaissance écologique peut apporter de

concrèt à l'aménagement. Le forestier peut agir sur deux facteurs: la fructification et le recouvrement. Pour la fructuation dans ce cas particulier, il n'y a pas de problème grave puisqu'elle est toujours d'abondance forte ou moyenne. l'aménagiste peut néanmoins vouloir augmenter le nombre de graines au sol dans les zones de fructification moyenne seulement. S'il propose de telles actions il devra les localiser d'abord où la régénération actuelle est médiocre, et secondairement où les chances de succès sont les meilleures. Nous pouvons donc lui conseiller de localiser ses ensemencements préférentiellement sur les substrats gréseux ou doléritiques (si le couvert forestier a été éclairci) et ceci dans les altitudes les plus élevées (1900 à 2100 m. surtout). Ces indications découlent directement de l'analyse.

Quant au recouvrement forestier il n'intervient que sur les substrats doléritiques. Nos recommandations aux aménagistes dans ce cas seraient celles que nous avons données à l'endroit de la Cédraie dense et équiène dans la section 1.1.2. de cette thèse. Il s'agissait de coupes d'éclaircissage faibles et discontinues dans l'espace mais répétées dans le temps, favorisant le développement d'une structure forestière plus diversifiée qui à son tour permettrait une régénération constante et une vulnérabilité moindre aux facteurs externes - climat, parasites, pâturage, etc...

Quantité d'exemples semblables à celui-ci, faisant intervenir bien des facteurs, sont décrits dans les rapports des Analyses des Conditions de la régénération du Cèdre pour les cinq Forêts de la zone d'étude. Comme la grande valeur pratique de ce type d'analyse paraît évidente lorsque la connaissance qu'ils apportent est poussée jusqu'à ce qu'elle débouche sur des actions concrètes, il nous semble inutile, dans le cadre de cet exercice, de recourir à des exemples supplémentaires.

Conclusion de la discussion de l'utilité pratique des résultats de l'Analyse des Conditions Ecologiques et Spatiales de la Régénération du Cèdre:

Lorsqu'une étude d'écologie végétale a pour objectif de fournir des informations d'une valeur pratique dans le cadre d'un aménagement, il est indispensable que cette information soit de nature spatiale, géographique. Des résultats non-spatialisés peuvent être très intéressants du point de vue théorique et aider les gestionnaires à mieux comprendre les phénomènes écologiques. Ils laissent cependant à ces gestionnaires la tâche de décider quels sont les facteurs qui jouent dans chaque unité de l'espace et comment ces facteurs s'intègrent au savoir théorique. Or les gestionnaires ou aménagistes n'ont ni le temps ni les moyens d'accomplir cette tâche. Pour arriver à spatialiser l'information écologique

(c.-à-d. connaître les variations géographiques des phénomènes et processus écologiques), il faut nécessairement que l'échantillon d'où provient cette information ait été relevé de façon systématique dans l'espace. Plusieurs stratégies d'échantillonnage systématique ont été décrites et critiquées dans la littérature écologique et géographique (DAUBENMIRE 1968, KERSHAW 1973, SMARTT et GRAINGER 1974, YEATES 1974).

Un aménagement forestier est cependant toujours accompagné d'un inventaire de la ressource forestière, qui est forcément de nature spatiale et qui, dans la tradition européenne, est toujours pratiqué sur le terrain (et non à partir de photographies aériennes). Il serait donc inopportun dans ce contexte, de ne pas prendre avantage d'une exploration géographique aussi détaillée du terrain, pour relever au moins les facteurs écologiques les plus importants.

La valeur pratique d'une telle démarche a été démontrée dans cette section de la thèse et reconnue par les aménagistes associés à ce travail au MAROC. Cette démarche semble d'ailleurs être présentement généralisée dans d'autres études similaires entreprises dans le contexte marocain.

CONCLUSION GENERALE SUR L'INTERET PRATIQUE DE L'INFORMATION
ACQUISE DANS L'ETUDE ECOLOGIQUE LIEE AU PROJET D'AMENAGEMENT
DES FORETS DU MOYEN-ATLAS OCCIDENTAL AU MAROC:

Cette première partie de la thèse avait deux objectifs essentiels. Premièrement, démontrer l'intérêt pratique des principaux résultats de l'étude écologique liée à l'aménagement des Cédraie marocaines. Deuxièmement, démontrer la valeur universelle des méthodes utilisées, dans l'aménagement forestier en général, et en particulier dans ceux de tradition européenne.

Le souci fondamental qui a guidé toute l'élaboration méthodologique de cette recherche, était d'utiliser toutes les ressources possibles pour fournir aux aménagistes de l'information écologique pertinente sous une forme facilement applicable dans l'espace. Bien sûr dans le cadre de ce travail, ceci n'a pas toujours été possible. C'est pourquoi nous devons parfois parler de "valeur pratique potentielle".

Nous nous attarderons maintenant, dans la deuxième partie de la thèse, à suggérer un type alternatif d'organisation d'un projet d'aménagement forestier (dans la tradition européenne) qui permettrait de réellement utiliser ce plein potentiel pratique de l'information écologique.

PARTIE II

UNE PROPOSITION ALTERNATIVE

EVALUATION DE L'INFORMATION ADDITIONNELLE QU'UN DIFFERENT MODELE D'ORGANISATION, DES ETUDES NECESSAIRES A LA REALISATION D'UN AMENAGEMENT FORESTIER, PERMET DE REALISER

Introduction:

La lacune principale du travail réalisé est évidente. Une quantité de résultats potentiellement très intéressants du point de vue pratique, ne peuvent pas être appliqués, faute de connaissance de leur distribution spatiale exacte.

Le but de cette deuxième partie de la thèse est simple. Il s'agit surtout de montrer comment on pourrait optimiser le transfert d'information depuis les sources jusqu'à l'utilisation; c'est-à-dire jusqu'à l'aménagement (cf. ORG. #2 et 3 en ANNEXE V). Dans la première partie, nous avons discuté de la valeur pratique potentielle des principaux résultats d'une analyse des communautés végétales. Pour répondre à notre objectif voyons maintenant comment on pourrait spatialiser ces résultats, pour les rendre applicables, et quel type d'organisation des projets d'aménagement, permettrait une telle spatialisation. En raison de leur

intérêt très général, les exemples que nous utiliserons sont ceux que nous avons déjà décrits dans la première partie, ce qui simplifie et raccourcit considérablement la tâche.

2.1. SPATIALISATION DES TYPOLOGIES ECOLOGIQUES PERTINENTES

Un différent type d'organisation des études préparatoires à l'aménagement permettrait de spatialiser l'information acquise dans l'analyse des communautés végétales.

2.1.1. Réalisation d'une carte du degré de diversité de la structure forestière:

Dans la première partie de la thèse (cf. section 1.1.1.) nous avons démontré l'utilité pratique d'une connaissance des variations spatiales du degré de diversité de la structure forestière. La méthodologie suivie sans cette analyse ne permettait cependant pas de saisir cette information spatiale. Idéalement, il faudrait pour y arriver pouvoir classer une série de relevés systématiques, selon un indice de diversité quelconque, dans la gamme allant d'une structure unistrate très simple (un gazon par exemple) à une structure multistrate complexe et diversifiée (une forêt équatoriale, par exemple). Les limites des classes choisies dans cette gamme devraient autant que possible, refléter des différences écologiques pertinentes. Comme nous l'avons mentionné dans la première

partie, un tel indice de diversité structurale n'a pas encore été développé. Un indice à échelle ordinale serait acceptable, ainsi bien sûr, qu'un indice à échelle d'intervalle. Même le système de relevé de Dansereau, n'étant que descriptif (échelle nominale) et ne permettant pas le calcul d'un véritable indice, ne satisfait pas ces exigences (DANSEREAU 1951).

Il serait néanmoins possible de réaliser une assez bonne carte du degré de diversité de la structure forestière si les investigations de terrain de l'inventaire n'étaient déclenchées qu'après l'obtention des résultats de l'analyse des communautés végétales. Ayant pris connaissance des différents types de structures existants dans la zone d'étude, les équipes de l'inventaire forestier pourraient les reconnaître sur le terrain. Chaque plateau (relevé) de la maille d'échantillonnage de l'inventaire serait ainsi classé dans le type correspondant le mieux à la structure de sa végétation. Cette information relevée, il serait facile de réaliser la carte.

Une démarche alternative n'exigerait pas d'attendre les résultats de l'analyse des communautés végétales. Il s'agirait tout simplement de faire relever, par ces équipes, une série de données concernant la structure (nombre de strate, recouvrement de chaque strate, leur continuité horizontale,

leur composition floristique, etc...) qui nous permettraient par la suite, d'établir les grands types de structure végétale de la zone d'étude et de les cartographier. Cette méthode serait cependant assez longue à pratiquer sur le terrain et risquerait d'entraîner des oublis importants dû à l'ignorance préalable des vrais types de structures et des problèmes qui leur sont propres. Le fait de classer un aussi grand nombre de relevés poserait également de graves problèmes.

La première méthode citée, celle qui suggère de ne passer à l'inventaire forestier qu'après l'analyse des communautés végétales est certainement la plus avantageuse et la plus facile à réaliser. Un entraînement, des chefs d'équipe de l'inventaire, à reconnaître quelques grands types de structure forestière serait sûrement plus simple, plus efficace (en temps requis sur le terrain) et plus sûr.

Avant de passer au thème suivant notons qu'en plus de servir à tout ce qui a été exposé dans la première partie, une carte de la diversité de la structure végétale étudiée en comparaison avec une carte des interventions forestières pratiquées dans le passé, faciliterait la découverte de liens entre les structures actuelles et les interventions sylvicoles du passé (coupes à blanc, dépressages trop forts du Chêne vert, etc...). Si la structure actuelle est malsaine (structure simple, uniforme), cela montrerait que le type d'intervention qui en est la cause (si intervention il y a eu), n'est

probablement plus à recommander. De la même façon cette comparaison mettrait en évidence le genre d'opération le plus susceptible d'être couronné de succès dans les différents types de situation.

2.1.2. Réalisation d'une carte des communautés végétales:

Citation de D. Mueller-Dombois et H. Ellenberg:

"Since plant communities are geographic phenomena, we suggest further that a vegetation study is not complete without a map and preferably with profile diagrams for map interpretation. Maps should be based on a classification of samples into major communities." (MUELLER-DOMBOIS and ELLENBERG 1974)

Les exigences que requiert la réalisation d'une carte des communautés végétales sont cependant beaucoup plus sévères. Premièrement, tel que relevé par les auteurs cités ci-dessus, il faut que les grands types de communautés aient été définis dans une analyse précédente. Dans le cas marocain, c'est la classification d'une série de relevés floristiques et écologiques (cf. ANNEXES II et III), qui a abouti à la définition des types de communautés végétales.

Certains chercheurs avaient déjà établi des typologies de communautés végétales pour le Moyen-Atlas (NEGRE 1952-53, PUJOS 1964, LECOMPTE 1969). Nous avons quand même cru bon de réaliser notre propre typologie, et ceci pour plusieurs raisons. La principale de ces raisons est que ces chercheurs

utilisaient une méthodologie très subjective pour déterminer les grands types de communautés forestières. Ils connaissaient certainement très bien la Cédraie, mais leur exploration du terrain était toujours guidée par leurs préconceptions; par les hypothèses qu'ils formulaient au fur et à mesure qu'avançaient les travaux de terrain. Il y a aussi le fait que ces chercheurs ne faisaient pas un inventaire complet de la flore de ces forêts; ils se fiaient surtout sur des plantes indicatrices. Or la notion de plantes indicatrices n'est valable que dans le contexte où la valeur indicatrice de ces espèces a été établie. Il est impossible de transférer la valeur indicatrice d'une espèce végétale d'un contexte à un autre, ou d'une échelle de travail à une autre. C'est là une raison additionnelle qui nous a porté à établir notre propre typologie; les chercheurs précédents étudiaient en effet une région plus grande que la nôtre, ils travaillaient donc à une échelle plus petite que celle qui nous intéressait.

La démarche que nous avons suivie pour établir une typologie des communautés végétales était tout à fait différente. Pour être rigoureusement scientifique nous avons voulu effectuer les travaux de terrain sans préconceptions, car cela aurait introduit un élément subjectif dans notre méthodologie. Les relevés que nous avons effectués étaient localisés dans l'ensemble du territoire à l'étude suivant un échantillonnage

stratifié selon les facteurs du milieu, de manière à capter la gamme complète des variations végétales. Dans une région telle que celle que comprenait ce projet (70,000 hectares) et étant donné la diversité des milieux qu'elle englobe, environ 200 relevés suffisent pour arriver à une classification valable.

A partir des résultats de cette analyse des communautés végétales, la seule façon de réaliser la carte des types de communautés consiste à les inventorier systématiquement sur le terrain, car il est impossible de les identifier sur photographies aériennes. Encore une fois, l'inventaire forestier est l'instrument idéal pour réaliser cette tâche. Comme pour la méthode suggérée dans la section précédente (cf. section 2.1.1.) ceci exige que les travaux de terrain de l'inventaire forestier ne soient lancés qu'après l'analyse des communautés végétales.

Dans le cas d'une telle organisation des travaux, une sorte de clé d'identification des différents types de communautés pourrait être élaborée (telle qu'une clé floristique en botanique). Cette clé serait utilisée par les équipes d'inventaire pour déterminer auquel des types de communautés appartient chaque point de la maille d'échantillonnage. La carte serait ainsi réalisée. Cette clé pourrait être basée sur plusieurs types d'informations: floristique, structurale

et écologique (lithologie, altitude, exposition, meso-relief, etc...). Par exemple, pour la Cédraie du J'bel SAA (V03), une clé pourrait être construite à peu près de la manière suivante: (cf. ANNEXE II et rapport sur l'Analyse des types de Communautés Végétales):

-le plateau d'inventaire appartient à V03 si le Genévrier thurifère et le Cynosurus elegans (Graminées) sont présents.

Ce test est cohérent car on ne rencontre le Genévrier thurifère que dans V03 et V07 (Cédraie dégradée) et que ce dernier type ne contient pas le Cynosurus elegans, espèce caractéristique de tous les autres types de Cédraie.

-si le Genévrier thurifère est absent mais que le Cynosurus elegans est présent est-ce que l'on se trouve en altitude moyenne ou haute sur substrat calcique (calcaire, dolomie ou calcaire dolomitique)?

-si non - le plateau n'appartient pas à V03.

-si oui - est-ce que la structure forestière est ouverte (recouvrements faibles des strates supérieures), diversifiée (plants de Cèdre de plusieurs âges) et que les régénérations sont souvent regroupées en taches contenant des individus d'âges différents?

-si non - le plateau n'appartient pas à V03.

-si oui - le plateau appartient à V03.

Avec une clé de ce genre, mais sûrement plus raffinée

pour chaque type de communauté végétale, leur identification par les équipes d'inventaires serait simple et aboutirait à une carte assez précise et très utile. Les placeaux qui ne correspondraient à aucun des types de communautés retenus dans la classification seraient classés comme des sites spéciaux, correspondants à des micro-milieus spéciaux, et traités en conséquence.

On peut cependant reprocher à ce genre de clé d'utiliser des critères environnementaux et floristiques et non seulement des critères floristiques pour déterminer le type de communauté auquel appartient le relevé. Cette critique peut être valable car la typologie est établie à partir de critères floristiques seulement (la présence et la fréquence d'occurrence des espèces). Pour être parfaitement logique avec notre méthodologie il faudrait donc que les clés données aux chefs d'équipes de l'inventaire forestier, ne comprennent que des critères floristiques, voir à la limite des critères structuraux car ceux-ci ne font que décrire la flore du site.

Il serait certainement possible d'établir de telles clés mais ce serait un travail assez complexe, faisant presque obligatoirement intervenir un programme d'ordinateur. En outre, l'utilisation de clés aussi complexes nécessiterait un personnel de terrain très spécialisé en botanique. Etant donné les relations très fidèles qui ont été mises en évidence entre certains types de communautés et des facteurs écologiques ou

environnementaux nous avons cru justifiable d'établir une clé comportant ce type de critères en plus des critères floristiques.

Quant aux avantages pratiques d'une carte des communautés végétales, ils ont été présentés dans la première partie de cette thèse (cf. section 1.1.2.). Ils concernent surtout la localisation des différents types d'actions d'aménagement selon le dynamisme propre à chacun des types de communautés. Sans cette connaissance de la répartition spatiale des types de communautés et de leurs dynamismes, les hiérarchies d'actions d'aménagement élaborées pour chaque type, sont souvent inapplicables.

2.1.3. Cartographie des facteurs faisant parti des relations complexes, mises en évidence dans l'Analyse des Communautés Végétales.

Réalisation de cartes telles que: la carte du potentiel pastoral, la carte de l'épaisseur de la litière, la carte des bioclimats, etc...

Nous avons mis en évidence, dans la section 1.1.3., une série de relations entre des types de communautés végétales et certains facteurs écologiques (physiques ou biocénotiques). Bien sûr, pour que cette connaissance théorique des phénomènes ait une portée pratique, il faut que les variations

spatiales de ces facteurs écologiques soient connues.

L'inventaire forestier constitue encore le meilleur moyen de rassembler l'information spatiale nécessaire à la réalisation de ces cartes. Dans le cadre des travaux réalisés au MAROC, l'importance de certains de ces facteurs avait été reconnue par les études précédentes, et a pu être prévue. Ces facteurs ont donc effectivement été relevés par les équipes d'inventaire et ont fait l'objet de cartes qui se sont avérées très utiles pour les aménagistes: carte de la régénération, carte de la fructification, cartes du recouvrement du tapis herbacé, du recouvrement du Chêne vert, du recouvrement du Cèdre et de différentes strates forestières; carte de l'intensité des attaques de la Chenille processionnaire, etc... (cf. ANNEXE IV).

A l'issue de l'analyse des communautés végétales, cependant, d'autres facteurs ou phénomènes se sont avérés très importants, par exemple: la présence de dalles rocheuses près de la surface du profil pédologique, l'épaisseur de la litière, la délimitation des zones d'avancée du Cèdre, délimitation des zones où le Chêne vert est très compétitif (où il atteint potentiellement la taille de futaie en peuplement dense), le potentiel fourrager, etc... Les aménagistes n'ont pu intégrer ces divers facteurs à leur plan d'aménagement puisqu'ils ne connaissaient pas leurs variations géographiques.

Tous ces facteurs auraient pu être cartographiés à la seule condition que l'inventaire forestier fasse suite à l'analyse des communautés végétales.

Un dernier point mérite d'être mentionné. Puisque la recherche des indicatrices écologiques (espèces végétales indiquant telle ou telle condition du milieu) constitue une partie importante d'une analyse des communautés végétales, il serait intéressant de cartographier les plus importantes de ces espèces; surtout celles qui traduisent des aspects climatiques (température, humidité, vent, etc...). Ceci est d'autant plus intéressant qu'on ne possède presque jamais de données climatiques valables à l'échelle à laquelle se fait l'aménagement. Dans le cas de l'étude réalisée au MAROC une liste d'indicatrices issues des études précédentes a été relevée. Malheureusement l'échelle à laquelle ces espèces sont indicatrices ne correspondait pas toujours à l'échelle de l'étude. Un indice bioclimatique qui s'est avéré assez intéressant a quand même été élaboré à partir de ces espèces. Cet indice aurait cependant été plus solide et balancé si nous avions connu, avant de le constituer, les valeurs indicatrices réelles de ces espèces à l'intérieur des limites de la région à l'étude.

Conclusion sur la spatialisation des typologies écologiques pertinentes:

Voyons brièvement comment le travail des aménagistes serait facilité par la spatialisation des résultats d'une analyse des types de communautés végétales. L'apport d'un tel type d'information serait considérable. D'une part, les divisions primaires de la forêt en parcelles (carte du parcellaire forestier) pourraient reposer sur la carte des types de communautés (cf. ANNEXE I, page 2). Ces unités primaires seraient ensuite subdivisées selon la carte des types de structures forestières. On aboutirait ainsi à une carte des types de peuplements forestiers. Ceci allégerait déjà considérablement la tâche des aménagistes car la réalisation d'une carte des types de peuplement par l'interprétation de photographies aériennes, avec le contrôle que cela nécessite sur le terrain est une opération assez fastidieuse. D'autre part l'homogénéité des parcelles ainsi délimitées en termes de dynamisme, de structure et de bien d'autres facteurs, serait assurée. Les politiques d'aménagement (exploitation, conservation, culture, etc...) pourraient être directement appliquées à ces parcelles, éliminant la nécessité d'un rapport des informations à partir des cartes des types de communautés et des types de structures, ainsi que les erreurs de jugement qui découlent de ce transfert. Bien sûr, si les unités (parcelles) obtenues sont trop grandes pour les travaux à effectuer chaque année,

les forestiers pourraient les subdiviser à leur goût, selon des critères d'accessibilité, de praticabilité des opérations, etc... Par exemple, les mêmes politiques d'aménagement pourraient être appliquées à toutes ces subdivisions, mais à différents moments.

2.2. MODELES DES ACQUISITIONS ET TRANSFERTS D'INFORMATION

Introduction de modèles très synthétiques, des acquisitions et des transferts d'information, qui permettent différents types d'organisation des travaux préparatoires à l'aménagement:

L'objectif de cette dernière section de la thèse est de présenter des modèles très simples, représentant l'efficacité de différents types d'organisation d'un projet d'aménagement forestier, du point de vue de l'utilisation pratique de l'information écologique. Le type d'organisation utilisé dans la plupart des aménagements forestiers de tradition européenne, y compris celui auquel nous avons participé, sera présenté dans cette perspective ainsi qu'une forme modifiée de ce type d'organisation, que nous proposons. Les avantages et les désavantages de chacun de ces types seront pesés et un choix final sera justifié.

Comme le décrivait la présentation du "Sujet de thèse", ces modèles sont basés sur les concepts de la théorie de

l'information (concepts d'entropie d'information et d'information mutuelle surtout, cf. "Présentation du Sujet de thèse" pour la définition de ces concepts). Ces modèles ne seront cependant pas aussi englobant que le proposait cette présentation. Au lieu de représenter l'information totale que chacun permet d'acquérir (ce qui aurait été très long et très peu enrichissant) nous nous limiterons à analyser les différences quantitatives d'information qu'ils permettent de réaliser. Jusqu'à présent nous avons démontré les gains et les pertes qualitatives d'information qu'engendre le type d'organisation traditionnel des travaux d'aménagement, et les moyens de réduire ces pertes au minimum.

Le type d'organisation proposé est assez semblable au type traditionnel qui a quand même fait preuve, depuis très longtemps d'une grande utilité. Il comprend également deux phases préparatoires aux travaux d'aménagement proprement dit: une étude écologique et un inventaire forestier. Son trait particulier réside dans l'agencement chronologique de ces éléments. Dans le type traditionnel les trois phases: étude écologique, inventaire forestier et la première partie des travaux d'aménagement (établissement de la carte des types de peuplements et de celle du parcellaire par photo-interprétation et parcours du terrain), étaient considérées comme des phases distinctes; sans relation entre elles. Les trois étaient donc initialisées et réalisées en même temps.

Cependant, les dernières phases de l'aménagement n'étaient complétées qu'après réception des résultats de ces trois premières parties. Dans ce contexte traditionnel, on attendait de l'étude écologique un apport d'information aidant les aménagistes à mieux comprendre les phénomènes (apport théorique) mais non pas une proposition des types d'action à envisager selon les conditions écologiques spatiales.

L'écologie végétale possède maintenant la méthodologie nécessaire pour passer d'un apport simplement théorique à un apport véritablement pratique. L'avantage considérable que donnerait un décalage temporel des différentes parties du projet, afin que chacune puisse profiter de toute l'information acquise aux niveaux précédents paraît évident. L'information écologique beaucoup plus pertinente et pratique que permettent d'acquérir ces méthodes, surtout celles qui ont trait de l'analyse spatiale (analyse PEGASE, par exemple) a donc débalancé l'équilibre qui existait dans le type traditionnel d'organisation des projets d'aménagement forestier. Utiliser ce même type d'organisation aujourd'hui, permet de relever autant, et peut-être même plus d'information écologique que dans le passé, mais prive néanmoins les aménagistes de beaucoup de ce que les méthodes nouvelles leur permettraient de réaliser.

• Favoriser un apport maximum de l'écologie dans un projet

d'aménagement forestier, exige que toute l'information écologique susceptible d'être d'une utilité pratique (soit pour définir des actions, soit pour les localiser) soit spatialisée. La façon la plus efficace et la moins révolutionnaire d'atteindre ce but (car elle permet de retenir les anciens éléments de l'organisation) est de donner une nouvelle dimension aux travaux de l'inventaire forestier; celle de relever les variations spatiales de certains facteurs écologiques, en plus des données de foresterie (volume actuel sur pied, taux de croissance des peuplements, coefficient de forme des arbres, qualité du bois, etc...). Comme nous l'avons souvent mentionné, cette optimisation des apports de l'inventaire forestier et ainsi, de l'étude écologique toute entière, exige une connaissance des résultats de l'analyse typologique des communautés végétales avant le démarrage des travaux d'inventaire.

Plusieurs chercheurs ont récemment souligné l'importance d'un tel décalage temporel, entre les différentes parties d'un projet d'étude. Les opinions diffèrent cependant quant au réalisme des suggestions faites dans cette direction. Par exemple, M. Grandtner écrit:

"Plusieurs choses paraissent importantes à noter dans l'agencement chronologique des recherches:
 -le décalage et la subordination des étapes;
 -l'avancement par palier, chaque palier ne pouvant être franchi qu'après un effort global de synthèse dans les trois domaines (dans son cas il s'agit des domaines bio-physique, économique

et sociologique);
 -l'étroite interdépendance de ces domaines qui, bien qu'utilisant leurs méthodes propres, ne peuvent progresser en franchissant les trois paliers successifs, qu'après un effort global commun ayant pour résultat l'établissement des objectifs bio-physiques, économiquement et sociologiquement valables." (GRANDTNER 1968)

Cet auteur est donc convaincu qu'une organisation des travaux d'aménagement permettant un décalage temporel des différentes étapes est souhaitable et possible.

De son côté P. Dansereau écrit, comme critique à l'organisation du projet EZAIM:

"Il eût évidemment été souhaitable d'observer cet ordre (ordre de relais des informations ayant une séquence scientifique allant du niveau I (minéro-trophique) au niveau VI (nootrophie-contrôle)) dans le temps, par exemple en ne commençant pas les études sur la végétation avant la fin des travaux de géologie, géomorphologie et pédologie; en ne considérant la vie animale qu'après la livraison des cartes et analyses pédologiques et botaniques, etc... Est-il besoin de souligner qu'une telle procédure était impraticable?" (DANSEREAU 1976)

Bien qu'il la considère souhaitable, P. Dansereau pense donc qu'une telle approche à l'organisation des travaux de recherche appliquée était, au moins dans le cadre du projet EZAIM, irréalisable.

Nous donnerons notre opinion sur cette question après avoir analysé les avantages et les désavantages des deux approches. Voyons maintenant, au moyen d'organigrammes schématiques, les trajets (ou les flux) de l'information écologique à l'intérieur de chacun des types d'organisation considérés (cf. ORG. #2 et 3 en ANNEXE V).

Une comparaison de ces organigrammes montre clairement que le type d'organisation proposé permet de plus nombreux transferts de l'information écologique entre les différentes parties du projet et ainsi de réaliser davantage lors de l'inventaire forestier et des travaux d'aménagement proprement dit.

Comme preuve du fait que le type d'organisation que nous suggérons permet d'acquérir davantage (quantitativement) d'information écologique que le type traditionnel, une carte approximative des types de communautés végétales a été produite d'après la position des relevés phyto-écologiques, les photographies aériennes et notre connaissance du terrain. Le nombre de placeaux qui ferait parti de chaque type a été compté et un calcul d'information mutuelle entre les types de communautés et la régénération du Cèdre, telle que relevée par l'inventaire forestier, a été effectué (cf. Tableau I). Ces calculs démontrent que dans le cadre des travaux réalisés au MAROC, la seule carte des types de communautés, aurait permis un gain de 376.19 U.I.E. (unités d'information entropique). Si toutes les possibilités d'information additionnelles, que ce nouveau type d'organisation permet d'acquérir, étaient incluses dans les calculs ce chiffre serait beaucoup plus élevé. Il est ainsi démontré que ce cadre d'organisation est plus efficace, aussi bien du point de vue de la quantité de l'information écologique acquise, que de sa qualité

Tableau I

Calcul de l'information qu'apporte une carte des types de communautés végétales à la connaissance de la régénération du Cèdre.

Regénération Végétation	nulle R00	faible uni- strate R01	faible multi- strate R02	moÿ. R03	forte R04	nombre total de placeaux
V01	159	159	33	99	99	549
V02	---	24	24	143	169	360
V03	603	287	746	373	889	2870
V04	123	123	164	164	247	822
V05	1230	707	410	707	707	3726
V06	68	14	---	---	---	82
V07	182	60	---	---	30	271
V08	166	80	246	80	---	573
V09	310	173	37	68	37	620
V10	48	---	---	---	---	48
V11	79	---	---	---	---	79
nombre total de placeaux	2968	1627	1660	1634	2178	10000

Entropie du facteur: "type de communauté végétale" = 1.747781
 Entropie du facteur: "régénération du Cèdre" = 1.50323
 Information mutuelle entre ces deux facteurs = 0.037619
 Information totale qu'apporte la connaissance des communautés végétales à celle de la régénération du Cèdre =
 I.M. x 10,000 (placeaux) = 376.19 U.I.E.

pratique. C'est ce que nous avons voulu démontrer tout au long de cette deuxième partie de la thèse. Cet avantage est contre-carré par un seul désavantage majeur; trois années sont requises pour réaliser l'aménagement au lieu de deux. Ce désavantage temporel n'est cependant pas obligatoirement accompagné d'un désavantage économique important. Exception

faite de l'inventaire forestier, le temps requis pour réaliser chacune des parties du projet (écologie, inventaire et aménagement) n'est pas plus long que pour le modèle traditionnel. Le temps requis pour réaliser l'inventaire sera probablement un peu plus long en raison des informations additionnelles qui devront être relevés.

Ce désavantage temporel est certainement justifiable, vu les nombreux avantages que ce type d'organisation entraîne pour un aménagement qui va contrôler l'évolution forestière pendant une vingtaine d'années. En outre, il permet d'atteindre des résultats qui sont intéressants, non seulement au point de vue pratique (pour l'aménagement) mais aussi au point de vue théorique et académique. Par exemple, la carte des types de communautés végétales, si elle était réalisée tous les vingt ans, permettrait une compréhension bien plus solide du dynamisme des différents types que celle dont nous dépendons aujourd'hui.

Toutes considérations faites, il semble que le coût additionnel (temporel et financier, ce dernier étant très faible) du type d'organisation proposé par rapport au type traditionnel, n'est pas excessif. Il paraît donc raisonnable, pour une meilleure gestion d'une ressource aussi précieuse que la forêt (surtout en zones arides ou semi-arides) d'opter pour le type proposé.

Ce dernier chapitre nous a permis de décrire clairement (schématiquement) et synthétiquement une solution aux problèmes principaux qu'engendre l'organisation traditionnelle des projets d'aménagement forestier. Il nous a aussi permis de prouver très simplement, que le modèle proposé permet d'acquérir une plus grande quantité d'information écologique et de montrer que le choix de ce modèle est justifiable malgré son désavantage temporel.

CONCLUSION

Nous avons tenté tout au long de cette thèse de montrer comment l'étude écologique entreprise, a pu conduire à une vue assez claire des principaux phénomènes. Aussi elle a permis de définir en termes généraux, sinon en termes de techniques forestières, le type de traitement qui devrait être appliqué dans chaque unité écologique d'une forêt. Nous avons insisté sur le fait que, pour atteindre cet objectif pratique, il est nécessaire de connaître la variation spatiale des informations écologiques. Plusieurs notions d'écologie végétale, dont les plus importantes sont sûrement celles de structure et de dynamisme de la végétation, ont servi d'exemples à cet égard.

Il ressort donc de cette thèse qu'une étude écologique, à condition qu'elle se fixe certaines orientations méthodologiques, peut constituer la base sur laquelle on peut concevoir l'aménagement forestier. Cette thèse est une réflexion sur cette méthodologie et une discussion sur l'organisation des études scientifiques permettant d'aboutir à ces objectifs. C'est là son apport le plus important. Mais il en est d'autres. Par exemple, l'adoption d'une méthodologie telle que celle que nous suggérons pourrait considérablement alléger la tâche du forestier. Comme nous l'avons mentionné dans la thèse, il serait possible à partir

de la carte des communautés végétales et de la carte des structures forestières, de réaliser directement la carte des types de peuplements forestiers, allégeant ainsi l'important travail d'interprétation de photographies aériennes et de contrôle sur le terrain. En effet, les divisions primaires de la forêt en parcelles (carte du parcellaire forestier) pourraient reposer directement sur la carte des types de communautés végétales. Ces unités primaires seraient ensuite sub-divisées selon la carte des types de structures forestières. On aboutirait ainsi à une carte des types de peuplements forestiers dont l'homogénéité, en termes de dynamisme, de structure et d'autres facteurs écologiques, serait assurée. Par la suite, les politiques d'aménagement (exploitation, culture, conservation, etc...), pourraient être appliquées directement à ces parcelles. Bien sûr, si les unités (parcelles) obtenues de cette manière s'avéraient trop grandes elles pourraient être subdivisées, par exemple selon des critères d'accessibilité, de praticabilité des opérations, etc... Cette procédure éliminerait aussi la nécessité de transférer les informations écologiques de la carte des types de communautés végétales et de celle de la structure forestière à celle des types de peuplements forestiers. Dans la pratique, ces transferts ont toujours posé des problèmes car les unités de la carte des types de peuplements ne correspondent pas toujours exactement aux unités de ces cartes écologiques.

Arriver à réaliser la carte des types de peuplements de cette manière entraînerait sûrement une économie importante de temps, d'énergie et de budget. Cela exigerait cependant un vrai esprit de collaboration entre aménagistes et écologistes ainsi qu'une prise de conscience de la part de ces derniers, que l'interprétation doit toujours être poussée jusqu'à la formulation d'interventions réalisables dans le cadre du type d'aménagement visé.

Un deuxième apport de la thèse mérite d'être mentionné. Il s'agit de l'évaluation du potentiel de certaines méthodes d'analyse écologique de la végétation. Un tel examen est sûrement nécessaire. Il est cependant évident que la thèse n'est pas exhaustive à cet égard et que d'autres efforts dans ce sens sont nécessaires pour passer en revue la gamme complète des méthodes de l'écologie végétale. Néanmoins, la méthodologie proposée dans la thèse nous semblerait l'une des plus efficace étant donné les contraintes imposées par la majorité des projets d'aménagement forestier; contraintes temporelles surtout mais aussi contraintes économiques.

Cette thèse était basée sur une expérience d'aménagement forestier de tradition européenne. Elle faisait nécessairement surtout référence à ce contexte. Nous avons néanmoins essayé de montrer qu'il devient de plus en plus nécessaire d'adopter en Amérique du Nord une approche assez similaire

à celle que nous décrivons. Jusqu'à maintenant la problême majeur était celui de l'échelle à laquelle on effectuait l'aménagement forestier en Amérique. Cependant, maintenant que nous faisons face à de graves problêmes dans le secteur forestier, nous réalisons davantage le besoin d'aménager nos forêts de façon beaucoup plus permanente et beaucoup plus détaillée. Le problême d'échelle perd donc de plus en plus de son importance et il devient possible d'utiliser une méthodologie telle que celle que nous proposons. La thèse pourrait donc également avoir un impact sur l'aménagement forestier en Amérique du Nord.

Dorénavant la recherche en écologie végétale devrait donc poursuivre deux objectifs: le premier étant les recherches théoriques classiques visant une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers, et en un deuxième lieu, de chercher de meilleures méthodes pour donner à cette théorie une portée véritablement pratique. V. Sukachev et N. Dylis résumant ainsi leur vue du futur de l'écologie végétale ("phytoecology"):

"Biogeocoenology (ecology) in the future should and will use new methods of investigation created on the basis of both its own achievements and those of a number of other sciences (on which it is founded), and will disclose new, still-unused biological resources, including those of the forest. At the same time it will point out new and more effective ways of using natural biological resources, and will aid in the general reconstruction of the biosphere in the interest of mankind, or, more precisely, in reconstruction of its most active

part, the phytogeosphere, in which the most important place is now occupied, and will continue to be occupied, by forests." (SUKACHEV and DYLLIS 1968)

L'apport de cette thèse à ma formation personnelle a été très significatif. Le travail contractuel avec "Maroc - Développement" avait déjà été une expérience des plus enrichissante à bien des points de vue: scientifique bien sûr, (écologie, botanique, géologie, pédologie, foresterie, informatique, rédaction de rapports, etc...), mais aussi une expérience de travail en pays en voie de développement, une expérience de direction d'une équipe de terrain et d'observation du mode de vie de tribus nomades (peuples berbères et leurs troupeaux d'ovins). L'effort nécessaire à la rédaction de cette thèse m'a permis de faire une évaluation critique et une sorte de synthèse de cette expérience, sans être contraint par le cadre du contrat. Dans cette optique je suis très heureux d'avoir entrepris la recherche et la rédaction de cette thèse.

TABLE DES MATIERES

	page
INTRODUCTION.....	i
PARIE I. L'EXPERIENCE MAROCAINE.....	1
Introduction Générale.....	1
1.1. Analyse des communautés végétales.....	5
Introduction.....	5
1.1.1. La notion de diversité d'une structure forestière et son intérêt pratique:.....	7
1.1.2. La notion de dynamisme d'un type de communauté végétale et son intérêt pratique:.....	21
1.1.3. Relations: types de communautés végétales - facteurs écologiques.....	48
Conclusion.....	56
1.2. Analyse des conditions écologiques et spatiales de la régénération du Cèdre.....	59
Introduction.....	59
1.2.1. Cartographie des variables relevées par l'inventaire.....	60
1.2.2. Hiérarchie spatiale des facteurs déterminant l'état de la régénération du Cèdre.....	64
Conclusion.....	68
Conclusion Générale.....	70
PARTIE II. UNE PROPOSITION ALTERNATIVE.....	71
Introduction.....	71
2.1. Spatialisation des typologies écologiques pertinentes.....	72
2.1.1. Réalisation d'une carte du degré de diversité de la structure forestière:.....	72
2.1.2. Réalisation d'une carte des commu- autés végétales:.....	75
2.1.3. Cartographie de d'autres variables de l'Analyse des Communautés Végétales...	80
2.2. Modèles des acquisitions et transferts d'information.....	84
CONCLUSION.....	93
BIBLIOGRAPHIE.....	99
ANNEXE I.....
ANNEXE II.....
ANNEXE III.....
ANNEXE IV.....
ANNEXE V.....

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1.0. L'exemple concret.

1.1. La Cédraie du Moyen-Atlas marocain:

1. DELANNOY, H. et M. LECOMPTE (1975) - Méthodes d'étude des régimes thermiques en liaison avec les situations météorologiques dans le Moyen-Atlas (Maroc): Exemple de la ceinture thermique. Bull. Assoc. Geogr. Franc., 422 et 423, 83-94.
2. EMBERGER, L. (1939) - Aperçu général sur la végétation au Maroc; commentaire de la Carte Phytogéographique du Maroc, 1:1,500,000. Mem. L. S. Soc. Sc. Nat. Maroc.
3. HURE, B. (----) - La Cédraie du Moyen-Atlas marocain Bull. Soc. Sci. natur. Maroc, t. xxii, n°57.
4. LECOMPTE, M. (1969) - La Végétation du Moyen-Atlas Central: Esquisse phyto-écologique et Carte des séries de végétation au 1:200,000. Trav. Inst. Sc. Chérifien et Fac. Sc., Ser. Bot. et Biol. vég., 31. Rabat.
5. LEPOUTRE, B. (1961) - Recherche sur les conditions édaphiques de régénération des Cédraies marocaines. Ann. Rech. for. au Maroc, Tome 6.
6. LEPOUTRE, B. (1964) - Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du Cèdre dans le Moyen-Atlas marocain. Ann. Rech. for. au Maroc, Tome 7, p.54.
7. LEPOUTRE, B. et A. PUJOS (1964) - Facteurs climatiques déterminant les conditions de germination et d'installation des plantules de Cèdre. Ann. Rech. for. au Maroc, Tome 7, p. 21.
8. MARION, J. (1955) - La régénération naturelle du Cèdre dans les Cédraies du rebord septentrional du Moyen-Atlas occidental calcaire. Ann. Rech. for. au Maroc, Rapport annuel (Fascicule 1), Station de Rech. for. de Rabat.

9. MARTIN, J. (1965) - Quelques types de dépressions karstiques du Moyen-Atlas central. Revue de géographie du Maroc, n° 7.
10. NEGRE, R. (1952-1953) - Les associations végétales du J'bel SAA (Moyen-Atlas d'ITZER). Bull. Soc. Sci. natur. Maroc, deuxième trim. 1952, pp. 139-165; premier trim. 1953, pp. 27-38.
11. PUJOS, A. (1964) - Les Milieux de la Cédraie marocaine. Ann. Rech. for. au Maroc, Tome 8.
12. ZAKI, A. (1968-1969) - Premières études sur les phénomènes de dormance de la graine de Cèdre et sur l'influence des différents facteurs à l'égard de sa germination. Rapport annuel (tome II), Station de Rech. for. de Rabat.

1.2. L'aménagement des Forêts du Moyen-Atlas occidental:

13. PHIPPS, M. et L. BOURGEOIS (1976-1977) - Analyse des Conditions Ecologiques et Spatiales de la Régénération du Cèdre.
 - I - La Forêt du J'bel SAA - juillet 1976.
 - II - La Forêt de SENOUAL - juillet 1976.
 - III - La Forêt d'ITZER - octobre 1976.
 - IV - La Forêt de KERROUCHENE - mai 1977.
 - V - La Forêt d'AJDIR - juin 1977.
14. PHIPPS, M. et L. BOURGEOIS (1977 avril) - Analyse des Communautés Végétales.
 - I - Les Groupes Ecologiques.
 - II - Les Types de Communautés Végétales.
 - III - Tableaux, Cartes et Figures.
15. PHIPPS, M. et L. BOURGEOIS (1978 janvier) - Etude écologique des Cédraies du Moyen-Atlas occidental: la Synthèse Ecologique.

2.0. La méthodologie nécessaire à l'exécution de la thèse et du contrat marocain.

2.1. Méthodes de relevé:

16. ABERDEEN, J.E.C. (1954) - Estimation of basal or cover areas in plant ecology. Aust. J. Bot., 17, 35-36.
17. ABERDEEN, J.E.C. (1958) - The effect of quadrat size, plant size and plant distribution on frequency estimates in plant ecology. Aust. J. Bot., 6, 47-58.
18. ANDERSON, J.W. and J. McCORMICK (1962) - An evaluation of devices for estimation of tree cover. Broteria, 31:1-18.
19. ARCHIBALD, E.E.A. (1949) - The specific character of plant communities; II A quantitative approach. J. Ecol., 37, 274-288.
20. ASHBY, E. (1935) - The quantitative analysis of vegetation. Ann. Bot. Lond., 49, pp. 779-802.
21. ASHBY, E. (1948) - Statistical ecology, a re-assesment. Bot. Rev., 14, 222-234.
22. ASHBY, E. and I.M. PIDGEON (1942) A new quantitative method of analysis of plant communities. Aust. J. Sci., 5, p. 19.
23. BORMANN, F.H. (1953)- The statistical efficiency of sample plot size and shape in forest ecology. Ecology, 34, 499-512.
24. BRAUN-BLANQUET, J. (1932) - Plant Sociology. First ed. McGraw-Hill, New York.
25. BROWN, D. (1954) - Methods of surveying and measuring vegetation. Commonw. Bur. Pastures and Field Crops Bull. 42, 223 pp.
26. CATANA, A.J.Jr. (1963) - The wandering quarter method of estimating population density. Ecol. 44:349-360.
27. CHAPMAN, S.B. (1976) - Methods in Plant Ecology. Blackwell Scientific Publication.

28. CLEMENTS, F.E. (1905) - Research Methods in Ecology. 334 pp., Univ. Publ. Co., Lincoln.
29. COTTAM, G. and J.T. CURTIS (1948) - The use of the punched card method in phytosociological research. Ecology, 29:516-519.
30. COTTAM, G. and J.T. CURTIS (1949) A method for making rapid surveys of woodlands by means of pairs of randomly selected trees. Ecology, 30:101-104.
31. COTTAM, G. and J.T. CURTIS (1956) - The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology, 37:451-460.
32. DAUBENMIRE, R. (1959) - A canopy-coverage method of vegetational analysis. Northw. Sci. 33:43-64.
33. DAUBENMIRE, R. (1968) - Plant Communities, A Textbook of Plant Synecology. Harper and Row, Publishers, Inc. N.Y.
34. DAUBENMIRE, R. (1974) - Plants and Environment, A Textbook of Plant Autecology. Third edition, Wiley, N.Y.
35. DAWSON, G.W.P. (1951) - A method for investigating the relationship between the distribution of individuals of different species in a plant community. Ecology, 32:332-334.
36. DIX, R.L. (1961) - An application of the point-centered quarter method to the sampling of grassland vegetation. J. Range Mgmt., 14:63-69.
37. DREW, W.B. (1944) - Studies on the use of the point-quadrat method of botanical analysis of mixed pasture vegetation. J. AGRI. Res., 69:289-297.
38. DUVIGNEAUD, P. (1974) - La synthèse écologique: populations, communautés, écosystèmes, etc... Doin éditeurs, Paris, France.
39. ELLISON, L. (1942) - A comparison of methods of quadrating short-grass vegetation. J. Agric. Res., 64:595-614.
40. ENGEN, S. (1974) - On species frequency models. Biometrika, 61(2), 263-270.

- 40a. EVANS, F.C. (1952) - The influence of the size of quadrat on the distributional patterns of plant populations. Contr. Lab. vertebr. Biol. Univ. Mich., 54:1-15.
41. FINNEY, D.J. (1948) - Random and systematic sampling in timber surveys. Forestry, 22:64-99.
42. GLEASON, H.A. (1920) - Some applications of the quadrat method. Bull. Torrey bot. Club, 47:21-33.
43. GOLDSMITH, F.B. and C.M. HARRISON (1976) - Description and analysis of vegetation. Chapter n^o 3 in Chapman, S.B. Methods in Plant Ecology. Blackwell Scientific Publication.
44. GOODALL, D.W. (1952a) - Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Austr. J. Sci. Res. 5:1-41.
45. GOODALL, D.W. (1952b) - Quantitative aspects of plant distributions. Biol. Rev. 27:194-245.
46. GOODALL, D.W. (1953) - Point quadrat methods for the analysis of vegetation. Austr. J. Bot., 1:457-461.
47. GREIG-SMITH, P. (1952) - The use of random and contiguous quadrats in the study of the structure of plant communities. Ann. Bot. Lond., N.S. 16pp. 293-316.
48. GREIG-SMITH, P. (1964) - Quantitative Plant Ecology. Butterworths, London.
49. GREIG-SMITH, P. (1967) - with AUSTIN, M.P. and T.C. WHITMORE. The application of quantitative methods to vegetation survey, (Association-analysis and principal component ordination of rain-forest). J. Ecol., 55:483-503.
50. GROSENBAUGH, L.R. (1952) - Plotless timber estimates - new, fast, easy. J. For., 50:32-37.
51. HALLOWAY, J.T. (1947) - Principals of primary forest ecological survey: Their application to forests of Otagi and Southland. N.Z. J. For., 5:285-294.
52. HORMAY, A.L. (1949) - Getting better records of vegetation changes with the line interception method. J. Range Man., 2:67-69.

53. JOHNSTON, A. (1957) - A comparison of the line intercept, vertical point quadrat, and loop methods as used in measuring basal area of grassland vegetation. Can. J. plant Sci., 37:34-42.
54. KEMP, C.D. and A.W. KEMP (1956) - The analysis of point quadrat data. Austral. J. Bot., 4:167-174.
55. KERSHAW, K.A. (1957) - The use of cover and frequency in the detection of pattern in plant communities. Ecology, 38:291-299.
56. KERSHAW, K.A. (1960) - The detection of pattern and association. J. Ecol., 48:233-242.
57. KERSHAM, K.A. (1973) - Quantitative and Dynamic Plant Ecology. American Elsevier Publ. Comp. Inc.
58. KOBAYASHI, S. (1974) - The species-area relation: I - A model for discrete sampling. Res. Popul. Ecol. (Kyoto), 15(2), 223-237.
59. LINDSEY, A.A., BARTON, J.D. and S.R. MILES (1958) - Field efficiencies of forest sampling methods. Ecology, 39:428-44
60. MORISITA, M. (1954) - Estimation of population density by spacing method. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Serv. E., 1:187-197.
61. MUELLER-DOMBOIS, D. and H. ELLENBERG (1974) - Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, N.Y.
62. NUMATA, M. (1950) - The investigation of vegetation by means of sampling method-studies on the structure of plant communities. V. Bot. Mag. (Tokyo), 63:149-154.
63. ODUM, E.P. (1971) - Fundamentals of Ecology. Third Edition, W.B. Saunders Company, Philadelphia, Pa.
64. OSBORNE, J.G. (1942) - Sampling errors of systematic and random surveys of cover-type areas. J. Am. Statis. Assoc., 37:257-264.
65. PIELOU, E.C. (1957) - The effects of quadrat size on the estimation of the parameter of Neyman's and Thomas' distribution. J. Ecol., 45:31-47.
66. PIELOU, E.C. (1957) - The use of point-to-plant distances in the study of the pattern of plant populations. J. Ecol., 47:607-613.

67. POORE, M.E.D. (1955-56) - The use of phytosociological methods in ecological investigations:
 I. - The Braun-Blanquet System.
J. Ecol., 43:226-244.
 II - Practical issues involved in an attempt to apply the Braun-Blanquet System.
J. Ecol., 43:245-269.
 III - Practical application.
J. Ecol., 43:606-651.
 IV - General discussion of phytosociological problems.
J. Ecol., 44:28-50.
68. RAMADE, F. (1974) - Éléments d'écologie appliquée, action de l'homme sur la biosphère. Ediscience / McGraw-Hill, Paris.
69. RAUNKIAER, C. (1934) - The Life-Forms of Plants and Statistical Plant Geography. Being the collected Papers of C. Raunkiaer. Clarendon Press, Oxford, England. 623 pp.
70. ROMELL, L.G. (1930) - Comments on Raunkiaer's and similar methods of vegetation analysis and the "law of frequency". Ecology, 11:589-596.
71. ROWLAND, J.W. and J.M. HECTOR (1934) - A camera method for charting quadrats. Nature, __:133-179.
72. SALMON, S.G. (1953) - Random versus systematic arrangement of field plots. Agronon. Jor., 45:459-462. Agronon. Jor., 47:289-294.
73. SHANKS, R.E. (1954) - Plotless sampling trials in Appalachian forest types. Ecology, 35:237-244.
74. SMARTT, P.F.M. and J.E.A. GRAINGER (1974) - Sampling for vegetation survey: some aspects of the behaviour of unrestricted, and stratified techniques, Journal of Biogeography, 1:193-206.
75. SMARTT, P.F.M., MEACOCK, S.E. and J.M. LAMBERT (1974) - Investigations into the properties of quantitative vegetational data: I - Pilot study. J. Ecol., 62:735-759.
76. SMARTT, P.F.M., MEACOCK, S.E. and J.M. LAMBERT (1976) - Investigations into the properties of quantitative vegetational data: II - Further data type comparison. J. Ecol., 64:41-78.

77. SMITH, J.G. (1959) - Additional modifications of the point frame. J. Range Man., 12:204-205.
78. SMITH, R.L. (1974) - Ecology and Field Biology. Harper and Row, N.Y.
79. SNEDECOR, G.W. (1946) - Statistical Methods. Iowa State College Press.
80. SWANK, W.T. and H.T. SHREUDER (1974) - Comparison of three methods of estimating surface area and biomass for a forest of young eastern white pine. For. Sci., 20:91-100.
81. THOMPSON, H.R. (1958) - The statistical study of plant distribution patterns using a grid of quadrats. Aust. J. Bot., 6:322-343.
82. TIDMARSH, C.E.M. and C.M. HAVANGA (1955) - The wheel-point method of survey and measurement of semi-open grasslands and Karoo vegetation in South Africa. Mem. bot. Surv. S. Afri., 29 pp. iv+49.
83. WILSON, J.W. (1960) - Inclined point quadrats. New Phytol., 59:1-8.
84. WILSON, J.W. (1963) - Errors resulting from thickness of point quadrats. Aust. J. Bot., 11:178-188.
85. WINKWORTH, R.E. (1955) - The use of point quadrats for the analysis of heathland. Aust. J. Bot., 3:68-81.
86. WINKWORTH, R.E. and D.W. GOODALL (1962) - A crosswise sighting tube for point quadrat analysis. Ecology, 43:342-343.
87. YARRANTON, G.A. (1966) - A plotless method of sampling vegetation. Journ. of. Ecol., 54, p.229.

2.2. Traitement et interprétation des données et
Théorie de l'information:

88. ALLAIRE, G. PHIPPS, M. et M. STOUPEY (1973) - Analyse écologique des structures de l'utilisation du sol. L'espace géographique, n°3:185-197.

89. ALEKSANDROVA, V.D. (1969) - Classification of vegetation. (in Russian), Izd. Nauka, Leningrad.
90. ANDERSON, G.D. and D.J. HERLOCKER (1973) - Soil factors affecting the distribution of vegetation types and their utilization by wild animals in Ngorongoro Crater, Tanzaniz. J. Ecol., 61(3), 627-651.
91. ANDERSON, J. (1969) - On General Systems Theory and the Concept of Entropy in Urban Geography. Research Paper N°31, London School of Economics, Departement of Geography.
92. AUSTIN, M.P. (1968) - An ordination study of chalk grassland communities. J. Ecol., 56:739-757.
93. AUSTIN, M.P. and L. ORLOCI (1966) - An evaluation of some ordination technique. Journ. of Ecol., Vol. 54, p.217.
94. BATTY, M. (1972) - Entropy and spatial geometry. Area, 4(1972:230-36).
95. BATTY, M. (1974) - Spatial entropy. Geographical Analysis, 6(1),1-31(Jan.).
96. BEARD, J.S. (1944) - Climax vegetation in Tropical America. Ecology, 25:127-158.
97. BECKING, R.W. (1963) - Quantitative evaluation of plant communities and the IBM codification of phytosociological data. Tropical Ecol., 4:21-28.
98. BONIN, G. et M. ROUX (1978) - Utilisation de l'analyse factorielle des correspondance dans l'étude phyto-écologique de quelques pelouses de l'Apennin lucano-calabrais. Oecologia Plantarum, Vol. 13-No.2.
99. BRAY, J.R. and J.T. CURTIS (1957) - An ordination of upland communities of southern Wisconsin. Ecol. Monogr., 27:325-349.
100. BRILLOUIN, L. (1962) - Science and Information Theory. Press Inc.
101. BRISSE, H. et G. GRANDJOUAN (1971) - Adaptation d'une méthode de classification multivariées par similitudes à l'écologie végétale en milieu naturel. Oecologia Plantarum, avril-juin.

102. BYKOV, - (1957) - Geobotany. Alma-Ata.
103. C.E.P.E. (1968) - ---Pas le titre de la référence---
104. CHAMPION, H.G. (1936) A preliminary survey of the forest types of India and Burma. India For. Rec. (N.S.) Silv., 1 (in Burt-Davy, 1938) .
105. CHANDAPILLAI, M.M. (1970) - Variation in fixed dune vegetation at Newborough Warren, Anglessey. J. Ecol., 58:193-201.
106. CLEMENTS, F.C. (1963) - Plant succession and indicators: A definitive edition of plant indicators. Hofner Publishing Co., New York.
107. CLEMENTS, F.E. (1916) - Plant Succession, an Analysis of the Development of Vegetation. Carnegie Institute of Washington. Publ. No. 242., 512pp.
108. COLLIER, B.D., COX, G.W., JOHNSON, A.W. and P.C. MILLER (1973) - Dynamic Ecology. Prentice Hall, Inc. New Jersey.
109. CURRY, - (1964) - ---Pas le titre ni la référence---
110. DAGNELIE, P. (1960) - Contribution à l'étude des communautés végétales par l'analyse factorielle. Bull. Serv. Carte Phytogeogr., Ser. B., 5:7-91 et 93-195.
111. DAGNELIE, P. (1973) - L'analyse factorielle. in: Handbook of Vegetation Science: 5 - Ordination and Classification of Communities. ed. R.H. Whittaker, Dr. W. Junk b.v., The Hague.
112. DALE, M.B. and D.J. ANDERSON (1972) - Qualitative and quantitative information analysis. J. Ecol., 60:639-654.
113. DALE, M.B. and D.J. ANDERSON (1973) - Inosculate analysis of vegetation data. Aust. J. bot., 21(2), 253-276.
114. DANSEREAU, P. (1951) - Description and recording of vegetation upon a structural basis. Ecology, 32(2), 172-229. aussi Bull. Serv. Biogéogr., 8:172-229, 1953.
115. DAY, F.P. Jr. and C.D. MONK (1974) - Vegetation patterns on a southern appalachian watershed. Ecology, Vol. 55. n°5...p. 1065.

116. DOKUCHAEV, V.V. (1948) - Study of zones in nature.
St. Petersburg; 2nd ed., Geografiz. Moscow.
117. DUVIGNEAUD, P. (1946) - La variabilité des associations végétales. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 78, 107-134.
118. EDWARDS, A.W.F. and L.L. CAVALLI-SFORZA (1955) - A method for cluster analysis. Biometrics, 21:362-375.
119. ELLENBERG, H. (1950) - Landwirtschaftlichen Pflanzensoziologie. I. Unkrautgemeinschaft als Zeiger für Klima und Boden. Stuttgart, Ludwigsburg, 141pp.
120. ELLENBERG, H. (1952) - Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie. II. Wiessen und Wieden und ihre standörtliche Bewertung. Stuttgart. 143pp.
121. ERNST, W. (1978) - Discrepancy between ecological and physiological optima of plant species: a re-interpretation. Oecologia Plantarum, Vol. 13-No.2.
122. EVANS, R.B. (1969) - A proof that Essergy is the Only Consistent Measure of Potential Work (for Work Systems). University Microfilms, Ann Arbor, Mich.
123. GILLMAN, C. (1949) - A vegetation-type map of Tanganyika territory. Geog. Rev., 39:7-37.
124. GITTINS, R. (1965) - Multivariate approaches to limestone grassland community. I - Stand ordination. J. Ecol., 53:385-401.
125. GODRON, M. (1968a.) - Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. Oecologia Plantarum, juillet-septembre.
126. GODRON, M. (1968b.) - Trois phases d'une étude phytocéologique: sélection des espèces "indicatrices", détection des facteurs actifs, et amélioration de l'échantillonnage. Table ronde sur la méthodologie en écologie, Tours, France, le 8 et le 9 novembre, 1968.
127. GOODALL, D.W. (1966) - A new similarity index based on probability. Biometrics, 22:882-907.
128. GOUNOT, M. (1961) - Les méthodes d'inventaire de la végétation. Bull. Serv. Carte Phytogéogr. Serv. b., 6:7-73.

129. GUILLERM, J.L. (1971) - Calcul de l'information fournie par un profil écologique et valeur indicatrice des espèces. Oecologia Plantarum, juillet-septembre (6).
130. HOLLING, C.S., JONES, D.D. and W.C. CLARK (----) - Ecological Policy Design: Lessons from a study of Forest/Pest Management. Institute of Resource Ecology, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada.
131. HORN, H. (1971) - The Adaptive geometry of trees, Monographs in population biology. Princeton University Press, Princeton.
132. HORTON, I.F., RUSSEL, J.S. and A.W. MOORE (1968) - Multivariate covariance and canonical analysis: a method for selecting the most effective discriminators in a multivariate situation. Biometrics, 24:845-858.
133. ——— (1976) Successions - In: MAY, R.M. (ed.) Theoretical Ecology: Principles and application. pp 187-204.
134. KERSHAW, K.A. (1968) - Classification and ordination of the Nigeria savanna vegetation. J. Ecol., 56:467-482.
135. KNAPP, R. (1974) - Vegetation dynamics Part VIII from the Handbook of Vegetation Science. Dr. Junk b.v. Publishers, The Hague.
136. KREBS, C.J. (1972) - Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Harper and Row, N.Y.
137. KUCHLER, A.W. (1949) - A physiognomic classification of vegetation. Ann. Ass. Amer. Geog., 39:201-210.
138. KULLBACK, S. (1959) - Information Theory and Statistics. New-York, Wiley and Sons, and London, Chapman and Hall.
139. LAMBERT, G.M. and G.N. LANCE (1966) - Multivariate methods in plant ecology: Similarity analysis and information analysis. J. Ecol., 54:425-427.
140. Van der MAAREL, E. (1969) - On the use of ordination models in phytosociology. Vegetation, 19:21-46.
141. Van der MAAREL, E., WESTHOFF, V. and C.G. LEEUWEN (1964) - European approach to the variation in vegetation considered from a system theoretical point of view. 10th International Botanical Conference, Edinburgh.

142. MARCHAND, B. (1974) - Information theory and geography. Geographical Analysis, ----- p. 234.
143. MARCHAND, B. (1975) - The Information Content of regional maps: the concept of geographical redundancy. Economic Geography, 51(2), 117-127.
144. MEDVEDKOV, Y. (1970) - Entropy: an assessment of potentialities in geography. Economic Geography, Supplement, 46(1970), 306-316.
145. MOGRIDGE, ___ (1972) - -----Pas de titre-----
Pas de référence-----
146. MOORE, ___ (1970) - -----Pas de titre----- Pas de référence-----
147. MOROZOV, G.F. (1931) - Forest Science. 6th ed. Sel'khozgiz. Moscow
148. MORRISON, D.F. (1967) - Multivariate statistical Methods. McGraw-Hill, New-York.
149. MUKKATTU, M.M. (1972) - Classification and mapping of natural communities based on covariance and related functions. M. Sc. Thesis, University of Western Ontario, London, Ontario. Can. J. Bot., 52:2341-2349.
150. MULLER, R.A. and T.M. OBERLANDER (1978) Physical Geography Today: a portrait of a planet. Random House, Second Edition.
151. NIJKAMP, P. and J.H.P. PAELINCK (1974) - A Dual Interpretation and Generalization of Entropy-Maximisation Models in Regional Science. Paper of the Regional Science Association, 33(1), 13-31.
152. NOY-MEIR, I. (1973) - Optimized division on ordination components. J. Ecol., 61(3), 753-760.
153. ORLOCI, L. (1966) - Geometric models in ecology. I - Theory and application of some ordination methods. J. Ecol., 54:193-215.
154. ORLOCI, L. (1967) - An agglomerative method for classification of plant communities. J. Ecol., 55:193-206.
155. ORLOCI, L. (1969) - Information analysis of structure in biological collection. Nature (Lond.), 223:483-484.

156. ORLOCI, L. (1970) - Analysis of vegetation samples based on the use of information. J. Theor. Biol., 29:173-189.
157. ORLOCI, L. (1972) - On objective functions of phytosociological resemblance. Am. Midl. Nat., 88:28-55.
158. ORLOCI, L. (1973a) - Ranking characters by a dispersion criterion. Nature (Lond.), 244:371-373.
159. ORLOCI, L. and M.M. MUKKATTU (1973b.) - Effect of species number and type of data on the resemblance structure of a phytosociological collection. J. Ecol., 61:37-46.
160. PIELOU, E.C. (1969) - An introduction to mathematical ecology. Wiley - Interscience, New-York.
161. PIELOU, E.C. (1975) - Ecological Diversity. Wiley, New-York.
162. RICHARDS, P.W., TANSLEY, A.G. and A.S. WATT (1940) - The recording of structure, life-form and flora of tropical forest communities as a basis for their classification. Jour. Ecology, 28:224-239.
163. SAMPFORD, M.R. (1962) - An Introduction to Sampling Theory. Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
164. SCOTT, D. (----) - Path analysis: A statistical method suited to ecological data. N.Z. Ecol. Soc. Proc., 20:79-95.
165. SEAL, L.H. (1964) - Multivariate statistical analysis for biologists. Methuen, London.
166. SMOLONOGOV, E.P., KIRSANOV, V.A., MAKHONIN, A.S. and I.S. KOSTYUCHENKO (1973) - Principles of the compilation and use of forest typological classifications in forest organisation in mountainous countries. Ekologiya, 4(6),29-36.
167. SOKAL, R.R. and P.H.A. SNEATH (1963) - Principals of Numerical Taxonomy. Freeman, London.
168. SPENCE, N.A. and P.J. TAYLOR (1970) - Quantitative methods in regional taxonomy. Progress in Geography, 2:3-64.

169. SUKACHEV, V.N. (1944) - Principals of genetic classification in biogeocoenology. Zh. obshch. Biol., 6.
170. SUKACHEV, V.N. and N. DYLLIS (1968) - Fundamentals of Forest Biogeocoenology. Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
171. TANSLEY, A.G. and CHIPP (1926) - Aims and methods in the study of vegetation. British Empire Vegetation Commitee, London,
172. TANSLEY, A.G. (1935) - The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology, 16:284-307.
173. TRIBUS, M. (1961) - Information Theory as the Basis for Thermostatics and Thermodynamics. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Series E., Journal of Applied Mechanics, Vol.83, pp.1-8; March.
174. TRIBUS, M. and E.C. McIRVINE (19--) - Energy and information. Scientific American, Special n^o: Power and Society.
175. TRIBUS, M., SHANNON, P.T. and R.B. EVANS (1966) - Why thermodynamics is a logical consequence of information theory. A. I. Ch. E. Journal, Vol. 12, N^o2, pp.244-248.
176. WESTHOFF, V. and E. Van der MAAREL (1973) - The Braun-Blanquet Approach. in : Handbook of Vegetation Science. 5 - Ordination and Classification of Communities. Ed. R.H. Whittaker, Dr. Junk b.v., The Hague.
177. WHITTAKER, R.H. (1953) - A consideration of climax theory: The climax as a population and pattern. Ecol. Monogr., 23:41-78.
178. WHITTAKER, R.H. (1956) - Vegetation of the Great Smokey Mountains. Ecol. Mongr., 26:1-80.
179. WHITTAKER, R.H. and W.A. NIERING (1965) - Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. (ii) A gradient analysis of the south slope. J. Arizona Acad. Sci., 5:3-21.
180. WHITTAKER, R.H. (1967) - Gradient analysis of vegetation. Biol. Rev. London, 42:207-294.

181. WHITTAKER, R.H. (1973) - Direct gradient analysis techniques. Handbook of Vegetation Science. 5 - Ordination and Classification of Communities. Ed. R.H. Whittaker, Dr. Junk b.v., The Hague.
182. WHITTAKER, R.H. (1973) - Approaches to classifying vegetation. in: Handbook of Vegetation Science. 5 - Ordination and Classification of Communities. Ed. R.H. Whittaker, Dr. Junk b.v., The Hague.
183. WHITTAKER, R.H. and G.M. WOODWELL (1973) - Retrogression and coenocline distance. in: Handbook of Vegetation Science. 5 - Ordination and Classification of Communities. Ed. R.H. Whittaker, Dr. Junk b.v., The Hague.
184. WILFORD, P.B. (1949) - Distribution of woodland plants in relation to succession and clonal growth. Ecology, 30:199-208.
185. WILLIAMS, W.T. and M.B. DALE (1962) - Partition correlation matrices for heterogeneous quantitative data. Nature (Lond.), 196:602.
186. WILLIAMS, W.T. and M.B. DALE (1965) - Fundamental problems in numerical taxonomy. Adv. Bot. Res., 2:35-68.
187. WILLIAMS, W.T. and J.M. LAMBERT (1959, 1960 and 1961) - Multivariate methods in plant ecology:
I - Association analysis in plant communities. J. Ecol., 47:83-101.
II - The use of an electronic digital computer for association-analysis. J. Ecol., 48:689-710.
III - Inverse association-analysis. J. Ecol., 49:717-729.
188. WILLIAMS, W.T. and G.N. LANCE (1965) - Logic computer based intrinsic classifications. Nature (Lond.), 201:159-161.
189. WESTHOFF, V. and E. Van der MAAREL (1973) - The Braun-Blanquet Approach in: Handbook of Vegetation Science. 5 - Ordination and Classification of Communities. Ed. R.H. Whittaker, Dr. Junk b.v., The Hague.
190. WILSON, A.G. (1970) - The use of the concept of entropy in system modelling. Operational Research Quarterly, Vol.21,n^o2.

191. WISHART, D. (1968) - An algorithm for hierarchical classifications. Biometrics, 22:165-170.
192. WOODWELL, G.M. (1970) - Effects of pollution on the structure and physiology of ecosystems. Science, 168:429-33.
193. YARRANTON, G.A. (1967) - Principal component analysis of data from Saxicolous bryophytes vegetation at Steps Bridge, Devon. I - A quantitative assessment of variation in the vegetation. Can. J. Bot., 45:93-115.
194. YEATES, M. (1974) - An Introduction to Quantitative Analysis in Human Geography. McGraw-Hill, New-York, Toronto.

3.0. Références générales sur l'écologie, l'aménagement et la forêt:

195. AUBREVILLE, A. (1949) - Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. d'Edit. géogr. Marit. et Colon., 351pp., Paris.
196. BATZLI, G.O. (1974) - Production, assimilation and accumulation of organic matter in ecosystems. J. Theor. Biol., 45(1):205-217.
197. BOULDING, K. (1966) - Economics and Ecology. in: Future Environments of North America. Ed. by: Fraser Darling, F. and J.P. Milton, Natural History Press, Garden City, New-York.
198. BRYSON, R.A. and T.J. MURRAY (1977) - Climats of Hunger: Mankind and the World's changing Weather. University of Wisconsin Press.
199. CADWELL, L. (1970) - The ecosystem as a criterion for public land policy. Natural Resources Journal, april 1970, 210.
200. CLAWSON, M. (1972) - Forests for whom and for What? RFF series, The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland.

201. CODY, M.L. (1974) - Optimization in ecology. Science (Wash., D.C.), 183(4130), 1156-1164.
202. COUSENS, J. (1974) - An Introduction to Woodland Ecology. Oliver Boyd, Edinburgh.
203. CRAIK, K.H. (1972) - An ecological perspective on environmental decision-making. Human Ecology, Vol.1, n°1.
204. DANSEREAU, P. (1973) - La terre des hommes et le paysage intérieur. Editions Leméac, 190p.
205. DANSEREAU, P. (1976) - Le cadre d'une recherche écologique interdisciplinaire. Premier rapport de la série EZAIM. Presses de l'Université de Montréal. à paraître;
Ecologie végétale et aménagement du territoire. Troisième rapport de la série EZAIM, par Waltz, D. et N. Chartrand. Presses de l'Université de Montréal.
206. DARDY, H.C. (1956) - The clearing of the woodlands of Europe. In: Man's Role in Changing the Face of the Earth, pp.183-216 (Thomas Jr., W.L., ed.). University of Chicago Press. Chicago.
207. EHRLICH, P.R., EHRLICH, A.H. and J.P. HOLDREN (1977) - Ecoscience: Population, Resources, Environment. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
208. FALQUE, M. (1974) - Inventorier le capital. Métropolis, n°7, juin-juillet.
209. GLIKSON, A. (1971) - The ecological Basis of Planning. Martinus Nijhoff, The Hague.
210. GOULD, E. and W. O'REGAN (1965) - Simulation, a step towards better forest planning. Harvard Forest, Paper n°13, Petersham, March.
211. GRANDTNER, M. (1968) - Les inventaires bio-physiques. dans le cadre de : Planification et développement régional; première série: Inventaires et méthodologie. Projet financier par ARDA, Québec.
212. GRANDTNER, M. et J.L. BLOUIN (1971) - Etude écologique et cartographie de la végétation du comté de Rivière-du-Loup. Service de la recherche, Direction générale de la planification, Ministère des Terres et Forêts, Québec.

213. GRANDJOUAN, G., FLORET, C., BUISSON, M. et CHABERT (1967) - sous la direction de L. Emberger, directeur et G. Long, sous-directeur du Centre d'étude phytosociologique et écologique (C.E.P.E.) du C.N.R.S., (Montpellier, France). Ecologie végétale et développement du territoire. Imprimerie Louis-Jean -05- GAP.
214. HANSON, J.A. (1977) - Towards an Ecologically-based Economic Philosophy. Environmental Conservation, Vol. 4, No. 1, Spring.
215. HARE, K. (1977) - Climate and Desertification. report to the United Nation's Symposium on Desertification, Nairobi, August-September.
216. HOLDRIDGE, L.R. (1956) - Middle America. In: World Geography of Forest Ressources. pp. 183-200 (HADEN-GUEST, S., WRIGHT, J.K., TECLAFF, E.M., eds.). The Ronald Press, N.Y.
217. ----- (1957) - The silviculture of natural mixed, tropical hardwood stands in Costa Rica, Tropical Silviculture, Vol. II, pp. 57-66. FAO, Rome.
218. INFORMATION CANADA. (1972) - La gestion du milieu.
219. ISARD, W. (1972) - Economic - Ecologic Analysis for regional development- The Free Press, New-York.
220. ITEM, H. (1974) - A model for the water regime of a deciduous forest. J. Hychrol. (Amst.), 21(3), 201-210.
221. JURDANT, M. (1964) - Carte phytosociologique et forestière de la forêt expérimentale de Montmorency. Min. de Forêts du Canada, Pub. n°1046f.
222. KASSAS, M. (1970) - Desertification versus potential for recovery in circumsaharan territories. Proc. international conf. on arid lands in a changing world. Tucson (Ariz.). In: Arid Lands in Transition. Publ. n°99AAAS, Wash:123-142.
223. KONDRATYEV, K.Y. (19--) - Observations from space in a global ecology program. Impact Sci. Soc. (English Ed.), 24(3):203-221.
224. LEES, D. (1978) - The new forest primeval. Harrowsmith, n°10, Vol. II:4.

225. LEHOUEIROU, H.N. (1970) - North Africa, past, present and future. In: Arid Lands in Transition. Publ.n°90AAAS, Wash: pp.227-278.
226. LEHOUEIROU, H.N. (1976) - Nature et désertification. CILSS / UNSO / FAO, Consultation on the role of forestry in a rehabilitation program for the Sahel. Dakar, Senegal, 26 april - 1 may.
227. LEVEN, A.A., MEURISSE, R.T., CARLETON, J.O. and J.A. WILLIAMS (1974) - Land response units: An aid to forest land management. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38(1), 140-144.
228. LONG, G. (1974) - Bases écologiques de l'aménagement du territoire et la gestion des ressources naturelles biologiques dans les zones arides de l'Afirque du nord.
Rech. Ecol. Relative au Développement des Zones Arides (déserts médit.) à Précip. Hivernales, Sympos. Israël - France. Publ.n. spéc. 39:17-33.
229. LONG, G. (1975) - Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Collection d'Ecologie, Tomes 1 et 2, Masson et Cie.
230. LYLE, J. and M. Von VODTKE (1974) - An information system for environmental planning. AIP Journal, november.
231. MABLEY, C.D. (1973) - A systematic approach to ecosystems analysis. J. Theor. Biol., 42(1), 119-136.
232. MARSAN, A. et al. (1972) - Ecologie et planification: Intégration des facteurs écologiques dans la planification. Centre de recherches écologiques de Montréal, Octobre.
233. MARSH, G.P. (1864) - Man and Nature, Reprinted by Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1965.
234. MATHIEU, P. et A. TIBESCAR (1978) - Les économistes et l'environnement. De toute Urgence., Vol.9, numéro2, p.7 à 23.
235. McHARG, I.L. (1969) - Design with Nature. 1st ed., Garden City, N.Y.

236. MINISTERE DES TERRES ET FORETS (1974) - Code pour les relevés d'inventaires écologiques du territoire. Par le groupe d'étude sur l'écologie appliquée à l'aménagement du territoire, Guide n°1, Gouvernement du Québec.
237. MULHOLLAND, R.J. and M.S. KEENER (1974) - Analysis of linear compartment models for ecosystems. J. Theor. Biol., 44(1), 105-116.
238. ODUM, H.T. (1971) - Environment, Power and Society. John Willey and Sons, Inc., New York 331pp.
239. OVINGTON, J.D. (1965) - Woodlands. English University Press, London.
240. PATTEN, B.C. (1959) - An introduction to cybernetics of the ecosystem: the trophic-dynamic aspect. Ecology, Vol.40, n°2.
241. PATTEN, B.C. (1971-1976) - Systems Analysis and Simulation in Ecology. Volumes I to IV. Academic Press, N.Y.
242. RAMADE, F. (1974) - Eléments d'écologie appliquée, action de l'homme sur la biosphère. Ediscience/McGraw-Hill, Paris
243. REICHLER, D.E., O'NEIL, R.V., KAYE, S.V., SOLLINS, P. and R. BOOTH (19--) - Systems analysis as applied to modelling ecological processes. Oikos, 24(3), 337-343.
244. ROBINSON, G.O. (1975) - The Forest Service, a study of Public Land management. RFF (Resources for the future, Inc.) series, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, 21218.
245. ROTRAMEL, G.L. (1973) - The development and application of the area concept in biogeography. Syst. Zool., 22(3), 227-232.
246. RUSSELL, C.S. (1975) - Ecological Modelling, in a resource management framework. RFF Inc., U.S.A.
247. SARTORIUS, P. and H. HENLE (1968) - Forestry and Economic Development, Frederick A. Praeger, N.Y.
248. SIMMONS, I.G. (1974) - The Ecology of Natural Resources. Edward Arnold Ltd., London.

249. SMITH, C.A. (1976) - Regional Analysis, Volume I, Economic Systems, Academic Press.
250. SPRECHER, T. (1972) - Aménagement et écologie. L'Irrigant, n°59, décembre.
251. SPRECHER, T. (1974) - La planification écologique; la recherche et la pratique. Métropolis, n°7, juin-juillet.
252. STEBBING, E.P. (1937) - The threat of the Sahara. Journ. Roy. African Society, extra suppl. to vol. 36.
253. STERN, K. and L. ROCHE (1974) - Genetics of Forest Ecosystems. Volume n°6 of: Ecological Studies. Springer-Verlag, New-York, Heildeberb, Berlin.
254. TODD, N.J. (1977) - The Book of the New Alchemists, E.P. Dutton, N.Y.
255. UNITED NATIONS (1977) - Conference on desertification. Nairobi, Kenya, August 29-September 9.
256. WHITTAKER, R.H., BORMANN, F.H., LIKENS, G.E. and T.G. SICEOMA (1974) - The Hubbard Brook ecosystem study: Forest biomass and production. Ecol. Monogr., Vol.44, n°2, pp.233-252.
257. UNESCO (1975) - The Sahel: Ecological Approaches to land-use. Unesco Press, Paris, 99p.

ANNEXE I

Organisation générale du projet d'aménagement des Cédraies du Moyen Atlas occidental au Maroc (exemple typique de l'organisation d'un projet d'aménagement forestier en zone méditerranéenne).

Ce projet fut entrepris sous la direction du Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire et sa responsabilité confiée à l'Administration centrale des Eaux et Forêts. A la mise en adjudication, le contrat d'exécution du projet fut accordé à "Maroc-Développement", société d'études techniques et économiques. Cette société, ayant accepté un contrat, en fait souvent exécuter des sections par des consultants de l'extérieur. Dans un tel cas, elle agit comme coordinateur et supporteur des différents individus ou institutions qui contribuent aux projets. Trois sous-contrats furent concédés dans le cadre de ce projet d'aménagement des Forêts administratives de BEKRIT, ITZER, SENOUAL, KERROUCHENE et AJDIR, tous de la Circonscription de MEKNES.

- Le premier consistait à faire l'inventaire des ressources forestières de la région à l'étude. Il fut accordé au "Service de l'inventaire national espagnol" qui dut le céder à M.A. Jensen de l'Université de Copenhague en raison des difficultés politiques qui

existaient à cette époque (été 1975) entre l'Espagne et le Maroc. Leur tâche était d'élaborer la carte des types de peuplement sur laquelle repose largement le plan d'aménagement. Ceci serait accompli à l'aide de l'interprétation de photos aériennes et de 10,000 relevés décrivant certaines caractéristiques forestières, (densité, taux de croissance, composition de la forêt, forme et santé des arbres, etc...). Ces relevés seraient exécutés selon un plan d'échantillonnage à maille hexagonale en raison d'un relevé tous les 215 mètres environ.

- Le deuxième sous-contrat qui concernait l'étude écologique de ce milieu forestier fut accordé au Dr. M. Phipps, du Département de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université d'Ottawa. Cette étude devait:
 - A) Définir les caractéristiques écologiques essentielles du territoire:
 - i) climatologie
 - ii) types de sol
 - iii) types d'associations végétales ainsi que leurs affinités avec le milieu.
 - B) Faire l'étude des conditions écologiques et spatiales de la régénération du Cèdre, à partir d'informations relevées

par les équipes de l'inventaire, vu que la densité exceptionnelle à laquelle elles exploraient le terrain, permettait une bonne appréciation spatiale des phénomènes.

- Enfin, le troisième sous-contrat demandait également à M. A. Jensen du Département d'Aménagement de l'Université de Copenhague, de dresser le plan d'aménagement de ces Cédraies.

Ce plan devait contenir (comme tout plan d'aménagement forestier):

- A) un "parcellaire", division de la forêt en zones homogènes;
- B) une évaluation des possibilités d'utilisation de la ressource forestière de la parcelle et le temps de révolution de cette ressource après exploitation (temps nécessaire à sa reconstitution qualitative et quantitative).
- C) les règles de cette exploitation ou non-exploitation (conservation) de la parcelle: types et espacement temporel des coupes et autres règles de culture: amélioration du sol, plantation, dégagement des semis, éclaircissage, préservation des porte-graines, etc...

Pour établir ce plan les aménagistes se sont basés sur l'étude des photographies aériennes (délimitation du parcellaire), sur les résultats de l'inventaire forestier (description parcellaire), et sur les résultats de l'étude écologique (affectation des lois d'exploitation, de culture ou de conservation à chaque parcelle).

Le plan élaboré est donc le résultat de la recherche à ces trois niveaux. Une proposition définitive d'aménagement est adoptée après discussion avec l'Administration Centrale des Eaux et Forêts (cf. ORG # 4 et 5, ANNEXE V).

S

ANNEXE II

Aperçu méthodologique de l'étude écologique liée au projet d'aménagement des Cédraies du Moyen Atlas occidental au Maroc.

Dans le Cahier des Prescriptions Spéciales (C.P.S.) la demande contractuelle concernant l'écologie était formulée comme suit:

"3. Ecologie.

3.1. Milieu climatique: Altitude maximale et minimale - Expositions générales et locales (situations par rapport aux hauts reliefs) - Pluviométrie: moyenne annuelle avec sa répartition mensuelle, minimas moyen absolu du mois le plus froid - Etages bioclimatiques - Quotient d'Emberger - Autres facteurs du climat (vents, neige...).

3.2. Milieu édaphique: Géologie - lithologie: différents faciès avec leurs caractéristiques - Géomorphologie - Sols: profondeur, structure, texture, point de flétrissement, description des profils - types.

3.3. Milieu végétation: Essences principales - Essences secondaires - Morts-bois - Couverture vivante chaméphytique et herbacée - Litière - Synthèse écologique: principaux groupes écologiques caractéristiques (composition floristique, localisation), affinités

pour les trois composantes du milieu."

Il est important de noter que cette demande n'exige pas une étude séparée de la régénération du Cèdre. Ce n'est que lors de la première réunion des consultants de "Maroc - Développement" avec l'Administration des Eaux et Forêts, d'où il est ressorti que la régénération constituait le problème majeur de ces Forêts, que M. Phipps a proposé la réalisation d'une étude séparée; celle des conditions écologiques et spatiales de la régénération du Cèdre. La phase de collecte de l'information de cette étude a été couplée aux travaux de terrain de l'inventaire forestier car celui-ci, par la densité de ses observations, s'averait être un excellent moyen de cerner les variations spatiales du phénomène. Il aurait été inopportun de manquer une chance pareille.

Il a donc été décidé que les travaux d'écologie seraient divisés en deux études séparées (tel que le fait voir l'ANNEXE I): l'analyse des communautés végétales, qui répondait aux exigences du contrat, et l'analyse des conditions écologiques et spatiales de la régénération du Cèdre, qui explorerait géographiquement l'état d'un phénomène très important.

Dans les deux cas l'approche se caractérisait par:

- le relèvement systématique d'informations homogènes, standardisées.

- la nature de ces informations (types et catégories) a été définie à partir des résultats des études précédentes.
- les sites de prélèvements des informations étaient localisés sur l'ensemble du territoire.
- l'abondance de l'information impliquait, dans les deux cas, un recours au traitement informatique. Il découle de ce fait que l'effort de synthèse a été fait au niveau du traitement, c'est-à-dire a posteriori, et non au niveau des investigations de terrain. Cette caractéristique doit prévenir tout biais de l'information qui pourrait résulter d'une synthèse hâtive.

En outre, cette approche est complémentaire aux études qui ont déjà été réalisées dans le milieu de la Cédraie (voir Bibliographie, section concernant la Cédraie). Elle a voulu améliorer la connaissance de ce milieu en

- comblant les lacunes spatiales des études antérieures;
- vérifiant leurs hypothèses majeures;
- répondant au caractère opérationnel de l'aménagement, surtout par une meilleure connaissance spatiale des phénomènes.

Chacune de ces deux analyses fut dotée de sa propre méthodologie (technique d'échantillonnage, de relevé, de traitement des données, etc...), dont voici un bref aperçu:

1. Analyse des conditions écologiques et spatiales de la régénération du Cèdre

1.1. Buts

L'objectif de cette analyse était de donner une image spatiale aussi exacte que possible de la régénération, en même temps qu'une analyse des corrélations entre la régénération et les principaux facteurs écologiques (physiques ou biocénotiques).

1.2. Moyens

Comme il a été mentionné ci-dessus, la saisie de l'information nécessaire à cette analyse fut jumelée aux opérations de terrain nécessitées par l'inventaire forestier qui permettait une exploration particulièrement dense et systématique du territoire.

Sur l'ensemble du territoire étudié, 10,000 points d'information correspondants aux 10,000 placeaux de l'inventaire ont été réalisés. Ces points constituent directement les points d'échantillon du traitement informatique, sans qu'il soit nécessaire d'exécuter un report intermédiaire des informations sur carte. Une

telle stratégie d'échantillonnage, systématique dans l'espace, est certainement la plus propice pour capter les variations spatiales d'un phénomène (information géographique). Tel était le but de cette partie de l'étude.

1.3. Informations

Les informations relevées à ce niveau concernent deux domaines:

- état de la régénération en 5 catégories:
 - régénération nulle
 - " rare unistrate
 - " " multistrate
 - " " moyennement abondante
 - " abondante

La détermination de ces catégories et des critères de leur définition (tels qu'enseignés aux équipes d'inventaire) résultent de discussions entre les aménagistes et les écologistes.

- variables de l'environnement:

- facteurs physiques:

- la topographie: altitude, altitude relative, micro-relief, pente, exposition, masque;
- la lithologie: identification des principaux faciès et leurs réactions à l'HCl.

- facteurs biocénétiques:
 - les caractéristiques du peuplement:
recouvrement des principales strates,
recouvrement et densité du tapis
herbacé.
 - les caractéristiques floristiques:
identification de quelques espèces
caractéristiques et indicatrices.
- facteurs physiologiques: fructification,
sévérité des attaques du Mjej et de la
Chenille processionnaire.

La liste de ces variables et leur définition provenait des études antérieures. Il était particulièrement important que ces définitions et la méthode de les relever soient simples et standardisées de manière à ce qu'elles puissent être relevées sans difficulté par un personnel non spécialiste (les chefs d'équipe étaient de simples techniciens)

1.4. Traitement des informations

L'information a été traitée de manière à mettre en évidence:

- les combinaisons de facteurs qui rendent le mieux compte de l'état de la régénération;
- la hiérarchie des facteurs dans l'élaboration

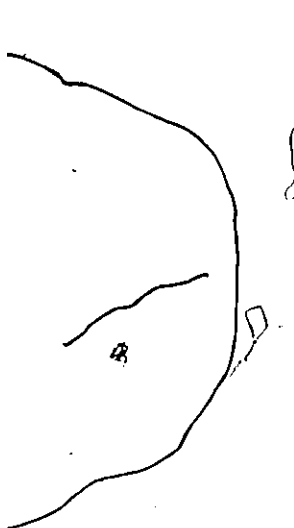
de ces combinaisons;

- la répartition spatiale de ces combinaisons sous forme de cartes;
- les variations spatiales de bien des variables brute:

- carte de l'abondance de la fructification
- carte de l'abondance de la Chenille processionnaire
- carte de l'intensité du parcours
- carte du recouvrement du Cèdre
- carte du recouvrement du Chêne vert
- carte de l'indice bioclimatique
- carte de la régénération globale
- etc...

- et la distribution des espèces indicatrices (18 cartes).

Pour des raisons pratiques et administratives chacune des cinq Forêts comprises dans la zone étudiée a été traitée séparément. Malgré certains avantages cette manière de procéder a eu des conséquences assez gênantes (ce point est discuté dans la thèse). A l'exception des cartes, l'obtention de ces résultats provient de l'application de la procédure analytique PEGASE qui utilise comme mesures d'affinités les concepts de la théorie de l'information (entropie



d'information et information mutuelle). Cette procédure s'applique à n'importe quel cas où l'on cherche à expliquer la distribution spatiale d'une variable (ici la régénération du Cèdre) à l'aide d'un ensemble de variables que l'on suppose être explicatives (types de substrats édaphiques, caractéristiques topoclimatiques: altitude, altitude relative, pente, exposition, etc..., caractéristiques biocénotiques ou physiologiques: recouvrements par strates, associations floristiques, abondance de la fructification, etc...).

La procédure réalise des combinaisons de caractéristiques (altitude, pente, etc...) qui réduisent le plus l'indétermination de la variable à expliquer. Au terme de la procédure on obtient une série de groupes de sites qui correspondent à des combinaisons de caractéristiques (ou facteurs) hiérarchisées et qui peuvent être cartographiées. Une analyse factorielle en composantes principales nous aide ensuite à interpréter l'influence de ces combinaisons de caractéristiques sur la régénération du Cèdre. Chacun des groupes de sites présente une certaine indétermination de la variable à expliquer.

Cette indétermination est aussi faible que possible ~~compte tenu~~ des variables explicatives utilisées. Cela ne veut pas dire qu'elle soit nulle. Dans certains de ces groupes de sites l'indétermination est restée très forte. Ceci signifie que les variables utilisées n'étaient pas suffisantes pour fournir une bonne explication. Les zones de la carte correspondant à ces groupes signalent les régions où le phénomène de régénération est mal connu, où d'autres variables auraient été nécessaires, et enfin où il faudrait localiser des recherches plus précises. (cf. en bibliographie les cinq rapports de l'Analyse des Conditions Ecologiques et Spatiales de la Régénération du Cèdre)

2. Analyse des communautés végétales

2.1. Bûts

Les objectifs de cette étude découlaient directement du Cahier des Prescriptions Spéciales (C.P.S.), cité en première page de cette annexe, qui précisait que l'étude devait couvrir les aspects climatique, édaphiques, végétale et anthropique (action des hommes et de leurs troupeaux) du territoire à l'étude.

Les buts essentiels en étaient donc de :

- définir les principales communautés végétales de la Cédraie, décrites en termes de structure et de composition floristique;
- définir les principaux types de sol et décrire les profils pédologiques types;
- montrer les affinités entre les communautés, leurs espèces essentielles et les principaux facteurs du milieu.

2.2. Moyens

191 relevés écologiques ont été exécutés selon un protocole standard (cf. ANNEXE III). Ces relevés furent localisés sur l'ensemble du territoire (5 Forêts mentionnées au C.P.S.) suivant un plan d'échantillonnage au hasard, stratifié selon les classes des principaux facteurs écologiques (lithologie, altitude, exposition, pente, etc...). Une telle stratégie est très conforme aux objectifs de cette partie de l'étude puisqu'elle constitue le meilleur moyen d'arriver à une typologie (types de communautés végétales) objective des phénomènes. Elle ne se prêterait cependant pas à l'analyse de phénomènes spatiaux comme c'est le cas pour l'analyse des conditions écologiques et spatiales

de la régénération du Cèdre. En outre, ces relevés étaient réunis (par groupe de 2 jusqu'à 14) en séquences topographiques (toposéquences ou "caténas") caractéristiques de problèmes particuliers (cf. Carte VEG 1).

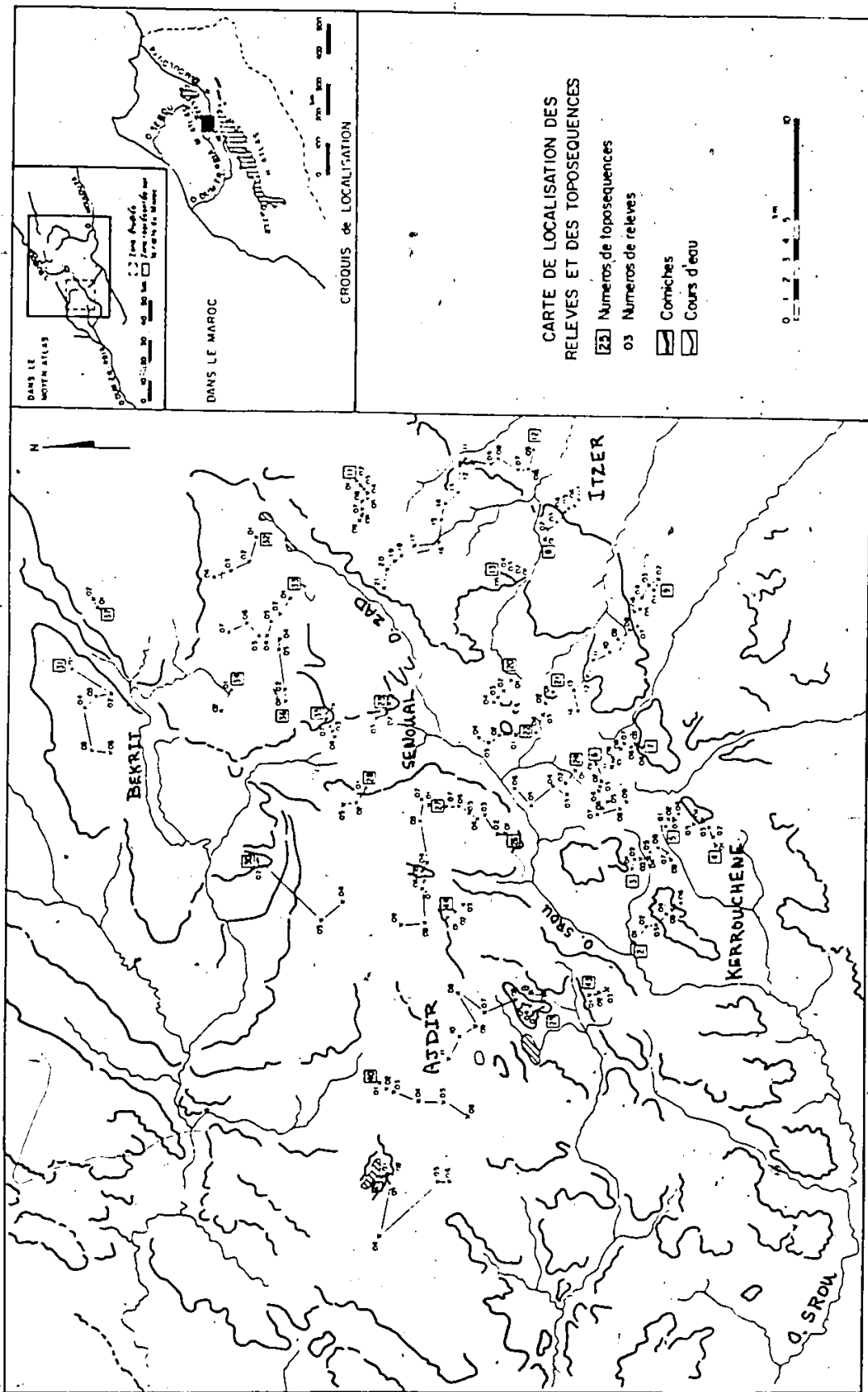
2.3. Information

La liste des informations concernant les conditions physiques et biocénologiques du milieu apparaît en ANNEXE III. L'information floristique a été relevée en termes de fréquences spécifiques (nombre de quadrats dans lesquels les espèces étaient présentes sur le total des quadrats, 10). Le problème de la régénération du Cèdre a pu être cerné à ce niveau en relevant séparément les fréquences des individus d'âges différents: plantules de l'année, plantules jeunes pluri-annuelles, perchis et Cèdres adultes.

2.4. Traitement des informations

Le mode de traitement choisi devait être conforme à la stratégie d'échantillonnage, au type de données et au but visé dans cette analyse.

- nous avons d'abord cherché par des calculs d'information mutuelle et à l'aide des notions de "fidélité" et de "constance" les "espèces



CARTE VEG 1 : Carte de localisation des relevés et des toposesquences.

indicatrices" des principaux facteurs écologiques. Plusieurs espèces, reflétant les mêmes conditions du milieu dans lequel elles vivent, forment un "groupe écologique" (par exemple, le "groupe écologique" des espèces vivant sur des substrats calcaires).

- selon leur valeur indicatrice nous avons accordé aux espèces une pondération qui a jouée dans la classification générale des 191 relevés.
- cette classification était du type agglomératif et polythétique, regroupant les relevés les plus similaires floristiquement, selon un critère d'information mutuelle. La fréquence d'occurrence et la pondération des espèces intervenaient aussi dans le calcul de ce critère. En outre, ce critère était calibré, de sorte que la simple présence d'une espèce commune à deux relevés, quelle que soit sa fréquence, rapproche davantage ces relevés que le fait que cette espèce ait la même fréquence dans les deux relevés. Ceci indique que l'on attachait plus d'importance à la valeur indicatrice de la notion de présence-absence qu'à celle de la fréquence d'occurrence de l'espèce.

A partir du moment où une procédure de classification regroupe un relevé et un groupe déjà formé ou deux groupes de relevés, un critère qui détermine la façon dont est représenté le ou les groupes dans cet espace multidimensionnel doit être choisi. Ce choix est très important; un mauvais choix peut entraîner un chaînage excessif (les groupes déjà formés attirent tout les individus) ou, au contraire une dichotomie forcée (tous les individus se regroupent en pair avant de se joindre à un groupe déjà formé). Plusieurs méthodes existent, dont les deux plus courantes sont:

- la méthode du centroïde du groupe, où le groupe est représenté par son centre géométrique dans l'espace multidimensionnel (tel un centre de gravité). Dans ce cas tous les individus du groupe sont confondus en un seul point de l'espace et le calcul de la distance entre un individu extérieur et ce groupe est identique à celui que l'on ferait entre deux individus. De façon générale, dans une classification floristique, cette méthode entraîne de la dichotomie forcée, car la liste des espèces présentes dans le nouveau groupe sera

beaucoup plus longue que celle des espèces rencontrées dans le relevé individuel. Un tel relevé se joindra donc probablement à un autre individu avant de se joindre au groupe.

- la méthode de la moyenne des distances, de l'individu à chacun des membres du groupe. Après avoir essayé les deux, c'est pour cette dernière méthode que nous avons opté car elle produit une classification floristique beaucoup plus balancée. Par cette méthode la position initiale des relevés individuels (191) dans l'espace multidimensionnel est également la base du regroupement de deux groupes ou d'un individu et d'un groupe.

- Après une étude détaillée du dendrogramme (schéma de regroupement) de cette classification, 14 groupes représentant 14 types de communautés végétales ont été retenus (cf. TABLEAU # 1 et ORG # 1). Ces regroupements paraissent très logiques et correspondent à des unités dont

TABLEAU # 1

Liste des sigles représentant les différents types deCommunautés Végétales

- V01 - Cédraie de KERROUCHENE
- V02 - Cédraie Moyenne sur Grès
- V03 - Cédraie du J'bel SAA
- V04 - Cédraie d'ITZER
- V05 - Cédraie d'AJDIR
- V06 - Cédraie Dense et Equienne
- V07 - Cédraie Dégradée
- V08 - Iliçaie d'AJDIR - KERROUCHENE
- V09 - Iliçaie d'ITZER
- V10 - Iliçaie de l'ICH AZGOUACH
- V11 - Iliçaie des AIT OUFELLA
- V12 - Formation asylvatique des versants
- V13 - Formation asylvatique des cuvettes
calcaires et dolomitiques
- V14 - Formation asylvatique des
dépressions sur grès

la taille et le niveau de détail est conforme à l'échelle à laquelle se fait l'aménagement de cette forêts. (7 de ces types de communautés sont des Cédraies, 4 des Iliçaises (forêts de Chêne vert = Quercus ilex) et 3 sont des communautés asylvatiques (hors forêts).)

- Les espèces caractéristiques de ces types de communautés végétales ont ensuite été identifiées, encore ici par des calculs d'information mutuelle et à l'aide des notions de constance et de fidélité.

- Finalement, ces types de communautés ont été mis en relation avec les facteurs du milieu (physiques et biocénétiques) afin de découvrir leur préférences écologiques. Ce genre de préférences fut mis en évidence à l'aide de deux différentes techniques; l'une directe; calculs de l'information mutuelle entre les types de communautés et les différents facteurs du milieu, l'autre indirecte: ordination des communautés. Cette ordination, basée sur le nombre d'espèces caractéristiques

communes entre ces communautés (matrice du coefficient \mathbb{I}), fut réalisée à l'aide d'une analyse factorielle en composante principale (Dagnélie 1960 et 1973).

C'est ainsi que l'on a pu décrire la signification écologique de chaque type de communauté végétale et découvrir certains aspects fondamentaux de leur dynamisme (évolution progressive ou régressive, par exemple). (cf. dans la bibliographie les trois tomes du rapport de l'Analyse des Communautés Végétales.)

ANNEXE III

Protocole des relevés écologiques.

Le protocole suivant fut appliqué aux 191 relevés écologiques réalisés dans le cadre de l'Analyse des Communautés Végétales. Il définit les techniques suivies dans chacun de ces cas.

1. A partir du point de position du relevé défini sur carte et sur photographie aérienne.

- extension d'une ligne de 25 mètres dans le sens de la plus grande homogénéité de la végétation;
- tous les 5 mètres, définir une transversale de part et d'autre de cette ligne;
- sur chaque demi-transversale établir un quadrat de 1m sur 3 m perpendiculairement à la ligne centrale et à une distance variable de cette ligne. Cette distance était déterminée par une table de nombres au hasard distribués selon la loi normale $N(3, 1.25)$;
- 5 transversales étaient ainsi établies de manière à obtenir 10 quadrats au total.

2. Dans chacun des 10 quadrats la liste complète des espèces présentes fut relevée (présence effective ou par recouvrement).

3. Relèvement des paramètres de l'environnement (au niveau de l'ensemble du relevé):

- altitude au centre (altimètre);
- pente (clisimètre);
- orientation (boussole);
- altitude relative (estimation);
- micro-relief (estimation);
- unité structurale majeure (définie à partir des cartes de structure des reliefs);
- croquis de situation topographique.

4. Relèvement des caractéristiques de structure de la végétation:

- schéma de stratification;
- recouvrements des différentes strates;
- recouvrement et densité du tapis herbacé;
- estimation de la régularité horizontale des strates;
- régénération à découvert ou sous couvert;
- dynamisme du Cèdre (d'après le ratio adultes/jeunes).

5. Relèvement des paramètres divers:

- abondance de la régénération du Cèdre (et nombre de strates);
- abondance de la fructification du Cèdre (aux arbres et au sol);
- abondance de la germination du Cèdre;
- intensité des attaques de la Chenille processionnaire;

- traces d'exploitation;
- traces de feu;
- traces de broutage;
- traces de Mjej (champignon microscopique attaquant le bois de Cèdre);
- diverses autres remarques: degré de développement du Chêne vert, importance des essences secondaires dans le peuplement, etc....

6. Relèvement des données lithologiques, édaphiques et pédologiques:

- en surface;
- matériel sous-jacent;
- formation géomorphologique;
- conditions hydriques;
- schéma du profil du sol sur une tranchée;
- caractérisation morphologique des horizons;
- compléments apportés par les analyses d'échantillons (granulométrie, calcaire actif, pH, etc...).

ANNEXE IV

COSEPT JUNE 84 - COTES DES VARIABLES MOYEN INVESTAIRE

FRUCTIFICATION
NO FEUILLE-COUCHE

CHIR 2.1

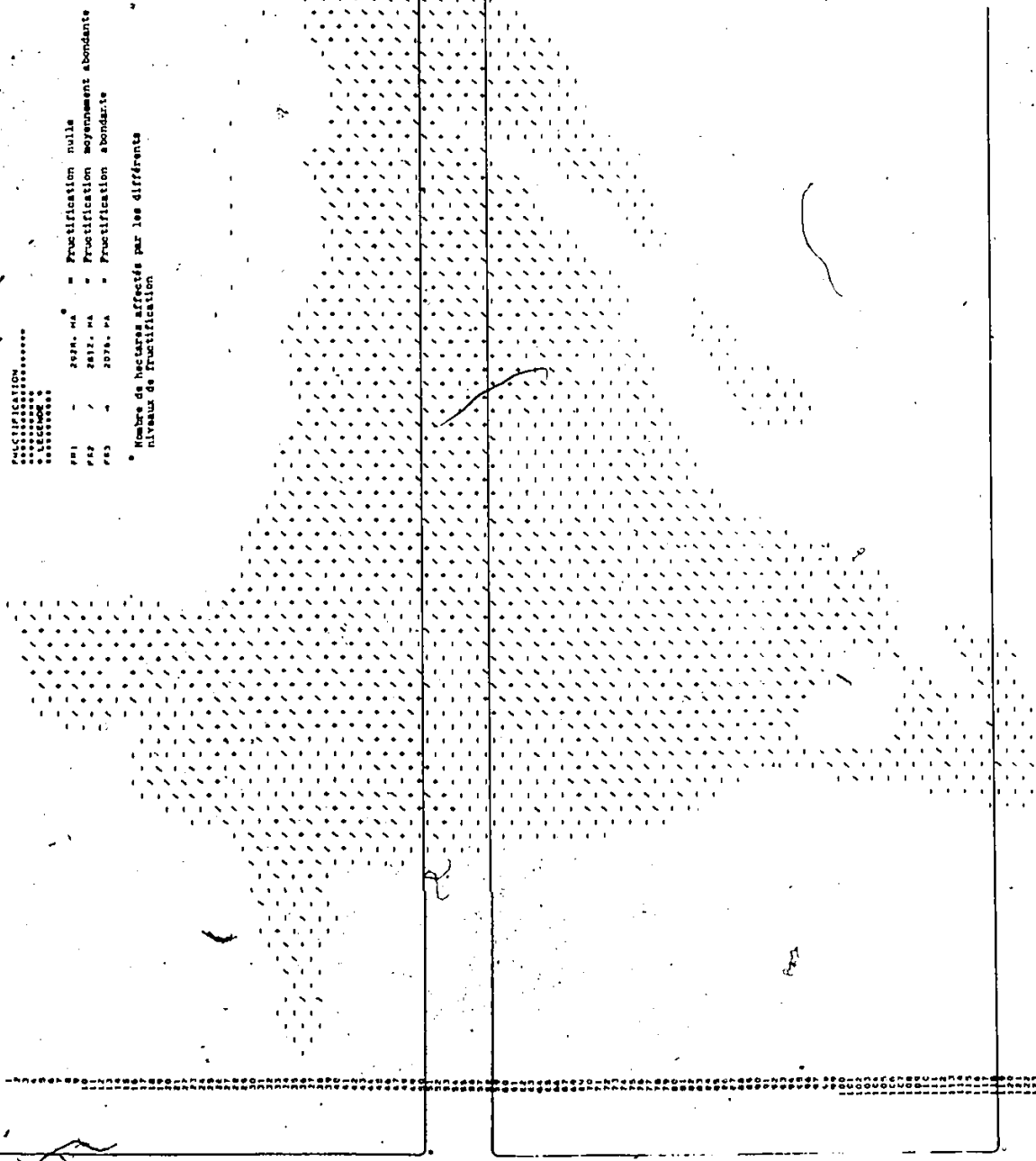
COSEPT JUNE 84 - COTES DES VARIABLES MOYEN INVESTAIRE

FRUCTIFICATION
NO FEUILLE-COUCHE

FRUCTIFICATION
NO FEUILLE-COUCHE


FR1	2020. HA	=	Fructification nulle
FR2	2012. HA	=	Fructification moyennement abondante
FR3	2076. HA	=	Fructification abondante

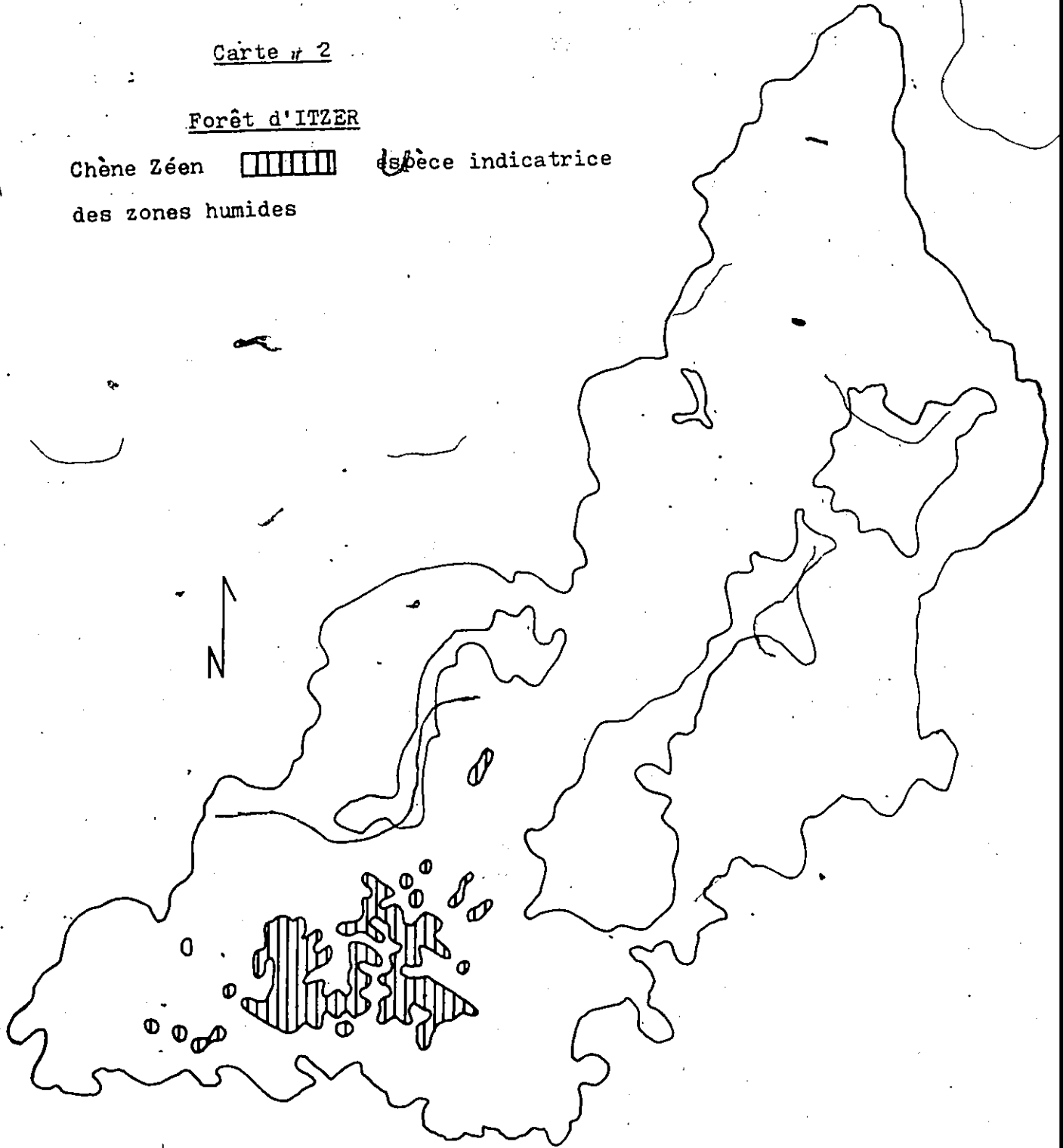
* Nombre de hectares affectés par les différents niveaux de fructification



Carte n° 2

Forêt d'ITZER

Chêne Zéen  espèce indicatrice
des zones humides



FORMULAIRE JUNE 541 - CARTES DES VARIETES MOYEN INVENTAIRE -

REGENERATION GLOB.
.....

NO FEUILLE-COLOCHE

FORMULAIRE JUNE 541 - CARTES DES VARIETES MOYEN INVENTAIRE -

REGENERATION GLOB.
.....

NO FEUILLE-COLOCHE

REGENERATION GLOB.
.....

- 1. VICES 020 = Régénération nulle
- 25. VICES 030 = Régénération faible unistrate
- 70. VICES 470 = Régénération faible multistrate
- 304. VICES 020 = Régénération moyennement abondante
- 037. VICES 030 = Régénération abondante

* Nombre de hectares affectés par les différentes classes de régénération

Carte 2



GEORAT JUBIL 1954 - CARTES DES VARIETES MOUTES INVESTIGATE -

ATTACHE DE CHENILLES

NO FEUILLE-COLOME 1

ATTACHE DE CHENILLES

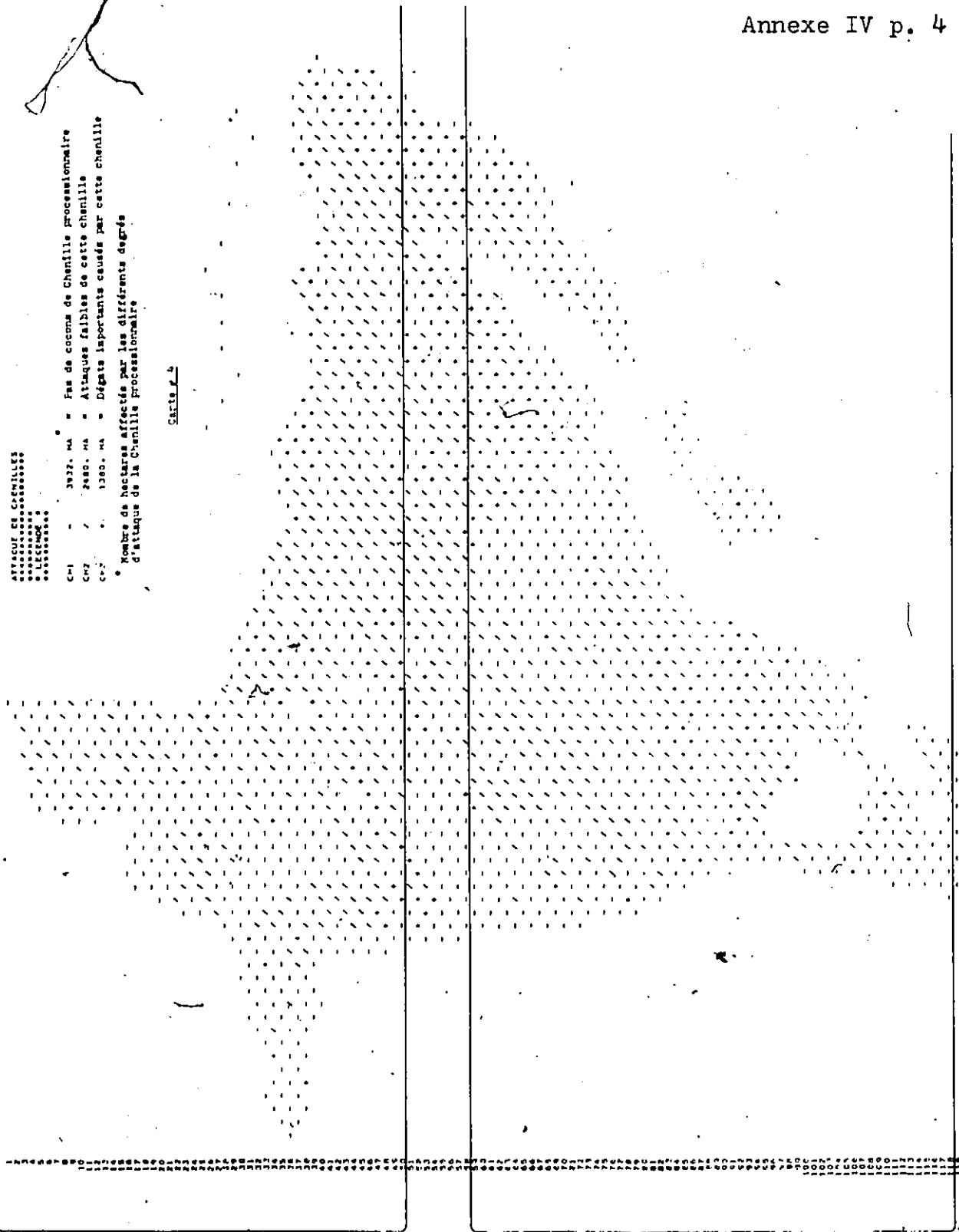
NO FEUILLE-COLOME 2

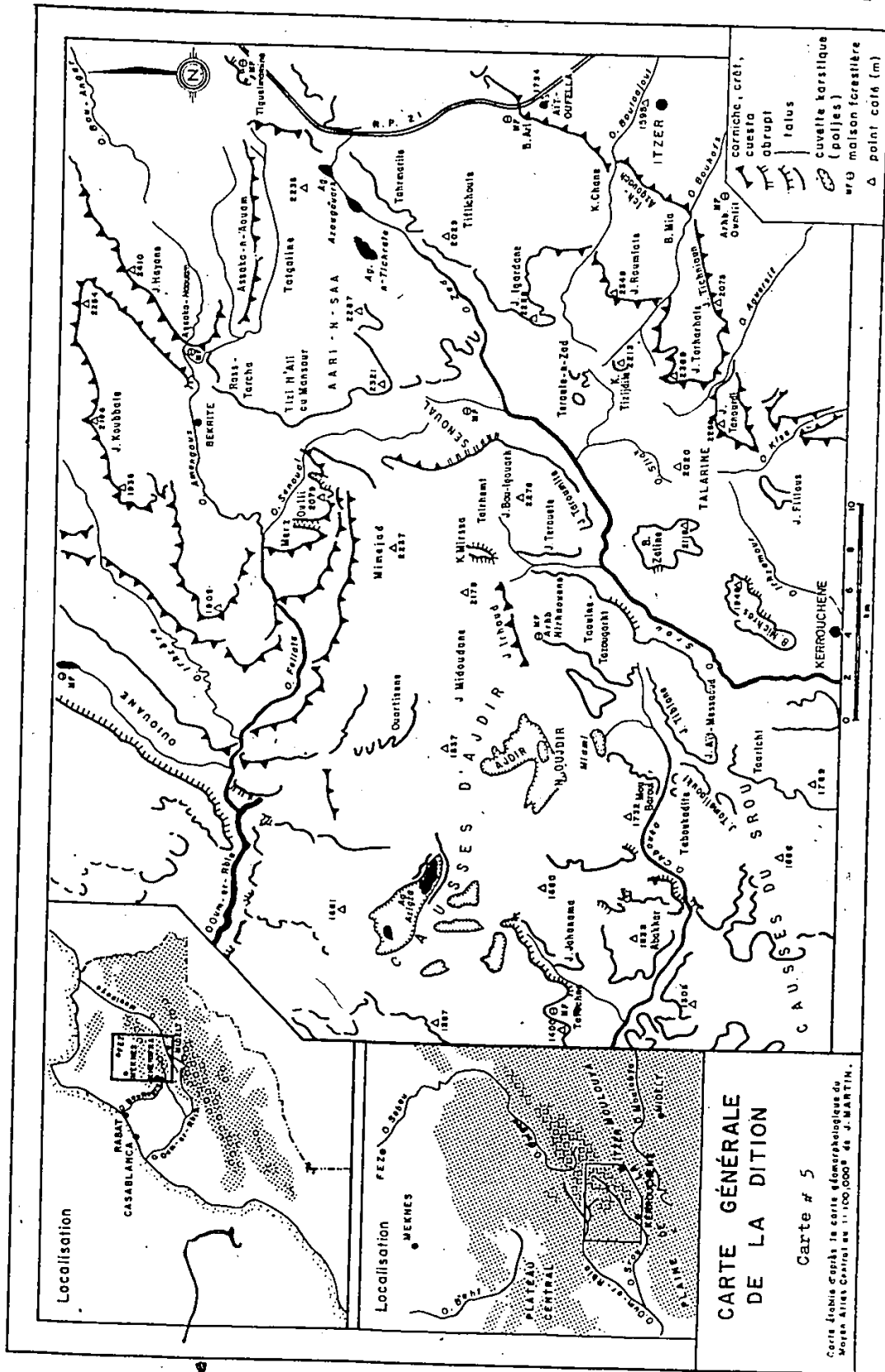
ATTACHE DE CHENILLES

C-1 - 3037. MA = Fes de cocoon de Chenille Professionnaire
 C-2 - 3080. MA = Attaques faibles de cette chenille
 C-3 - 1300. MA = Dégats importants causés par cette chenille

* Nombre de hectares affectés par les différents degrés
 d'attaques de la Chenille Professionnaire

Carte n. 4





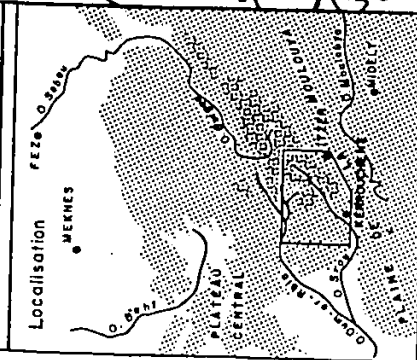
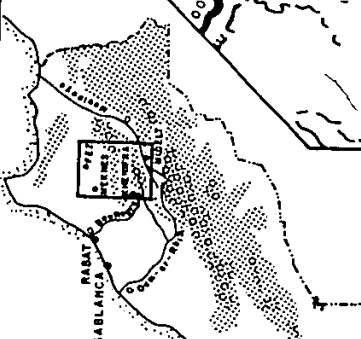
CARTE GÉNÉRALE DE LA DITION

Carte # 5

Carte géométrique de la carte géométrique de
Morocco Atlas Central au 1:100,000 de J. MARTIN.

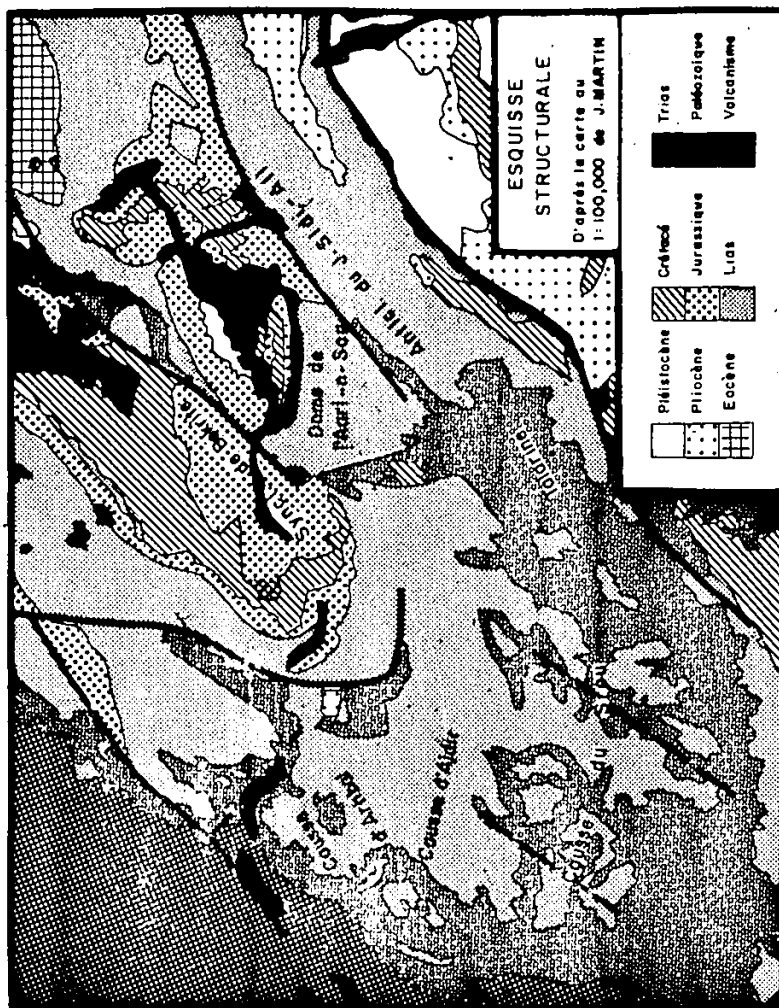
Localisation

Localisation



- corniche, crêt,
- cuesta
- ▲ abrupt
- talus
- cuvette karstique (poïles)
- maison forestière
- △ point coté (m)



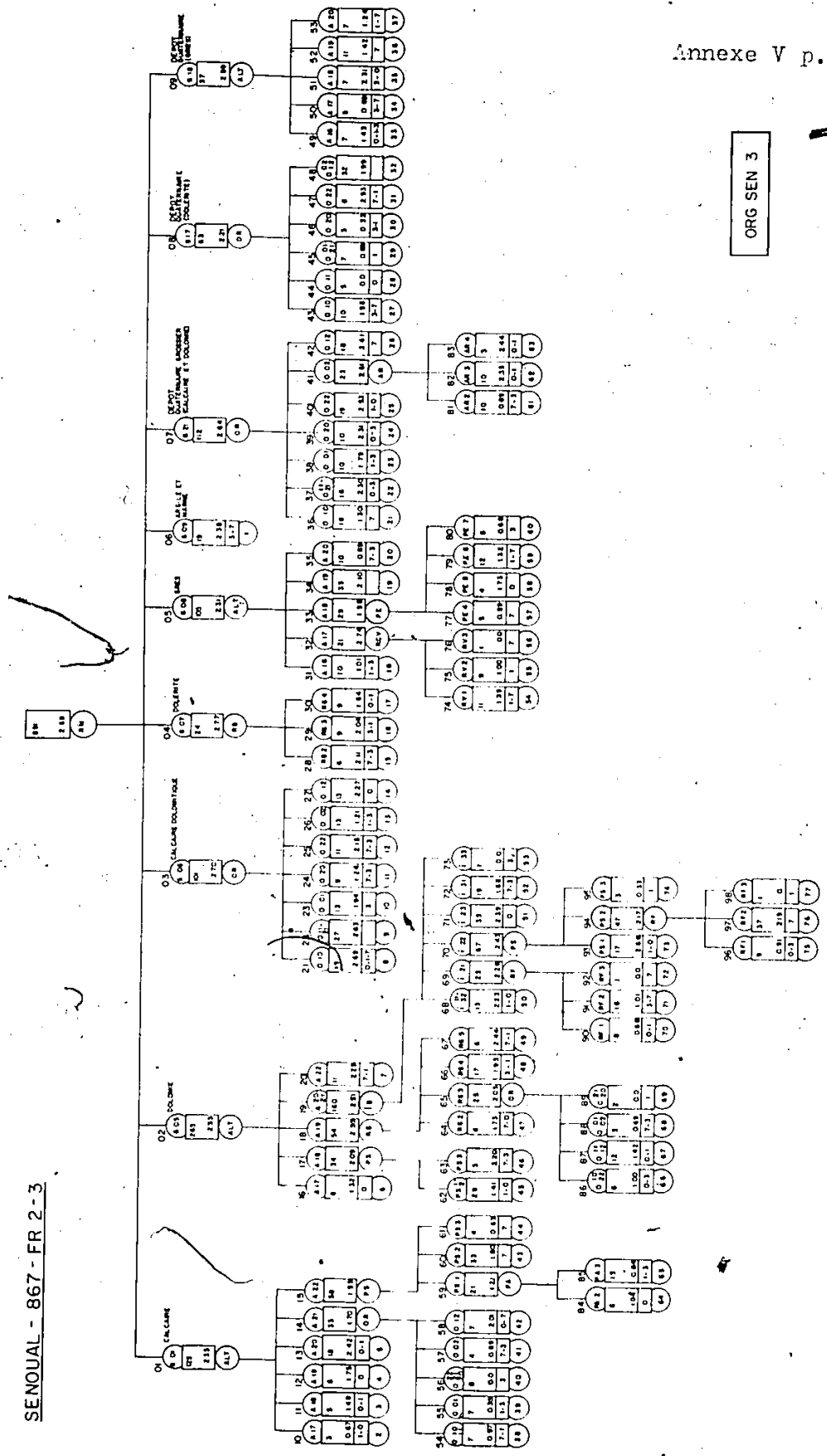


Carte n° 6

ANNEXE V

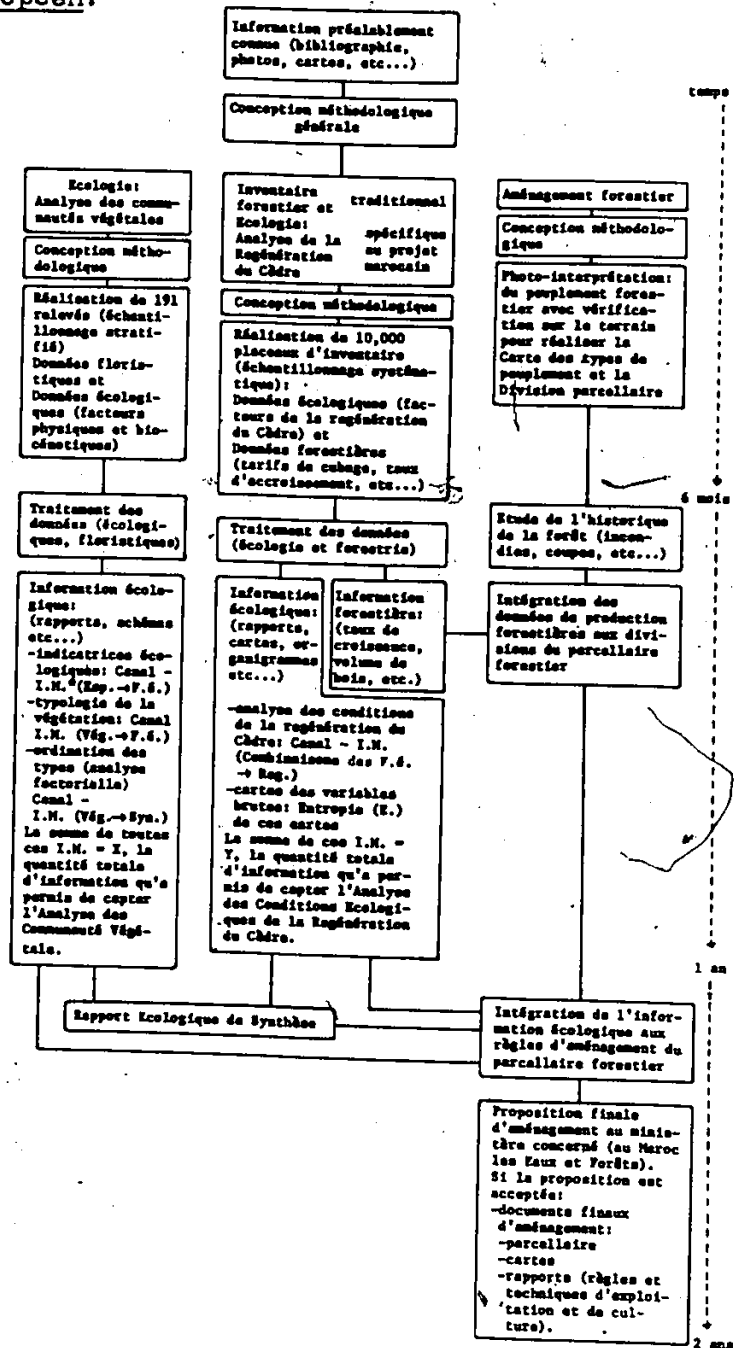
Forêt de SENOUAL; organigramme expliquant les conditions de la
 régénération du Cèdre dans les zones de fructi-
 fication moyenne et abondante.

SENOUAL - 867 - FR 2-3



ORG SEN 3

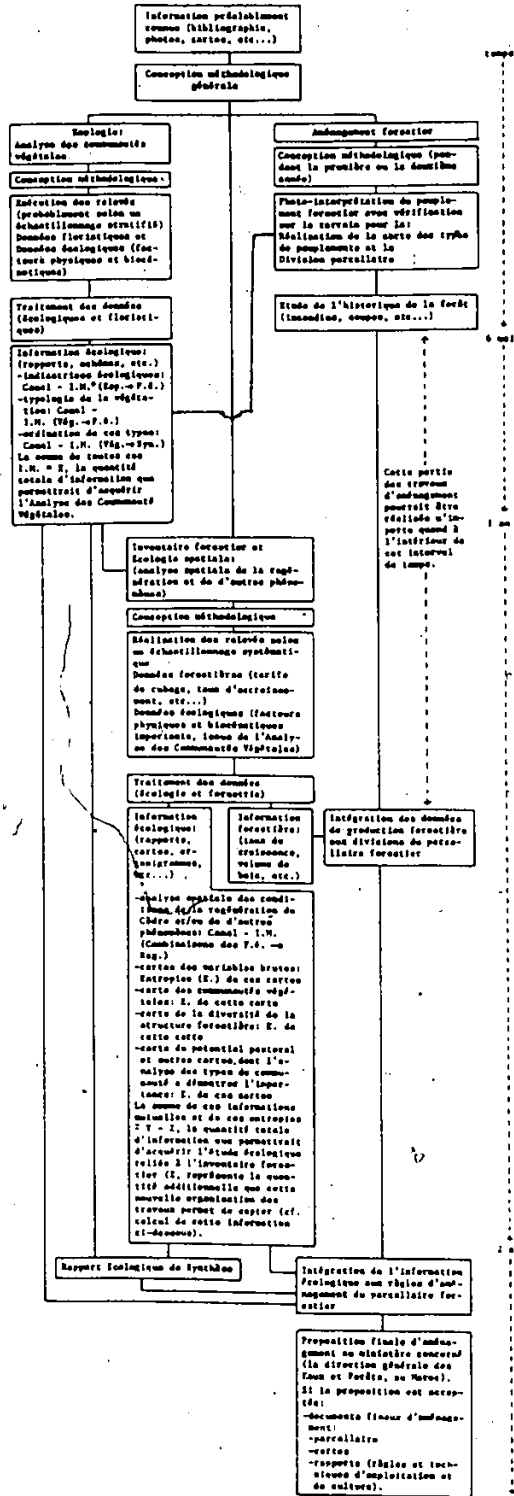
Organigramme des acquisitions et des transferts de l'information écologique que permet l'organisation traditionnelle des travaux de recherche intégrés aux projets d'aménagement forestier, dans le contexte européen:



*Abréviations:

- I.M. - Information mutuelle
- Esp. - Espèces
- F.S. - Facteurs écologiques
- Vég. - Types de communautés végétales
- Reg. - Régénération
- Syn. - Facteurs écologiques de synthèse (issus de l'ordination de Vég.)

Organigramme des acquisitions et des transferts de l'information écologique que permettrait le type d'organisation proposé pour les travaux de recherche intégrés aux projets d'aménagement forestier:

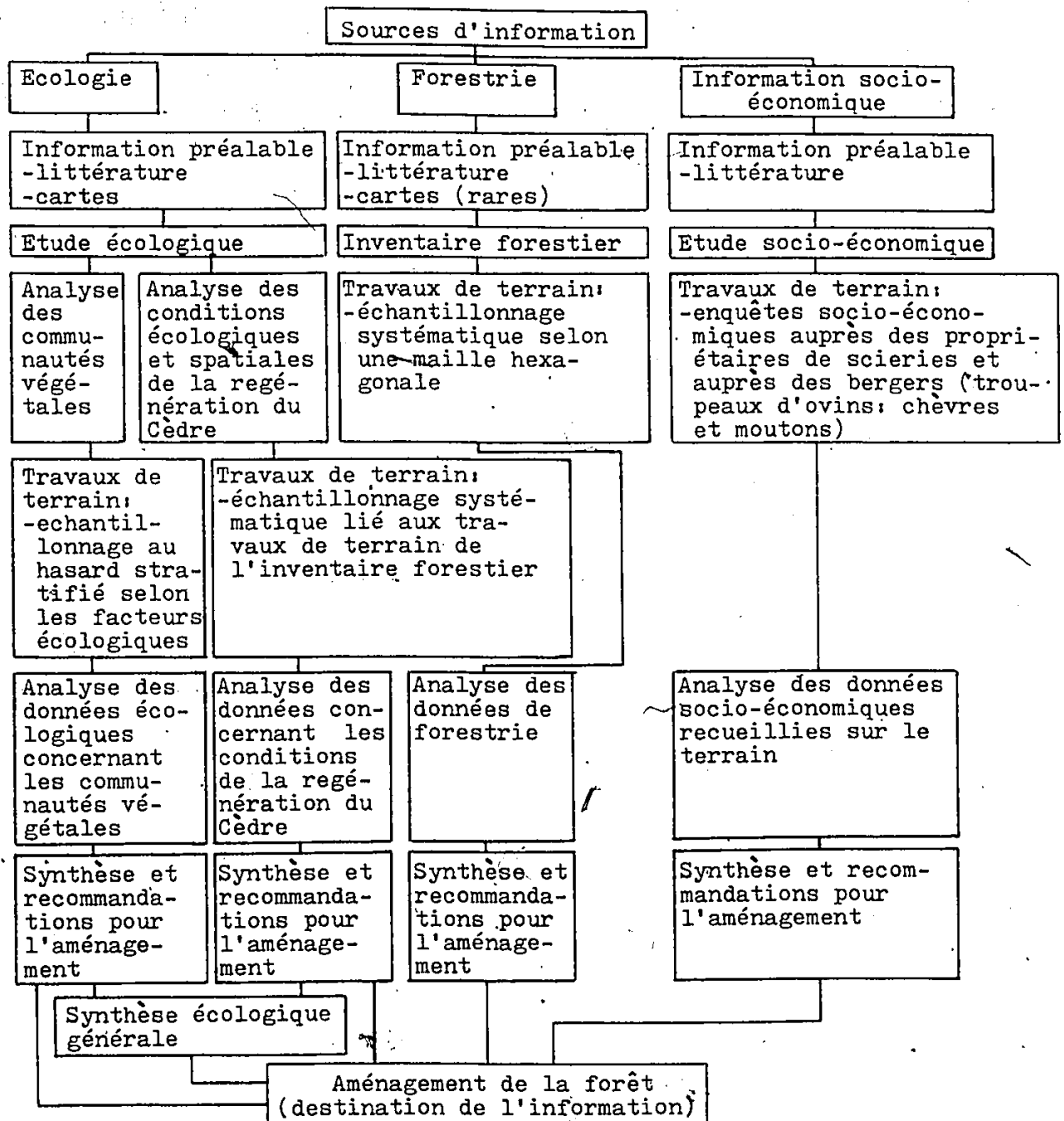


Abbreviations utilisées sur l'organigramme précédentes.

ORG # 4

Organigramme synthétique de la structure généraledes études

(Aménagement des Forêts du Moyen-Atlas occidental au Maroc)



CRG n° 5

Organigramme de la structure générale des études
(version détaillée)

(Aménagement des Forêts du Noyen-Atlas occidental au Maroc)

