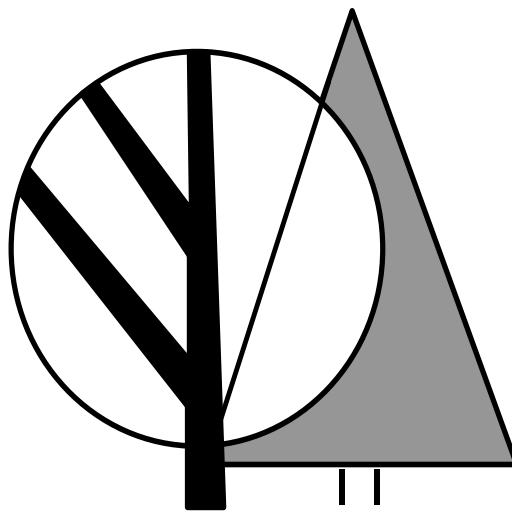


# LES CAHIERS FORESTIERS DE GEMBLoux



FACTEURS ECOLOGIQUES DE PRODUCTION DU  
FRENE (*FRAXINUS EXCELSIOR* L.) EN CONDROZ ET  
PRODUCTIVITE DES STATIONS POTENTIELLES

N° 11

H. CLAESSENS, A. THIBAUT, J. RONDEUX

## LES CAHIERS FORESTIERS DE GEMBLoux

visent à faire connaître les travaux (documents techniques, rapports de recherche, publications, articles de vulgarisation) émanant des Unités des Eaux et Forêts de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux et de ses groupes de recherche, financés par des organismes internationaux, nationaux ou régionaux.

*Adresse de contact :*

**Unité de Gestion et Economie forestières**  
Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux  
B - 5030 Gembloux - Belgique

Tél : 32 (81) 62 23 20

Fax : 32 (81) 62 23 01

E-MAIL : [rondeux.j@fsagx.ac.be](mailto:rondeux.j@fsagx.ac.be)

<http://www.fsagx.ac.be/gf>

# FACTEURS ECOLOGIQUES DE PRODUCTION DU FRÊNE (*FRAXINUS EXCELSIOR* L.) EN CONDROZ ET PRODUCTIVITE DES STATIONS POTENTIELLES(\*)

H. CLAESSENS<sup>(1)</sup>, A. THIBAUT<sup>(1)</sup>, J. RONDEUX<sup>(1)(2)</sup>

## Résumé

A partir de 81 placettes installées dans des futaies de frêne représentatives des peuplements et des milieux de croissance rencontrés dans le Condroz, la présente étude cherche à identifier les principaux facteurs écologiques de production du frêne et à les relier à un indice dendrométrique de productivité (hauteur dominante atteinte à l'âge de 50 ans) [THIBAUT *et al.*, 1992].

Afin de mieux cerner l'incidence et l'importance relative de ces facteurs, nous avons distingué trois grands groupes de station : les stations alluviales et colluviales, les stations de plateaux et de pentes à sols, soit limoneux profonds, soit caillouteux. Les variables les plus étroitement corrélées avec l'indice de productivité se sont avérées être : la situation topographique, la profondeur du sol et le degré d'hydromorphie.

Ces variables ainsi que les trois groupes de station ont ensuite été utilisés comme variables explicatives dans la construction d'un modèle d'estimation de la productivité potentielle du frêne applicable aussi bien en frênaie qu'en site forestier boisé ou non.

**Mots-clés :** *Fraxinus excelsior* L., frêne, production, indice de productivité, facteurs écologiques.

## Ecological factors of ash production (*Fraxinus excelsior* L.) in Condroz and productivity of potential sites

### Abstract :

The aim of the present study is to correlate site variables with measured site index restricted to pure evenaged or nearly evenaged stands of ash. The site evaluation has been made through 81 experimental plots distributed throughout the Condroz under a wide range of ecological conditions and types of soils. Site index (top height at 50 years) was measured on each plot using tree height-age relationship according to an appropriate methodology [THIBAUT *and al.*, 1992].

In order to appreciate the relative importance of all the observed or measured site factors, plots were grouped in three major groups related to site conditions and defined as follows : alluvial and colluvial sites, flats and slopes either on deep muddy soils or on stony soils. Topographic position, soil depth and soil drainage conditions had the highest correlation with measured site index. These variables and the three site groups have been successfully used as independent variables in a regression model that is an interesting tool for evaluating productive potential of a site for ash even devoid of trees.

**Keywords :** *Fraxinus excelsior* L., ash, production, site index, ecological factors.

---

(\*) Recherche financée par l'I.R.S.I.A. (Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture).

(1) Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Centre de Recherche et de Promotion forestières (I.R.S.I.A.) - Section "Ecologie".

(2) Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. Département des Eaux et Forêts. Unité de Gestion et Economie forestières.

## 1. Introduction

Au cours de ce siècle, le frêne a considérablement étendu son emprise, principalement par colonisation spontanée de terrains cultivés abandonnés lors de la crise agricole de la fin du siècle dernier, puis par plantation, après la dernière guerre. Il s'ensuit que l'étendue couverte par les frênaies<sup>(1)</sup> au sein de la région wallonne atteint aujourd'hui près de 5.000 ha, principalement situés en Condroz.

Lors des dernières décennies, ces peuplements, en majorité adultes, ont fourni une quantité non négligeable de grumes de haute qualité, très appréciées sur le marché du bois, de telle sorte que du statut d'essence secondaire, le frêne est passé à celui d'essence noble.

Les plus belles billes ont été vendues à des prix élevés<sup>(2)</sup> sur le marché des grumes feuillues de tranchage et de déroulage. Ces prix, ainsi que le regain d'intérêt pour les essences feuillues indigènes, ont attiré l'attention des sylviculteurs et engendrent une extension des plantations, ce qui justifie largement le besoin de caractériser, aussi précisément que possible, les stations où la sylviculture du frêne mérite d'être entreprise ou développée.

Le présent document s'attache à identifier les principaux facteurs de production du frêne au sein du Condroz et propose un modèle de prévision de la productivité des stations potentielles applicable aussi bien en site forestier qu'en zone agricole.

Nous décrirons d'abord le matériel d'étude (paragraphe 2) et nous exposerons la méthode de travail utilisée (paragraphe 3). L'identification des facteurs de production des frênaies (paragraphe 4) sera complétée par la construction d'un modèle de prévision de la productivité des stations (paragraphe 5). Les principaux résultats auxquels nous avons abouti feront l'objet de quelques brèves conclusions (paragraphe 6).

## 2. Matériel d'étude

L'étude de la productivité stationnelle du frêne s'est déroulée dans le cadre écologique du Condroz au sens large, c'est-à-dire au sein des secteurs écologiques<sup>(3)</sup> condruziens (le Condroz proprement dit) et sambro-condruzien (extension du Condroz dans l'Entre-Sambre-et-Meuse), ce dernier n'ayant été considéré que dans sa partie orientale. Ce territoire a été choisi en raison de l'ampleur des surfaces occupées par le frêne et de l'importance économique locale de celui-ci. L'étude de productivité proprement dite a été effectuée à partir de données récoltées au sein de placettes

---

(1) Peuplement où le frêne occupe au moins deux tiers de la surface terrière totale des essences présentes.

(2) A ce titre, le frêne se classe en deuxième position derrière le merisier sur le marché des bois sur pied ; il peut atteindre, pour les dimensions les plus rémunératrices, le double du prix du chêne.

(3) Pour plus de précisions au sujet de la notion même de secteurs, entités géographiques globalement caractérisées par des paramètres climatiques et géologiques, on se référera à l'étude de DELVAUX et GALOUX [1962] et ONCLINCX *et al.* [1987].

(échantillons de quelques ares) situées dans des peuplements répartis sur toute la zone concernée (fig. 2.1).

## 2.1. Conditions écologiques générales

### 2.1.1. Le climat

Le climat tempéré subocéanique du Condroz est caractérisé par une température moyenne annuelle allant de 8 °C sur le plateau de Ciney, à 9 °C à l'Ouest de la Meuse ; les moyennes mensuelles des mois le plus froid et le plus chaud étant respectivement de 1 à 2,5 °C et de 16 à 17 °C. La pluviosité, bien répartie tout au long de l'année, atteint un total annuel de 800 à 950 mm.

La région concernée se caractérise donc par une assez grande homogénéité climatique qui simplifie considérablement l'étude stationnelle.

### 2.1.2. Le sol

La géomorphologie générale de cette région de moyenne altitude (200 à 300 mètres) résulte de l'alternance de larges dépressions limono-calcareuses (étages Viséen et Tournaisien) généralement cultivées, et de reliefs essentiellement psammitiques (étage Famennien), plus fréquemment boisés. Ces substrats géologiques confèrent au sol une fertilité chimique globalement élevée.

La couverture loessique, parfois épaisse, a donné naissance à une majorité de sols bruns lessivés moyennement profonds à profonds. Cette tendance s'accroît d'Est en Ouest.

Les conditions extrêmes d'hydromorphie (sols présentant des taches de rouille dans les 40 premiers centimètres) n'ont pas été étudiées. THILL [1970] a en effet montré que les sols hydromorphes sont propices au développement du chancre et le bois produit présente rapidement le défaut du "coeur gris", coloration qui n'affecte pas les propriétés technologiques, mais qui entraîne actuellement une dévaluation de l'ordre de 50 % du prix de vente des arbres sur pied.

### 2.1.3. Les associations phytosociologiques

En raison de l'histoire des forêts du Condroz (surexploitation tant du sol que des peuplements, défrichements, abandon ou plantation de terres agricoles, ...), les associations phytosociologiques sont généralement perturbées. Seulement 16 % des placettes sont installées dans des forêts vieilles de plus de deux siècles, par ailleurs très dégradées par le traitement sylvicole, et 33 % dans des frênaies de première génération sur un sol agricole, extériorisant une flore essentiellement nitrophile exempte de géophytes (*Primulo-Carpinetum urticetosum*).

Il est donc souvent difficile de rattacher avec certitude une frênaie à un type phytosociologique que l'on pourrait qualifier de potentiel, mais si l'on s'en tenait, comme NOIRFALISE [1984], à un point de vue descriptif, la quasi-totalité des frênaies se situerait au sein du *Carpinion* (chênaies-charmaies). Nous nous sommes donc

appuyés, à l'instar de ROISIN [1987] sur la pédologie et sur différents facteurs du milieu pour ventiler les peuplements étudiés dans leurs alliances potentielles :

- les frênaies riveraines et alluviales (*Alno-Padion*) représentées par l'*Ulmo-Fraxinetum* et, dans une moindre mesure, par le *Stellario-Alnetum* ;
- les chênaies-charmaies paraclimaciques de l'aile riche du *Carpinion* développées sur limons, représentées par l'*Endymio-Carpinetum* dans le domaine atlantique à l'Ouest de la Meuse, et le *Primulo-Carpinetum* ;
- les frênaies de substitution de la hêtraie (*Fagion*) développées sur les sols caillouteux, représentées par le *Melico-Fagetum* et le *Carici-Fagetum* sur les sols calcaires les plus superficiels ;
- les érablaies de ravin (*Acerion pseudoplatani*) représentées par le *Tilio-Aceretum* sur sous-sol calcaire, et l'*Ulmo-Aceretum* sur sous-sol psammitique ou schisto-gréseux.

## 2.2. Le matériel ligneux

Les forêts de frêne du Condroz relèvent de plusieurs régimes : le taillis, peu représenté, maintenu principalement pour des raisons cynégétiques, le taillis sous futaie, héritage du passé, qui a souvent évolué vers la futaie claire et enfin la futaie sous diverses formes : la futaie claire pure ou le plus souvent mélangée, la futaie pure équienne provenant de plantations ou de régénérations massives (abandon de terres agricoles, mises à blanc de résineux, ...) et la futaie mélangée par groupes (issus de plages de régénération) ou même par pieds avec l'érable sycomore, le merisier et le chêne pédonculé.

L'étude a porté sur des peuplements ou groupes de frêne purs ou presque purs<sup>(1)</sup>, d'allure homogène, et la plupart équiennes ayant subi un traitement relevant de la futaie équienne très dense (30 m<sup>2</sup> de surface terrière) à bien éclaircie (15 m<sup>2</sup> de surface terrière). Ils sont distribués majoritairement (84 %) dans une gamme d'âges allant de 30 à 70 ans, et leurs hauteurs dominantes<sup>(2)</sup> s'échelonnent entre 13 et 33 m.

## 2.3. La récolte des données

Les données écologiques, dendrométriques et sylvicoles utilisées dans cette étude ont été récoltées au sein de 81 placettes dont les surfaces varient de 2,5 à 60 ares selon l'âge, l'homogénéité des peuplements et les contraintes pratiques d'installation. Cet échantillon représente globalement l'éventail des stations naturelles où le frêne peut dominer spontanément dans l'association forestière, excepté dans les stations hydromorphes eu égard aux raisons évoquées antérieurement.

Au sein de chacune des placettes, le peuplement est homogène, au moins dans l'étage dominant, quant à l'âge, au traitement et à la distribution spatiale des bois. En

---

(1) Tous les peuplements pris en compte comportent au moins 80 % de frêne en surface terrière.

(2) Par convention, dans cette étude, la hauteur dominante des peuplements de frêne définie par THIBAUT *et al.* [1992], est estimée par la moyenne arithmétique des hauteurs totales des 10 plus gros bois à l'hectare (1 par 10 ares) augmentés de une unité. Toutefois, en dessous de 10 ares, le nombre de hauteurs totales est égal à 2.

outre, la placette se situe impérativement au sein d'une seule station, c'est-à-dire d'une étendue homogène sur le plan écologique.

Dans les placettes ainsi définies, les mesures dendrométriques concernent l'âge et les hauteurs totales nécessaires à l'estimation de la hauteur dominante du peuplement. Quant aux observations portant sur la station, elles sont présentées dans le tableau 2.1. En ce qui concerne les données pédologiques, il s'agit de données simples qu'il est possible d'obtenir à l'aide d'une sonde pédologique.

### 3. Approche méthodologique utilisée

Afin de mettre en évidence les facteurs écologiques ayant vraisemblablement un effet sur la productivité des frênaies, nous avons fait appel à la notion d'indice de productivité. Comme cela est généralement admis dans le cas de peuplements équiennes dont la production totale en volume, à un âge donné, est inconnue, l'indice que nous avons utilisé est la hauteur dominante théoriquement atteinte par le peuplement à l'âge de référence de 50 ans. Celle-ci a été estimée pour chaque placette en se référant aux courbes de productivité construites pour la même région par THIBAUT *et al.* [1992].

Tableau 2.1. - Données stationnelles récoltées.  
*Ecological data collected.*

Historique sylvicole	<ul style="list-style-type: none"> <li>- âge du couvert forestier</li> <li>- antécédent culturel (culture, prairie, forêt)</li> <li>- origine de la frênaie (semis, plantation)</li> <li>- traitement sylvicole (futaie équienne dense ou claire, futaie claire, plantation)</li> </ul>
Environnement général	<ul style="list-style-type: none"> <li>- assise géologique</li> <li>- géomorphologie (altitude, morphologie, pente et exposition)</li> <li>- climat (température moyenne annuelle, précipitations annuelles)</li> </ul>
Pédologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- acidité à deux niveaux de profondeur (Hellige pH-meter)</li> <li>- type d'humus</li> <li>- classe de drainage : profondeur du pseudogley ou du gley éventuel</li> <li>- état de fraîcheur du sol</li> <li>- épaisseur de l'horizon humifère</li> <li>- compacité, pierrosité et texture des différents horizons</li> <li>- profondeur du sol<sup>(1)</sup></li> </ul>
Phytosociologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- relevé phytosociologique (méthode BRAUN-BLANQUET)</li> <li>- diagnostic phytosociologique de la station</li> </ul>

Suite aux nombreuses observations effectuées sur le terrain, nous avons constaté que plusieurs facteurs du milieu ayant a priori une influence significative

<sup>(1)</sup> La profondeur du sol, mesurée lors d'un sondage pédologique à la tarière, correspond en fait à la profondeur de sol sondable (qui est dépendante de l'état d'humidité de celui-ci et de sa charge caillouteuse) et non à la profondeur utile, au sujet de laquelle une estimation a été donnée. En outre, pour des raisons pratiques évidentes, le sondage ne dépasse pas un mètre.

sur la productivité du frêne méritaient une analyse plus fouillée, compte tenu de leur interaction avec d'autres facteurs. C'est la raison pour laquelle nous avons procédé à une analyse structurée en *trois étapes* complémentaires :

- la première, essentiellement orientative, a consisté à étudier, pour l'ensemble de l'échantillon de placettes, les relations existant entre l'indice de productivité et diverses variables tant qualitatives que quantitatives (§ 4.1) ;
- la deuxième a permis d'identifier des groupes de stations caractérisés par une homogénéité aussi grande que possible de ces mêmes variables (§ 4.2) ;
- la troisième a permis d'affiner les relations liant la productivité aux variables écologiques en raisonnant à l'échelle de ces groupes de stations (§ 4.3).

Les principaux facteurs explicatifs de la productivité des stations vis-à-vis du frêne ayant été dégagés, nous avons ensuite cherché à établir une relation entre ceux-ci et l'indice de productivité (§ 5).

Nous avons ainsi construit un modèle combinant des variables écologiques exclusivement qualitatives s'identifiant à tel ou tel groupe de stations et des variables écologiques brutes qualitatives. Dans son principe, cette méthode est comparable à celle utilisée par GREEN *et al.* [1989] dans la mise en œuvre d'un modèle de prédiction de la production du douglas.

#### 4. Identification des principaux facteurs écologiques liés à la productivité

##### 4.1. Etude orientative

Pour toutes les placettes disponibles nous avons étudié les relations existant entre l'indice de productivité (H50) d'une part, et les principaux facteurs écologiques observés, d'autre part. Il s'est avéré qu'une dizaine d'entre eux (tableau 4.1) méritaient d'être pris en considération.

L'influence des variables quantitatives a été précisée par l'analyse de leur corrélation avec l'indice de productivité tandis que pour les variables qualitatives nous avons déduit, des analyses de variances, le degré de signification des différences observées, en termes de valeur d'indice de productivité, entre les diverses modalités prises par ces variables.

Tableau 4.1. - Incidence des facteurs écologiques sur l'indice de productivité (H50).  
*Incidence of the ecological factors on the site index (H50).*

Variables quantitatives	Corrélation avec H50	
	signe	signification(°)
- âge du couvert forestier	-	*
- altitude	-	*
- pente	-	NS
- profondeur du sol	+	***
- acidité du sol	-	NS
- acidité en profondeur (50 cm)	-	NS



Variables qualitatives	Signification (°) des différences maximales entre niveaux
- étage géologique	***
- géomorphologie	***
- antécédent cultural	*
- pierrosité	NS
- classe de drainage	*
- association phytosociologique	***

(°) Niveaux de signification : \* :  $\alpha \leq 0,05$  ; \*\* :  $\alpha \leq 0,01$  ; \*\*\* :  $\alpha \leq 0,001$  ; NS : non significatif avec  $\alpha < 0,10$ .

Cette analyse fait ressortir quelques tendances : parmi les variables de type quantitatif, seule l'altitude serait nettement corrélée à l'indice de productivité (H50). En ce qui concerne les variables de type qualitatif, l'étage géologique, la géomorphologie et l'association phytosociologique, justifieraient des différences très nettes de productivité.

Il convient cependant d'observer l'existence de corrélations parfois assez importantes entre variables explicatives elles-mêmes ; c'est par exemple le cas entre la pente et la profondeur de sol ( $r = 0,65$ ) ou encore entre l'altitude et l'acidité du sol en surface ( $r = - 0,53$ ). Pareil constat incite à approfondir le bien-fondé des variables à prendre en considération.

Il est vraisemblable que la grande amplitude de variation de l'indice de productivité (allant de 19,6 à 30,6 m) traduisant la diversité stationnelle des placettes, puisse s'expliquer par l'existence de nombreuses combinaisons de facteurs de type favorable ou défavorable à la croissance du frêne. On peut légitimement supposer que l'indice de productivité des frênaies est aussi bien le reflet de la dominance de l'un ou l'autre type de facteur que des compensations ou des effets cumulatifs pouvant exister entre ceux-ci.

#### 4.2. Constitution de groupes de stations

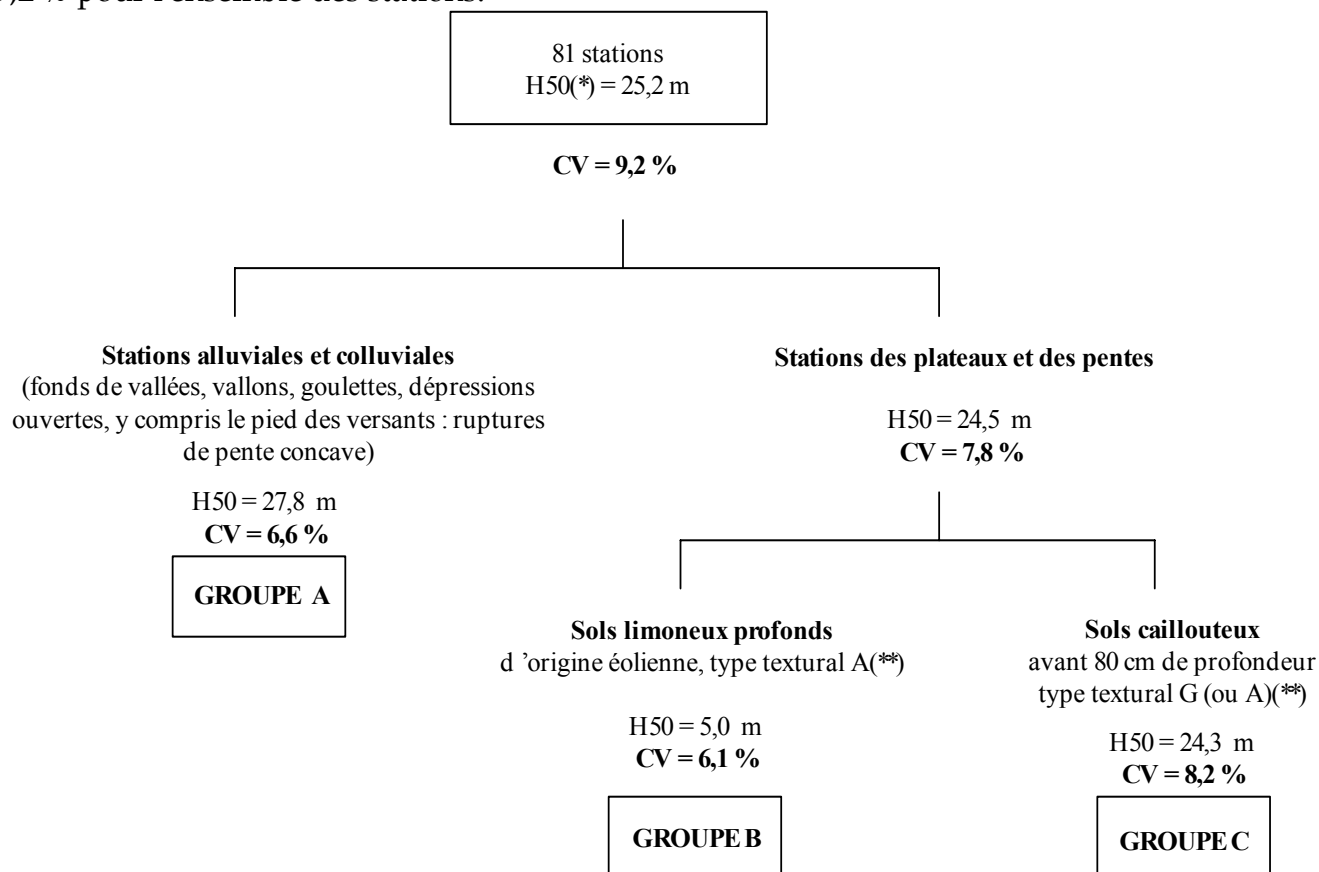
Les mêmes facteurs écologiques peuvent avoir des influences différentes selon les stations considérées. Afin de limiter cette interdépendance et donc de mieux cerner le poids de chaque variable prise en compte, nous avons identifié des groupes homogènes de placettes.

Sur la base des connaissances acquises en matière d'étude des stations [NOIRFALISE, 1984 ; SOUGNEZ, 1978] et de comportement du frêne [LECLERCQ, 1975 ; LE GOFF, 1982 ; THIBAUT *et al.*, 1992 ; THILL, 1970 ; THILL et MATHY, 1980] et à l'appui d'observations réalisées in situ, nous avons identifié trois principaux groupes de stations (figure 4.1) au sein desquels on peut s'attendre à ce qu'il existe une plus grande homogénéité des facteurs écologiques. Le bien-fondé de cette division empirique a été partiellement confirmé par les valeurs des coefficients de variation de l'indice de productivité, celles-ci étant en moyenne plus faibles au sein des groupes (6,9 %) que pour l'ensemble des stations (9,2 %).

Une première subdivision a été opérée en distinguant d'une part les stations alluviales et colluviales (groupe A), et d'autre part, les stations des plateaux et des

pentés, ces dernières stations faisant à leur tour l'objet d'une distinction selon la nature des sols : limoneux profonds (groupe B) ou caillouteux (groupe C).

Le premier groupe (groupe A) rassemble les stations situées en dépression dans le paysage et concerne principalement les terrasses alluviales, fonds de vallées, dépressions ouvertes (excepté les concavités des plateaux), têtes de vallons, goulettes, pieds des pentes, etc. Il s'agit de stations caractérisées par des sols de colluvions ou d'alluvions profonds, constamment pourvus en eau, à texture et structure favorables à une bonne aération et à une bonne rétention hydrique, à grande richesse minérale. Le coefficient de variation de l'indice de productivité est de 6,6 % alors qu'il était de 9,2 % pour l'ensemble des stations.



(\*) H50 = indice de productivité (hauteur dominante théoriquement atteinte par le peuplement à l'âge de 50 ans).

(\*\*) D'après la légende de la carte des sols de la Belgique [Avril, 1987].

Figure 4.1. - Présentation schématique des 3 groupes de stations.  
Schematic presentation of the 3 site types.

Le deuxième groupe (groupe B) rassemble les sols limoneux profonds, de type textural A et caractérisés par l'absence totale de charge caillouteuse avant 80 cm de profondeur. Ces sols à texture limoneuse en situation de plateau ou de faible pente, à régime hydrique dépendant plus directement des conditions climatiques et dans lesquels le lessivage est important sont aussi plus pauvres. Au sein de ce groupe, le coefficient de variation de l'indice de productivité vaut 6,1 % au lieu de 7,8 % observé pour l'ensemble des stations de plateaux et de pentes (groupes B et C réunis).

Le troisième groupe (groupe C) englobe les stations caractérisées par un sol caillouteux, généralement moins profond, situé en position dominante dans le relief, et de ce fait moins bien pourvu en réserves hydriques. Au sein de ce groupe, la

variation de l'indice de productivité reste importante (8,2 %), mais est sous le contrôle d'un nombre limité de variables qui agissent dans un nombre réduit de combinaisons. Il s'agit principalement de la profondeur de sol, du complexe pente-exposition et de la nature géologique de la roche-mère.

### 4.3. Incidence des facteurs écologiques sur la productivité

Sur la base de l'étude orientative (§ 4.1) et de la prise en compte des groupes de stations définis ci-avant (§ 4.2), nous avons tenté de mieux préciser l'influence des variables écologiques envisagées.

Seules quatre d'entre elles : la situation topographique, la profondeur de sol, la présence d'hydromorphie et l'économie en eau ont été retenues eu égard à leur signification sur la variation de l'indice de productivité.

#### 4.3.1. La situation topographique

Les différentes modalités prises par cette variable qualitative ont été regroupées en trois classes principales ; les stations présentant une nappe phréatique ont été exclues.

On constate que seule l'unité topographique rassemblant les stations en dépression se démarque significativement des autres (tableau 4.2). Il est utile de signaler, au passage, qu'à l'intérieur du groupe C (pentes et plateaux à sol caillouteux) les stations du type phytosociologique de l'érablaie (fortes pentes ombragées) sont caractérisées par un indice de productivité supérieur de 1,8 m ; mais cette différence n'est pas significative.

Tableau 4.2. - Effet de la situation topographique sur l'indice de productivité.

*Incidence of the topography on the site index (H50) .*

Types topographiques	Nombre d'observations	H50 (m)	CV (%)	Différences (m)
Plateaux (pente < 5 %) (Groupes B et C)	31	24,1	6,5	
Pentes > 10 % (Groupe C)	10	24,6	8,4	
Vallées et dépressions (Groupe A)	12	27,5	6,7	

D'autre part, si nous comparons seulement les groupes A et B de manière à ne traiter que les stations sur sol limoneux profond et à topographie plate, la différence entre indices de productivité observés sur les stations des plateaux et sur celles de vallées est du même ordre (tableau 4.3).

Tableau 4.3. - Effet de la situation topographique sur l'indice de productivité.  
*Incidence of the topography on the site index (H50).*

Groupes de stations	Nombre d'observations	H50 (m)	CV (%)	Différences (m)
Limons des pentes faibles et plateaux (Groupe B)	14	24,5	3,9	2,6***
Limons des vallées et dépressions (Groupe A)	8	27,1	6,2	

#### 4.3.2. La profondeur du sol

Le tableau 4.4 présente les valeurs des indices de productivité par classes de profondeur<sup>(1)</sup> du sol.

Tableau 4.4. - Effet de la profondeur du sol sur l'indice de productivité des frênaies - toutes stations confondues.  
*Incidence of soil depth on the site index (H50) - all sites.*

Profondeur (cm)	Nombre d'observations		H50 (m)		CV (%)		H50 (m)	
							min.	max.
< 40	7		22,6		8,8		19,6	25,9
40-59	3	34	24,9	24,9	8,9	7,7	22,3	26,4
60-79	13		24,6		6,1		21,4	27,3
80-99	18		25,2		8,7		20,5	29,3
≥ 100	40		26,0		8,9		22,1	30,6

L'effet de la profondeur du sol ne se marque que dans les situations extrêmes. En ce qui concerne les profondeurs comprises entre 40 et 100 cm, la valeur moyenne de H50 est proche de la moyenne générale pour l'ensemble des frênaies, soit 25,2 m. Elle chute fortement dans les sols superficiels (< 40 cm), quelle que soit leur nature géologique (différence de 2,3 m très hautement significative), tandis que les sols profonds (> 100 cm) semblent être plus productifs (différence de 1,1 m très hautement significative).

Par le jeu des compensations dues aux autres facteurs édaphiques favorables, les sols de profondeur moyenne à faible (40 à 100 cm) sont susceptibles d'extérioriser une productivité très élevée. Dans certains cas, elle peut simplement résulter d'une profondeur utile supérieure à la profondeur de sondage, en raison de la capacité du frêne à s'encrenner dans les zones de faiblesse de la roche-mère (cas fréquent en sol calcaire), ou encore en raison de l'importance de la charge caillouteuse qui a limité le sondage.

Cependant, une analyse plus fine (tableau 4.5) peut être effectuée soit en excluant les stations drainées des pentes (à caractère sec), soit les stations à nappe phréatique permanente et les stations alluviales et colluviales (à caractère frais), soit en ne traitant que ces dernières, ou encore en ne considérant que l'ensemble des stations du groupe C. Dans tous les cas, cette analyse fait apparaître qu'il existe une

<sup>(1)</sup> Rappelons qu'il s'agit de la profondeur de sondage.

profondeur du sol pour laquelle la conjonction de facteurs de compensation ne suffit plus à rehausser la productivité. En effet, cette dernière chute irrémédiablement dans les sols superficiels (< 40 cm). Cependant le frêne se trouve encore à l'état disséminé sur ces sols, surtout en région calcaire, à la faveur de fissures de la roche-mère, ou à l'occasion de conditions microtopographiques favorables. Il n'est cependant pas souhaitable qu'il y soit l'objectif principal d'une sylviculture de production.

La profondeur peut donc être considérée comme un facteur limitant si elle n'atteint pas au moins 40 cm. Si elle dépasse 100 cm elle ne donne pas pour autant lieu à une productivité significativement supérieure à celle atteinte dans des sols peu ou moyennement profonds (de 40 à 100 cm).

Tableau 4.5. - Effet de la profondeur du sol sur l'indice de productivité.  
*Incidence of the soil depth on the site index (H50).*

Classes de profondeur de sol	Nombre d'observations	H50 (m)	CV (%)	Différences (m)
Plateaux des groupes B et C,				
< 40 cm	3	22,1	4,8	
40-99 cm	23	24,8	7,4	
≥ 100 cm	21	24,4	6,2	
Pentes du groupe C,				
< 40 cm	4	23,1	11,1	
≥ 40 cm	6	25,6	3,2	
Pentes et plateaux du groupe C,				
< 40 cm	7	22,6	8,8	
≥ 40 cm	39	24,6	7,6	

#### 4.3.3. La présence d'hydromorphie

L'hydromorphie du sol peut se présenter sous deux formes ayant des conséquences différentes sur la productivité ; l'une est induite par une *nappe phréatique perchée temporaire* et l'autre par une *nappe phréatique permanente*.

L'hydromorphie induite par une *nappe perchée* et se traduisant par la présence d'un pseudogley, est temporaire et liée à une barrière à la migration verticale de l'eau, constituée, dans le cas des stations limoneuses de plateau, par un horizon textural enrichi d'argile (Bt) à plus ou moins grande profondeur (généralement de 60 à 80 cm). Il s'ensuit un engorgement hivernal du sol au dessus de cette barrière, qui est évapotranspiré au cours de la période de végétation pour faire place à un dessèchement estival non compensé par une migration verticale de l'eau. L'ampleur de ce double stress hydrique dépend de l'importance et de la profondeur de cet horizon induré. Ce phénomène, fréquent dans les frênaies naturelles sur limon, affecte 19 % de l'ensemble des stations étudiées et 39 % des stations de limons

éoliens. Il est une des causes de la dominance du chêne et du frêne dans les forêts paraclimaciques, car ces essences ont un enracinement adapté. En effet, nos observations lors des sondages ont confirmé que le frêne est capable de développer un enracinement réduit à travers ce pseudogley, lorsque celui-ci n'est ni très prononcé, ni associé à un horizon trop compact, et qu'il compense surtout ce handicap par un important développement de racines latérales [THILL, 1970].

Bien que les deux stations les moins productives parmi le groupe des sols limoneux (groupe B) présentent les symptômes d'une nappe perchée, nous n'avons pu dégager de différence significative de productivité qui lui serait liée.

L'hydromorphie induite par la présence d'une *nappe permanente* à faible profondeur peut se rencontrer dans les vallées et les dépressions. Elle est donc dans ce cas une source d'approvisionnement régulier en eau, mais elle pourrait aussi être la cause de l'asphyxie des racines et de ce fait limiter la croissance des frênes. La profondeur à laquelle apparaît le gley est alors déterminante. Cependant, dans les sols alluviaux, qui sont par nature légers et aérés, l'anaérobiose est moins prononcée voire inexistante, car l'eau circule normalement et reste oxygénée. Dans les textures légères à fraction sableuse importante, la remontée hivernale de la nappe ne se traduit pas toujours par une asphyxie du sol.

Lorsque le pseudogley se manifeste à plus de 40 cm de profondeur et que le gley n'apparaît pas avant 100 cm<sup>(1)</sup> (classes de drainage b, c, d ou h et e supérieures) l'indice de productivité des frênaies de plateau est significativement supérieur de 3 m, comme le montre le tableau 4.6. On remarquera que l'effet d'une nappe phréatique n'apparaît pas comme significatif dans les sols alluviaux qui, par nature, ne manquent généralement pas d'eau, toutes autres conditions écologiques étant pratiquement à l'optimum.

Par contre, lorsque les taches d'oxydo-réduction apparaissent à plus faible profondeur, l'indice de productivité chute très rapidement et le frêne peut d'ailleurs être totalement exclu de la station (cas des aulnaies marécageuses). L'humidité du sol devient alors le facteur limitant dans les cas les plus extrêmes.

Tableau 4.6. - Effet d'une nappe permanente à faible profondeur sur l'indice de productivité.

*Incidence of a water table near the soil surface on the site index (H50).*

Groupes de stations		Nombre d'observations	H50 (m)	CV (%)	Différences (m)
Limons des plateaux (groupe B)	avec nappe	3	27,5	4,4	3,01***
	sans nappe	14	24,5	3,9	
Alluvions (groupe A)	avec nappe	6	28,4	6,2	1,23 NS
	sans nappe	8	27,1	6,2	

#### 4.3.4. L'économie en eau

(1) La compacité du sol et l'intensité du phénomène peuvent sans aucun doute faire varier ces limites.

Les trois facteurs mis en évidence (physiographie, profondeur du sol, présence d'une nappe phréatique) contribuent à maintenir une réserve d'eau constamment à la disposition des racines. Pour évaluer l'effet de l'économie en eau sur l'indice de productivité, les stations ont été classées selon une échelle d'état de fraîcheur du sol. Celle-ci a été déterminée à partir d'une estimation de l'état d'humidité du sol à différentes périodes de l'année (notamment durant l'été 1991 particulièrement sec), des possibilités d'approvisionnement latéral en eau (topographie), de la capacité de rétention des sols (texture, profondeur), et de la présence éventuelle d'un obstacle à la migration de l'eau dans le sol (horizon Bt).

Parallèlement, nous avons classé ces mêmes parcelles selon leur indice de productivité.

Le coefficient de corrélation de rang de SPEARMAN ( $r_s$ ) caractérisant la relation entre ces deux classements vaut 0,44, ce qui traduit un effet positif de la fraîcheur du sol sur la productivité de la frênaie.

#### 4.3.5. L'assise géologique

En Condroz, l'assise géologique est un facteur qui intervient en second lieu<sup>(1)</sup>. En dehors de l'ardenne condruzienne, trois groupes de roche-mères sont en présence : les psammites (Famennien), les calcaires (Dinantien) et les alluvions modernes.

Globalement, comme le montre le tableau 4.7, les alluvions modernes des vallées (Alm) et des pentes (Ale) sont les plus favorables au frêne et se différencient d'une manière très hautement significative des assises calcaires du Dinantien (Viséen et Tournaisien) psammitiques du Famennien et loessiques du quaternaire, non significativement différentes entre elles.

Tableau 4.7. - Effet de l'assise géologique sur l'indice de productivité (toutes stations confondues).

*Incidence of the geology on the site index (H50) (all sites).*

Assises géologiques	Nombre d'observations	H50 (m)	CV (%)	Différences (m)
Famennien	22	24,6	9,5	
Dinantien	31   70	25,2   24,8	9,4   8,5	
Loess	17	25,0	6,1	
Alluvions	10	28,1	4,9	

Par contre, si on ne s'attache qu'aux stations caillouteuses du groupe C, dans lesquelles la nature de la roche-mère géologique joue un rôle direct par la charge caillouteuse du sol, les frênaies localisées sur assises calcaires ont un indice de

<sup>(1)</sup> Rappelons qu'en Condroz, cette richesse chimique est généralement suffisante et n'intervient pas comme facteur limitant.

productivité significativement supérieur de 1,8 m à celles des assises psammitiques. Cette différence n'est cependant pas confirmée par les valeurs de l'acidité du sol.

Ces résultats confirment le comportement neutro-nitrophile du frêne.

#### 4.3.6. Les autres facteurs

Parmi les autres données écologiques révélées par l'analyse préliminaire (tableau 3.1), nous n'en avons retenu aucune, malgré le fait que certaines aient un effet significatif mais indirect sur l'indice de productivité des frênaies. Des différences significatives lors de l'analyse de la variance ont cependant été observées, ainsi que quelques corrélations très nettes mais sans signification écologique (pluviosité, température, ...) ou ayant une signification très complexe (altitude). Nous n'en évoquerons que deux à titre d'exemple, à savoir *l'antécédent cultural* et *l'altitude*.

En ce qui concerne *l'antécédent cultural*, il va de soi qu'une frênaie qui s'est développée sur un sol autrefois cultivé extériorise une meilleure productivité que sur un sol depuis toujours forestier : les améliorations diverses qui ont été apportées au sol (fertilisation, amendements, ...) profitent à la forêt qui fait suite aux cultures et herbages. Il nous a cependant été impossible de mettre cette différence attendue en évidence, faute d'avoir des bases de comparaison suffisantes. En effet, d'une part, les terrains abandonnés récemment par l'agriculture étaient déjà par nature des sols à haute valeur intrinsèque, et d'autre part, les sols qui ont toujours été forestiers sont généralement de plus faible valeur. Il n'est donc pas indiqué de comparer ces deux ensembles, même si une analyse globale révèle une différence significative de 1,2 m.

Dans un autre ordre d'idées, l'effet permanent des fertilisations effectuées dans l'environnement immédiat des petites parcelles forestières enclavées en zone cultivée est probablement non négligeable, a fortiori si la frênaie entre en contact direct par ses racines avec la nappe phréatique. Là aussi, les données sont trop ponctuelles pour aborder ces cas fort particuliers.

En ce qui concerne *l'altitude*, l'effet de celle-ci sur l'indice de productivité est net mais l'explication du phénomène est complexe et d'application trop locale pour que ce critère soit pris en compte.

En Condroz, les sommets (tiges) culminant à 300 m sont généralement psammitiques alors que les dépressions (chavées) situées vers 200 m, sont plutôt calcaires et colluvionnées ou sur alluvions. Il s'ensuit que les stations situées aux altitudes les plus élevées sont moins fertiles (sols psammitiques, souvent moins profonds, à texture limono-sableuse, drainés), tandis que celles de basses altitudes sont plus riches (sols profonds à texture limono-argileuse idéalement rétentive, sur roche-mère calcaire, et bénéficiant d'apports latéraux d'eau, et sols alluvionnaires des vallées).

Cependant, les valeurs de l'altitude sont relatives : en Ardenne, 300 m correspondrait à l'altitude la plus basse, tandis qu'en région limoneuse, 200 m serait le point culminant. Le choix de cette variable ne nous paraît donc pas judicieux.



## 5. Modèle de prévision de la productivité potentielle des stations vis-à-vis du frêne

Après avoir testé plusieurs équations aptes à expliquer la variabilité de l'indice de productivité, nous avons retenu celle qui s'est avérée la plus précise et la plus facilement transposable dans la pratique.

Le modèle proposé met en œuvre sept variables qualitatives prenant respectivement les valeurs 1 ou 0 selon qu'elles sont présentes ou non. Celles-ci se définissent comme suit :

- STA : station se rattachant au groupe A (alluvions et colluvions)
- STB : station se rattachant au groupe B (sols limoneux des plateaux)
- STC : station se rattachant au groupe C (sols caillouteux des pentes) sur roche-mère calcaire uniquement
- NPP : nappe phréatique de plateau (liée à STB)
- NPA : nappe phréatique alluviale (liée à STA)
- PRO : profondeur du sol inférieure à 40 cm
- ER : station des fortes pentes ombragées appartenant au type phytosociologique de l'érablaie.

Le modèle qui a été retenu est le suivant :

$$H50 = 23,9 + 3,6 STA + 1,3 STC + 0,6 STB + 3,0 NPP + 0,9 NPA + 1,6 ER - 2,5 PRO$$

( $R^2 = 0,56$ )

La mise en œuvre de ce modèle implique de ventiler les stations en quatre groupes principaux (figure 4.1), le groupe C ayant été subdivisé selon le type de roche-mère géologique : calcaire ou psammitique. A chacun de ces groupes est associée la valeur de l'indice de productivité moyen des stations, à l'exclusion des situations particulières (faible profondeur du sol, présence d'une nappe phréatique, ...), qui sont ensuite utilisées individuellement comme facteurs correctifs de cette moyenne.

Pour juger de la pertinence du modèle, nous avons analysé la relation entre l'indice de productivité observé dans les placettes et l'indice estimé par le modèle (tableau 5.1).

Tableau 5.1. - Caractéristiques de la relation entre les indices de productivité observés et estimés.  
*Characteristics of the relation between measured site index and estimated site index.*

Critères d'évaluation	
Coefficient de détermination ( $R^2$ )	0,56
Résidus (m)	
- écart-type	1,5
- maximum (val. abs.)	3,6
- moyen	0,0
Proportion de résidus	
- supérieurs à 1,5 m	28 %
- supérieurs à 3 m	7 %

Le coefficient de détermination  $R^2$  est relativement élevé compte tenu de la complexité de la variabilité que l'on tente d'expliquer. Le modèle ne peut en effet maîtriser, à partir des variables qu'il met en œuvre, les valeurs extrêmes de l'indice de productivité qui sont sous la dépendance de facteurs du milieu à caractère exceptionnel ou très particulier, ou même inexplicables et qui ne peuvent entrer dans la construction d'un tel modèle, sous peine de le compliquer exagérément. Il s'ensuit une sous-estimation de la productivité estimée pour les stations exceptionnellement bonnes, ainsi qu'une surestimation de la productivité des plus mauvaises.

Si l'on procède à l'analyse des résidus, on constate que la valeur absolue du résidu maximum est de 3,6 m et que la distribution des résidus a un écart-type de 1,5 m. L'erreur est donc inférieure à 1,5 m dans 66 % des cas, alors que l'amplitude observée de la variation de la hauteur dominante vaut 11 m ; l'écart ne dépasse 3 m que dans 5 % des cas, ce qui représente une erreur de l'ordre d'une classe de productivité.

La diversité des sources d'erreurs peut partiellement expliquer l'amplitude des écarts.

En premier lieu viennent les imprécisions de caractérisation des stations. Par exemple l'hétérogénéité du sol peut échapper aux sondages pédologiques qui l'ont défini ; ou encore la profondeur du sol exploitée par les racines (profondeur utile) peut être nettement différente de la profondeur sondable. A cela il faut ajouter les erreurs expérimentales portant sur la détermination de l'âge, de la hauteur dominante, de l'une ou l'autre caractéristique stationnelle, etc.

Compte tenu de la complexité d'une station et de ses relations avec le peuplement, la prédiction fournie par l'équation stationnelle peut être considérée comme acceptable. En effet, dans 95 % des cas, l'erreur sera inférieure à une classe de productivité, et ce, même en l'absence de peuplement sur la station, puisque aucun des indicateurs figurant dans l'équation n'est relatif à ce dernier.

Il est aussi possible d'estimer la productivité potentielle des stations vis-à-vis du frêne à partir de la clef présentée dans le tableau 5.2, construite empiriquement sur les mêmes bases que le modèle exposé, qui en est l'expression mathématique.

## 6. Conclusions

A partir d'un échantillon de 81 placettes installées dans des futaies de frêne condruziennes, nous avons tenté d'isoler les principaux facteurs écologiques de production du frêne.

On a pu établir que les deux facteurs les plus corrélés avec l'indice de productivité (hauteur dominante atteinte à 50 ans) des frênaies sont, suite à leur influence sur l'économie en eau, la topographie en dépression et la présence d'une nappe phréatique accessible aux racines. Ils interviennent chacun pour environ 3 m (soit un gain d'une classe de productivité) sur la hauteur dominante théoriquement atteinte à 50 ans par les peuplements de frêne, mais sans pour autant être cumulables totalement. La profondeur du sol peut se révéler limitante dans les cas extrêmes (profondeur inférieure à 40 cm), la géologie du sous-sol intervenant en second.

Tableau 5.2. - Clef d'estimation de la productivité potentielle des stations condruziennes vis-à-vis du frêne.

*Key to estimate the potential site productivity for ash in the Condroz.*

Groupes de stations		H50 (m)	Facteurs correctifs	Incidence sur H50 (m)	
sols des pentes et plateaux	<b>B</b> limoneux		24,5	présence d'une nappe phréatique (2)	+ 3,0
	<b>C</b> caillouteux	calcaires (Dinantien : Viséen et Tournaisien)	25,2	sol superficiel (profondeur ≤ 40 cm)	- 2,5
				versants ombragés (3)	+ 0,7
		Psammitiques (Famennien)	23,9	sol superficiel (profondeur ≤ 40 cm)	- 2,5
				versants ombragés(3)	+ 2,0
<b>A</b> Alluvions et colluvions de vallées		27,5	présence d'une nappe alluviale (2)	+ 0,9	

(1) voir figure 4.1. pour la définition précise de ces groupes.

(2) nappe phréatique au contact des racines : surmontée par un pseudogley très net visible au sondage.

(3) stations ombragées de l'érablaie (partie inférieure des grands versants accentués).

Si ce n'est pour la région limoneuse, l'extrapolation de ces données à d'autres régions naturelles est délicate. Par contre l'orientation générale des conclusions reste la même. Une attention particulière doit être apportée à la nature de la roche-mère qui peut devenir un facteur limitant en cas d'extrême pauvreté (Revinien, Bruxellien, Diestien, ...), ainsi qu'au climat, favorable et homogène en Condroz, mais certainement plus rigoureux, voire limitant, par exemple, en Haute Ardenne.

Ces facteurs ont servi de base à la construction d'un modèle de prévision de la productivité des stations vis-à-vis du frêne, applicable exclusivement en Condroz, tant en milieu forestier qu'en zone agricole, puisque aucune des variables utilisées ne dépend du peuplement ou de l'état de la strate herbacée. Cette particularité du modèle le rend spécialement intéressant pour son application dans le contexte actuel du boisement de terres délaissées par l'agriculture.

Dans 95 % des cas, la prévision est assurée avec une erreur inférieure à 3 m, soit de l'ordre de grandeur d'une classe de productivité [THIBAUT *et al.*, 1992].

Associé à l'étude de LECLERCQ [1975] consacrée à la qualité du bois de frêne, fondamentale sur le marché des feuillus nobles, ce modèle permet aussi de préciser les conditions les plus favorables à la culture du frêne de qualité, les stations les plus productives ne lui étant pas nécessairement les plus favorables.

### Remerciements

Il est agréable aux auteurs de remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette étude, en particulier, Messieurs J.P. MORIMONT et M. DELISEE, qui ont sillonné les frênaies du Condroz, le ruban et le Blume-Leiss à la main, afin d'y récolter les données nécessaires.

Ils remercient aussi les nombreux propriétaires forestiers qui leur ont permis d'installer des parcelles de mesure dans leurs bois.

Enfin, ils expriment leur gratitude à Madame M. EVRARD pour la qualité du travail d'encodage des données et de mise en page du présent texte.

### Bibliographie

- AVRIL P. [1987] - *Légende de la carte des sols de Belgique*. Gembloux, Faculté des Sciences agronomiques, 26 p.
- DELVAUX J., GALOUX A. [1962] - *Les territoires écologiques du Sud-Est belge. Travaux hors série*. Bruxelles, Université Libre de Bruxelles, Centre d'Ecologie générale, 311 p.
- GREEN R.N., MARSHALL P.L., KLINKA K. [1989] - Estimating site index of Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) from ecological variables in southwestern British Columbia. *Forest. Sci.* **35**, 50-63.
- LECLERCQ A. [1975] - La qualité du bois de frêne. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **10**, 497-526.
- LE GOFF N. [1982] - Productivité du frêne en région Nord-Picardie. A. - Courbes de croissance en hauteur. *Ann. Sci. For.* **39**, 259-288.
- NOIRFALISE A. [1984] - *Forêts et Stations forestières en Belgique*. Gembloux, Presses agronomiques, 234 p.
- ONCLINCK F., TANGHE M., GALOUX A., WEISSEN F. [1987] - La carte des territoires écologiques de la Wallonie. *Rev. belge géographie* **111**, 51-59.
- ROISIN P. [1984] - *Cours de phytosociologie forestière*. Gembloux, Faculté des Sciences agronomiques, 185 p. (non publié).
- SOUGNEZ N. [1978] - *La chênaie à charme du district calcaire mosan*. Communications n.s. 23, Gembloux, Faculté des Sciences agronomiques, Centre d'Ecologie forestière, 85 p.
- THIBAUT A., CLAESSENS H., RONDEUX J. [1992] - Etablissement de courbes de productivité pour les peuplements de frêne (*Fraxinus excelsior* L.) en région limono-calcaire du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse. *Cah. For. Gembloux* **7**, 20 p.
- THILL, A. [1970] - *Le frêne et sa culture*. Gembloux, Presses agronomiques, 85 p.
- THILL A., MATHY P. [1980] - La culture des essences précieuses en Belgique. *Ann. Gembloux* **86**, 1-32.

### Dans la même collection

- N° 1 La forêt et les forestiers : réalités, nouvelles approches et défis  
par J. RONDEUX
- N° 2 Pour une production ligneuse de qualité : impératifs écologiques et sylvicoles  
par Ph. BAIX, M. DETHIOUX et J. RONDEUX
- N° 3 Construction d'une table de production pour le douglas [*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO] en Belgique  
par J. RONDEUX, C. LAURENT et A. THIBAUT
- N° 4 Nouveaux développements dans l'usage de l'informatique dans l'aménagement forestier  
par J. RONDEUX
- N° 5 Les inventaires forestiers en Europe : Tentative de synthèse  
par H. LECOMTE et J. RONDEUX
- N° 6 Technique d'inventaire d'alignements forestiers : Application aux brise-vent situés dans le nord du Sénégal  
par J. HEBERT, S. VANWIJNSBERGHE, J. RONDEUX et A. TOUSSAINT

- N° 7 Etablissement de courbes de productivité pour les peuplements de frêne (*Fraxinus excelsior* L.) en région limono-calcaire du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse  
par A. THIBAUT, H. CLAESSENS, J. RONDEUX
- N° 8 Essai d'amélioration de la pisciculture de l'Ombre commun [*Thymallus thymallus* L.]  
par B. LAFFINEUR, W. DELVINGT, A. LAMOTTE
- N° 9 Le "Programme de développement de la Région Nord" en République Centrafricaine. L'expérience de la zone pilote de Sangba  
par T. d'ESPINEY, J. TELLO, W. DELVINGT
- N° 10 Management information systems : emerging tools for integrated forest planning  
par J. RONDEUX

---

Ce document a pu être édité grâce à l'appui d'un programme PRIME accordé par le Ministère de l'Emploi pour la Région Wallonne.