



**HAL**  
open science

## Production du Sapin pectiné et qualité de son bois selon les types de stations dans le Jura français et suisse

Guy-Didier Bert

### ► To cite this version:

Guy-Didier Bert. Production du Sapin pectiné et qualité de son bois selon les types de stations dans le Jura français et suisse. *Revue forestière française*, 1992, 44 (5), pp.415-429. 10.4267/2042/26341 . hal-03444168

**HAL Id: hal-03444168**

**<https://hal.science/hal-03444168>**

Submitted on 23 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# biologie et forêt

## PRODUCTION DU SAPIN PECTINÉ ET QUALITÉ DE SON BOIS SELON LES TYPES DE STATIONS DANS LE JURA FRANÇAIS ET SUISSE

G.D. BERT

Le Sapin pectiné est une essence indigène de grande importance économique dans le massif du Jura. Comme dans d'autres régions montagneuses de l'Est de la France, des symptômes alarmants de dépérissement sont apparus de façon plus ou moins diffuse à partir de 1984. Pour déterminer les causes de ce dépérissement et en comprendre le mécanisme, des recherches écologiques et dendrochronologiques ont été entreprises. Les premiers résultats de l'étude des largeurs de cernes ont montré que les sapinières jurassiennes, considérées dans leur ensemble, ont effectivement subi une période de crise entre 1973 et 1982, due en grande partie à des sécheresses prononcées (Bert et Becker, 1990). Elles bénéficient actuellement d'un net rétablissement du point de vue de la croissance radiale, tout comme les sapinières vosgiennes qui ont connu une évolution assez semblable (Becker, 1987 ; Becker et Lévy, 1988).

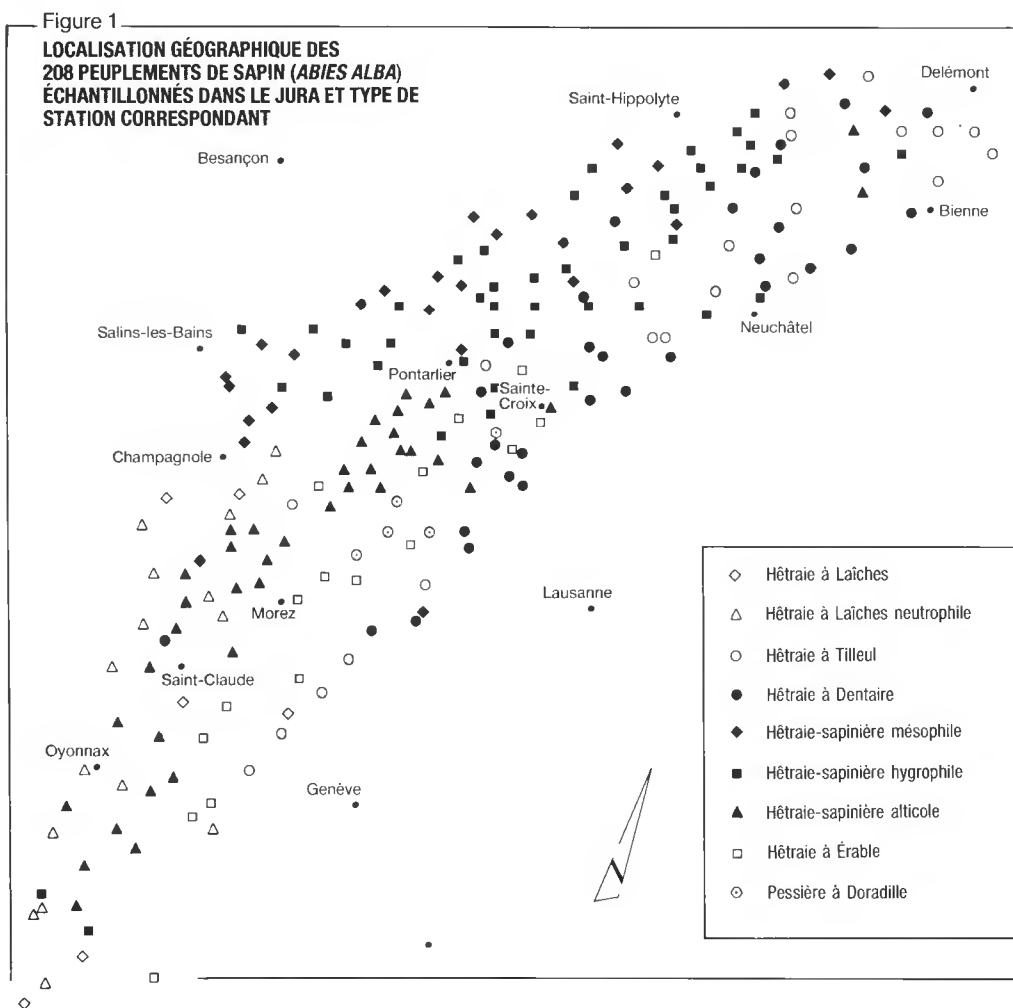
Cependant, certains peuplements sont aujourd'hui encore dépérissants. L'hypothèse d'une plus grande sensibilité de certains peuplements, en rapport avec des conditions de stations particulières, a donc été émise. Les études correspondantes passent par l'utilisation d'une typologie des stations préalablement construite. Au départ de nos travaux, cette typologie était encore fragmentaire du point de vue géographique et hétérogène pour une utilisation sur l'ensemble du massif. Un premier dispositif de 87 placettes d'observations et de mesures, mis en place en 1987 dans les départements du Doubs et du Jura, a été étendu en 1989 à l'ensemble du massif, tant dans sa partie française que suisse. Ainsi, notre étude de terrain a permis, entre autres choses, de rassembler les éléments nécessaires à un examen général de la variabilité stationnelle sur l'ensemble du massif. Les résultats de cette étude phytoécologique issus de l'analyse de la végétation et des caractéristiques écologiques et géographiques sont présentés plus complètement dans un autre article (Bert, 1992).

Parallèlement à la description des stations, diverses mesures dendrométriques et des notations de l'état sanitaire ont été réalisées sur les sapins. Ces données ont permis, d'une part de compléter la description de chaque station par une appréciation de son potentiel de production et de la qualité du bois qu'elle produit, d'autre part d'aborder le déterminisme écophysologique de ces caractéristiques dans les sapinières du Jura. Cet article présente la synthèse des relations observées entre types de stations, facteurs écologiques et production de bois en qualité et en quantité.

## AIRE D'ÉTUDE, MÉTHODES DE TRAVAIL

Les méthodes de collecte des données sur le terrain et de leur interprétation ont été développées par ailleurs (Bert, 1992).

La région étudiée couvre toute l'aire de répartition du Sapin dans le massif du Jura. L'ensemble des 208 peuplements échantillonnés s'étend entre Delémont (en Suisse, 30 km au sud-est de



Bâle) et le lac du Bourget (35 km au nord de Chambéry), soit sur une surface de 230 × 50 km (figure 1, p. 416). La partie française du massif compte 144 placettes : 77 dans le département du Doubs, 41 dans le Jura et 26 dans l'Ain ; les 64 placettes suisses se partagent entre les cantons du Jura (11 placettes), de Berne (13), de Neuchâtel (19) et de Vaud (21).

### Observations de terrain

**L'échantillonnage** n'a concerné que les stations sur lesquelles les peuplements comportaient **plus de 50 % de Sapin**. Le choix des placettes a été fait en cherchant à respecter la variabilité des conditions stationnelles au sein d'une même petite région. Les peuplements de sapins échantillonnés couvrent une large gamme d'âges, condition requise pour l'étude dendrochronologique ultérieure.

**Un relevé floristique** complet a été réalisé sur chaque placette de 400 m<sup>2</sup>, avec notation de l'abondance-dominance des espèces présentes. La hauteur totale et la circonférence à 1,30 m ont été mesurées sur les six sapins dominants ou codominants sélectionnés. Leur défoliation (pourcentage d'aiguilles absentes par rapport à un sapin sain de même morphologie) et leur jaunissement (pourcentage d'aiguilles jaunes dans le houppier) ont été appréciés par le même notateur sur l'ensemble des placettes. L'état sanitaire des sapins n'a pas conditionné leur choix, afin de conserver une bonne représentativité de l'échantillon vis-à-vis du degré de dépérissement de l'ensemble des sapinières. L'observation de la structure du peuplement dans lequel est implantée la placette a permis de caractériser schématiquement son type de traitement en « futaie jardinée » ou « futaie régulière ».

**Le site** a été décrit par :

- les coordonnées géographiques ;
- l'altitude ;
- la pente ;
- l'azimut magnétique du haut de la pente, le masque (pente de la droite joignant la placette au sommet du versant opposé) ; ces deux dernières valeurs et la pente sont intégrées en un « indice de climat radiatif » (Becker, 1982) qui varie, dans l'échantillon étudié, entre 0,25 (stations « froides ») à 1,25 (stations « chaudes ») ;
- la position topographique a été notée comme « sommet », « haut de pente », « mi-pente », « plateau », « bas de pente » ou « dépression » ;
- le sol, identifié grâce aux travaux pédologiques antérieurs (Gaiffe et Schmitt, 1980 ; Bruckert et Gaiffe, 1980). Deux profils caractéristiques de chaque type de sol ont fait l'objet de prélèvements et d'analyses ; les résultats de l'analyse granulométrique ont permis d'évaluer leur réserve en eau moyenne.

### Traitement des données

**Les relevés floristiques** ont été traités par l'analyse factorielle des correspondances. Dans un premier temps, et avec l'aide des variables écologiques, l'interprétation de la position relative des espèces les unes par rapport aux autres a suggéré les facteurs écologiques qui structurent la végétation. Dans un second temps, le regroupement des placettes a été interprété à l'aide de ces mêmes facteurs. Ceci a permis de rassembler les sites dont la végétation spontanée, le type de sol et les conditions orographiques sont semblables en « types de stations », au sens de Delpech *et al.* (1985) : « *étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques (mésoclimat, topographie, composition floristique et structure de la végétation spontanée, sol) ; une station forestière justifiée, pour une essence déterminée, une*

*silviculture précise avec laquelle on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues* ».

**La fertilité de la station** est généralement exprimée par la hauteur des arbres dominants à un âge de référence donné (Décourt, 1973). Mais ce critère n'est pleinement utilisable que pour comparer des peuplements ayant été soumis à la même sylviculture (type de traitement et densité du peuplement). Pour atténuer l'effet des différences de concurrence passée et inconnue sur les arbres, chaque hauteur a été corrigée grâce à un indice issu du coefficient d'élancement « hauteur totale/diamètre à 1,30 m ») (Becker, 1992) et de l'âge. L'âge des arbres à 1,30 m a été déterminé grâce à un carottage à cœur. La hauteur corrigée à l'âge de 100 ans a permis de comparer globalement les stations entre elles.

**La densité du bois** fournit une bonne estimation de la qualité mécanique du bois d'un arbre. Chez les résineux, une densité forte est recherchée. Polge et Keller (1970) ont montré que la mesure du « couple de torsion », directement sur l'arbre vivant, peut se substituer efficacement à la mesure de la densité du bois sur les carottes prélevées dans le tronc. Au début du carottage de chaque sapin, le manche de la tarière a été remplacé par un torsiomètre (couple maximum = 300 cm · kg ; précision = 10 cm · kg). Lorsque la tarière commence à pénétrer en vitesse stabilisée dans les premiers 40 mm du tronc, la valeur du couple de torsion nécessaire à la pénétration est proportionnelle à la densité du bois. Le même opérateur a effectué toutes les mesures pour maintenir constante son influence sur les valeurs obtenues (Nepveu, 1979) ; les 1 248 sapins étudiés ont ainsi pu être comparés et classés.

Les nombreuses données recueillies ont été soumises à plusieurs types d'**analyses statistiques** pour étudier les relations entre le type de station et, d'une part la hauteur dominante à 10 ans, d'autre part la qualité du bois :

— la technique des **régressions progressives pas à pas** a permis d'exprimer la hauteur dominante à 100 ans et le couple de torsion en fonction des caractéristiques stationnelles les plus pertinentes ;

— l'**analyse de variance** a été employée pour estimer les effets de facteurs stationnels discontinus tels que le type de station, la position topographique ou le type de sol ;

— les corrélations qui existent entre certaines de ces caractéristiques, par exemple entre la profondeur de sol et le type de sol, ont rendu nécessaire la réalisation d'une **analyse en composantes principales** avant d'effectuer les régressions progressives. Les axes calculés lors de cette analyse ont permis de révéler les facteurs écologiques synthétiques **indépendants entre eux** et exprimés par les informations recueillies sur le terrain, qui sont importants à considérer ;

— des **comparaisons de moyennes** ont indiqué quelles stations sont significativement différentes les unes des autres.

## RÉSULTATS

### Types de stations

Avant d'exposer les résultats relatifs aux divers types de stations, nous rappellerons rapidement leur localisation et leurs traits essentiels. En fait, l'échantillonnage réalisé dans le cadre de cette étude n'a pas permis de définir avec une précision égale l'ensemble des « types de stations » ; en effet, la surface d'étude était trop vaste pour espérer parvenir à ce but avec 208 relevés. Les unités stationnelles mises en évidence et décrites doivent le plus souvent correspondre à la réunion de types de stations élémentaires que nous ne pouvions préciser davantage. Dans ce qui suit, nous les nommerons cependant « types de stations » pour alléger le texte.

Finalement, 11 types de stations ont été identifiés et décrits. Leur dénomination s'inspire de la nomenclature phytosociologique européenne. Elle met en évidence la principale espèce caractéristique du groupement végétal, plutôt que l'espèce dominante du peuplement. Ainsi, la plupart des sapinières échantillonnées sont dénommées « hêtraies » ou « pessières », bien qu'elles soient riches en Sapin pectiné.

La limite ouest des sapinières correspond le plus souvent à la région des « pentes intermédiaires », entre le premier plateau du Jura à 600 m d'altitude et le second plateau à 900 m d'altitude. Les précipitations moyennes annuelles dépassent 1 200 mm et atteignent 2 500 mm sur la Haute-Chaîne. Les analyses ont montré que les facteurs essentiels de la typologie des stations sont l'altitude, l'alimentation en eau et la position géographique au sein du massif montagneux. Plus ou moins corrélé à la qualité de l'alimentation en eau des sites, ou encore de leur « bilan hydrique », il existe un gradient d'acidité du sol. En effet, les sols carbonatés riches en cailloux calcaires sont également les plus secs, tandis que les sols bruns lessivés limoneux ou argileux, plus acides, assurent une bonne alimentation en eau à la végétation.

En raison de la géomorphologie de la chaîne plissée calcaire, les conditions stationnelles ne sont pas réparties de façon homogène. Le relief du Jura est nettement dissymétrique : du côté français, une succession de plateaux entre 600 et 900 m d'altitude permet d'atteindre progressivement la Haute-Chaîne (1 400-1 700 m), tandis que le rebord oriental s'abaisse brutalement sur la plaine suisse (500 m). La moitié nord du massif est essentiellement constituée par les plateaux, alors que ceux-ci se réduisent vers le sud pour laisser la place aux grands plis de la Haute-Chaîne. Cette double dissymétrie conditionne la répartition des types de sols, des mésoclimats, des espèces végétales et explique la localisation géographique particulière de certains types de stations (figure 1, p. 416).

La moitié nord peut être globalement divisée en deux zones :

- La hêtraie-sapinière constitue de belles forêts sur les grands plateaux recouverts de limons de la partie Ouest :
  - la **hêtraie-sapinière mésophile** se rencontre entre 700 et 900 m d'altitude, sur des sols « bruns à pellicule calcaire » de 30 à 50 cm d'épaisseur ;
  - la **hêtraie-sapinière hygrophile** occupe les sols bruns limoneux ou lessivés argileux profonds (60 cm à plus de 1,20 m), entre 800 et 1 050 m.
- Le côté Est, principalement formé de plateaux calcaires, est plus varié :
  - les éboulis sur pentes fortes et recouverts de sols humo-calcaires constituent le milieu de la **hêtraie à Tilleul** ;
  - la **hêtraie à Adénostyle** se localise dans les situations froides entre 900 et 1 100 m, sur les sols drainants et les pentes fortes. Elle est située dans les mêmes milieux que la hêtraie à Tilleul, avec un décalage vers les altitudes plus élevées ;
  - la **hêtraie à Dentaire**, caractérisée par une végétation calcicole, se rencontre entre 800 et 1 050 m d'altitude sur les substrats à l'origine de sols à réserve en eau correcte (sols bruns calciques) ;
  - la **hêtraie à Millet** occupe les sols sur limons épais des plateaux ;
  - les sols bruns acides sur les moraines non calcaires au pied du Jura suisse constituent le milieu de la **hêtraie à Luzule**.

Dans la suite du texte, les trois stations précédentes ont été regroupées sous la dénomination « hêtraie à Dentaire » car l'analyse factorielle des correspondances ne les a pas séparées ; ces différents milieux ont d'ailleurs des bilans hydriques assez semblables.

**La moitié sud** montre une organisation générale des unités stationnelles parallèle au grand axe du Jura :

— la **hêtraie à Laïches** (*Carex alba*) forme des taches sur le bord sud-ouest du massif, sur les stations chaudes et « sèches » couvertes par des sols humo-calcaires, entre 600 et 950 m d'altitude. La **hêtraie à Laïches neutrophile** est une variante moins calcicole caractérisée par *Carex montana*. Elle est également présente sur le bas du versant suisse car le massif montagneux crée un effet de fœhn qui réduit les précipitations à l'est de la Haute-Chaîne ;

— le flanc du massif exposé à l'est est également occupé par la **hêtraie à Dentaire**, sur les sols peu décalcifiés, et par la **hêtraie à Luzules**, sur les moraines acides des bas de versants ;

— la **hêtraie-sapinière d'altitude (alticole)** est répandue entre 900 et 1 100 m, sur les dalles calcaires couvertes par les sols humo-calciques drainants ou bruns eutrophes ;

— les plateaux boisés des sommets de la Haute-Chaîne sont le domaine de la **peissière à Doradille** (*Asplenium viride*) qui se développe sur les sols « bruns de laizines » entre 1 150 m et 1 300 m ;

— les situations froides entre 1 100 et 1 300 m sont occupées par la hêtraie à Érable. La **hêtraie à Érable neutrophile** se rencontre sur les sols humifères assez secs ; la **hêtraie à Érable mésotrophe** se rencontre sur les sols bruns, plus acides et dont la réserve en eau est meilleure.

### Traitement sylvicole

Sur l'ensemble de l'échantillon, nous avons observé que 74,5 % des peuplements ont la structure de futaies régulières. Cette proportion n'est pas significativement différente en France et en Suisse. Par contre, 42 % des placettes de la moitié sud du massif sont traitées en futaie jardinée et seulement 19 % dans le nord. La morphologie de la chaîne montagneuse explique en grande partie cette répartition : les reliefs accidentés et les altitudes élevées de la partie sud de la Haute-Chaîne se prêtent mal au traitement régulier.

L'analyse de variance montre que le type de station explique à lui seul 15 % de la variance du type de traitement ; prise seule, l'altitude n'en explique que 5,7 %. Au sein de chaque type de station, l'altitude n'a pas de rôle significatif. Le type de station, qui intègre l'altitude pour une large part, a donc été pris en compte intuitivement dans le choix du traitement par le sylviculteur, mais il reste une bonne part de la variance qui ne s'explique pas uniquement avec des facteurs stationnels. En particulier, l'échantillonnage reflète aussi les traditions « jardinières » des forestiers du département du Jura (IFN, 1980) : 50 % des placettes dans ce département sont traitées en futaie jardinée ; cette proportion est de 12 % dans le Doubs et 27 % dans l'Ain et en Suisse.

Les stations les plus favorables au Sapin sont préférentiellement traitées en futaie régulière : hêtraies-sapinières mésophile et hygrophile, hêtraie à Dentaire. La futaie jardinée, ou futaie irrégulière selon l'Inventaire forestier national, est appliquée surtout à la hêtraie-sapinière alticole, la hêtraie à Laïches et en particulier aux stations d'altitude (hêtraie à Érable et peissière à Doradille). Les autres groupements sont plus variés du point de vue sylvicole.

### Production du Sapin selon les stations

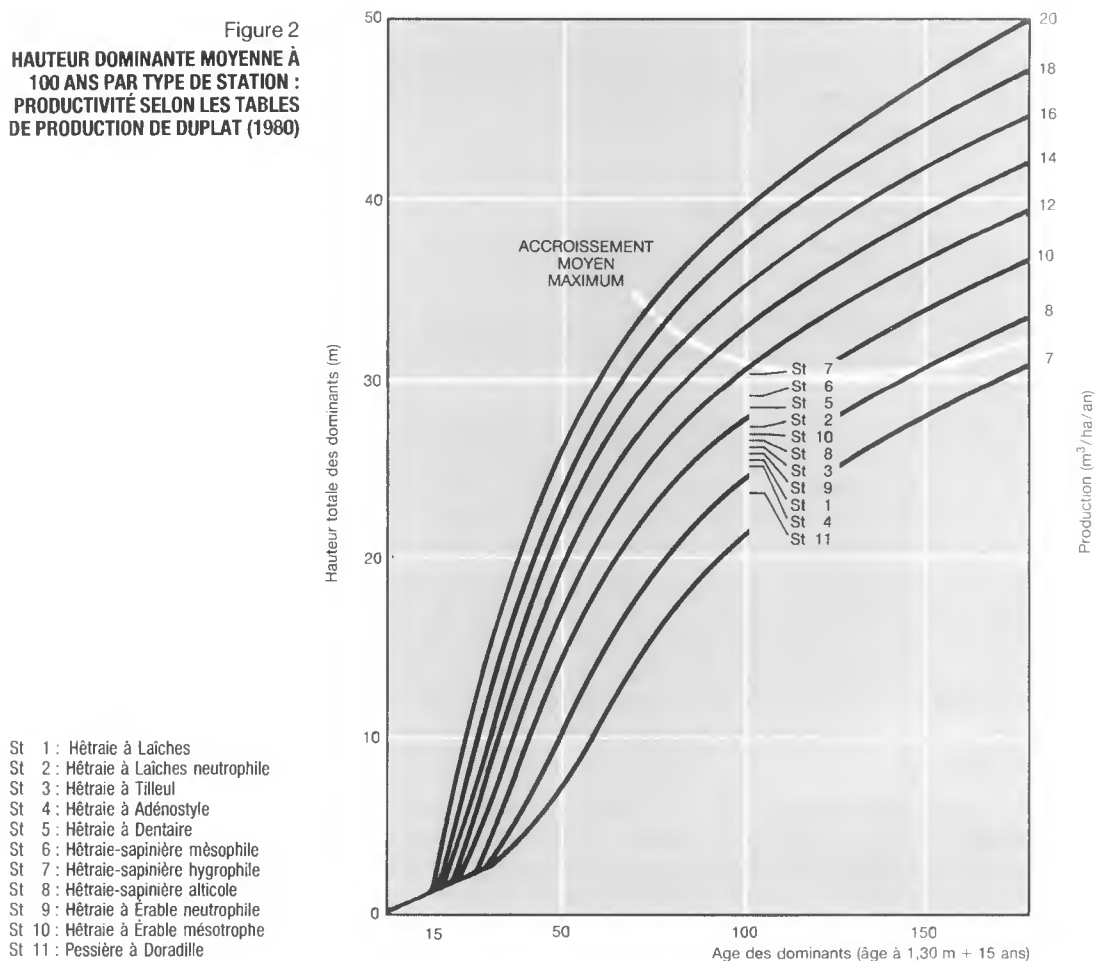
#### ● Hauteur dominante à 100 ans et classement des types de stations

La hauteur moyenne corrigée à 100 ans par placette varie entre 18,3 m et 36,2 m. L'analyse montre que 17,2 % de la variance de cet indice de fertilité sont liés au type de station, et que 4,8 % sont dus aux différences d'altitude au sein du type de station. Le tableau I (p. 421) récapitule les caractéristiques des stations du point de vue de la fertilité et indique les différences significatives.

**Tableau 1** Hauteur à 100 ans et productivité des stations de sapinières  
 Les stations notées par la même lettre (A, B, C ou D) ne sont pas statistiquement différentes  
 d'après le test de comparaison de moyennes de Bonferroni

| Type de station               | Effectif placettes | Hauteur à 100 ans (m) | Écart-type (m) | Coef. var. (%) | Production (m <sup>3</sup> /ha/an) | Test t Bonferroni |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------|----------------|----------------|------------------------------------|-------------------|
| Hêtraie-sapinière hygrophile  | 43                 | 30,6                  | 3,6            | 11,9           | 12                                 | A                 |
| Hêtraie-sapinière mésophile   | 27                 | 29,6                  | 3,1            | 10,5           | 11,2                               | A                 |
| Hêtraie à Dentaire            | 29                 | 29,1                  | 3,9            | 13,4           | 11                                 | A B               |
| Hêtraie à Laïches neutrophile | 17                 | 27,3                  | 4,7            | 17,1           | 9,8                                | B C               |
| Hêtraie à Érable mésotrophe   | 9                  | 26,8                  | 3,8            | 14,1           | 9,4                                | C D               |
| Hêtraie-sapinière alticole    | 40                 | 26,5                  | 3,2            | 12,1           | 9,2                                | C D               |
| Hêtraie à Tilleul             | 16                 | 26,1                  | 3              | 11,4           | 9                                  | C D               |
| Hêtraie à Érable neutrophile  | 8                  | 25,6                  | 3,5            | 13,7           | 8,7                                | C D               |
| Hêtraie à Laïches             | 7                  | 25,5                  | 5              | 19,8           | 8,6                                | C D               |
| Hêtraie à Adénostyle          | 6                  | 25                    | 2,3            | 9,3            | 8,3                                | D E               |
| Pessière à Doradille          | 6                  | 23,5                  | 5,1            | 21,8           | 7,7                                | E                 |

**Figure 2**  
**HAUTEUR DOMINANTE MOYENNE À 100 ANS PAR TYPE DE STATION : PRODUCTIVITÉ SELON LES TABLES DE PRODUCTION DE DUPLAT (1980)**





La hêtraie-sapinière hygrophile constitue le milieu le plus fertile ; la hauteur dominante moyenne est de 30,6 m à 100 ans, ce qui correspond à une production de 12 m<sup>3</sup>/ha/an d'après Duplat (1980). Viennent ensuite la hêtraie-sapinière mésophile (29,6 m) et la hêtraie à Dentaire (29,1 m), proches de 11 m<sup>3</sup>/ha/an. Les écarts entre les groupes suivants sont faibles, et leurs hauteurs moyennes s'échelonnent entre 27,3 et 25,0 m (9,8 à 8,3 m<sup>3</sup>/ha/an) : hêtraie à Laïches neutrophile, hêtraie à Érable mésotrophe, hêtraie-sapinière alticole, hêtraie à Tilleul, hêtraie à Érable neutrophile, hêtraie à Laïches et hêtraie à Adénostyle. La pessière à Doradille est le milieu le moins productif ; les sapins dominants mesurent en moyenne 23,5 m à 100 ans (7,7 m<sup>3</sup>/ha/an).

La figure 2 (p. 421) situe la fertilité moyenne de chaque type de station sur le diagramme correspondant aux tables de production pour le Sapin dans le Jura (Bartet, 1976 ; Duplat, 1980).

● *Relations entre la fertilité et les caractéristiques de la station*

Pour analyser plus finement le déterminisme des différences de fertilité entre placettes, nous avons étudié les relations entre la hauteur dominante moyenne à 100 ans par placette et les diverses caractéristiques stationnelles. La croissance en hauteur est fortement corrélée avec le bilan hydrique du sol, déduit de l'analyse de la végétation :  $r^2 = 0,309$  ; significatif à 0,1 % (figure 3, p. 423). Elle est corrélée négativement avec l'altitude :  $r^2 = -0,162$  ; significatif à 0,1 % (figure 4, p. 423).

Au total, cinq descripteurs stationnels permettent d'interpréter 40,5 % de la variance de la croissance en hauteur moyenne par placette :

- le bilan hydrique,
- l'altitude,
- la position topographique,
- le type de sol,
- la profondeur de sol.

Ces cinq descripteurs stationnels ne sont en fait que le reflet facilement mesurable des véritables facteurs limitants que sont les possibilités d'alimentation en eau des arbres et la température.

En dessous de 1 050 m, tous les niveaux de fertilité sont rencontrés. La productivité dépend alors surtout de la disponibilité en eau, qui est le facteur limitant dans cette tranche altitudinale. Les sites au dessus de 1 050 m montrent une fertilité décroissante avec l'altitude (figure 4, p. 423). À titre de comparaison, l'Épicéa (*Picea abies*) ne montre pas de relation entre l'altitude et la production jusqu'à 1 300 m dans le Jura (Le Tacon, 1975).

Bien que la hêtraie à Laïches neutrophile soit un milieu sensible aux sécheresses, du fait de la perméabilité des substrats calcaires qu'elle occupe, elle est plus fertile que tous les groupes plus humides situés à plus haute altitude. Ce phénomène se constate de façon générale : la fertilité est meilleure dans les stations « sèches » de basse altitude que dans les stations d'altitude où les précipitations sont plus importantes. Ceci montre l'importance de la température en tant que facteur limitant vis-à-vis de la croissance dans les étages bioclimatiques supérieurs.

La position topographique ne conditionne la croissance en hauteur, par le jeu de l'alimentation latérale en eau, que dans les situations extrêmes. Sur les sommets des reliefs, les sapins ont une hauteur faible : 23 m en moyenne (7,5 m<sup>3</sup>/ha/an). Au contraire, les fonds de dépressions leur offrent la possibilité d'atteindre 30,1 m (12,5 m<sup>3</sup>/ha/an). Les autres situations topographiques, telles que les plateaux ou les pentes, ne se distinguent pas entre elles : les sapins dominants y atteignent en moyenne 28 m à 100 ans (10 m<sup>3</sup>/ha/an).

Figure 3 **HAUTEUR DOMINANTE MOYENNE À 100 ANS SELON LA DISPONIBILITÉ MOYENNE EN EAU SUR LE SITE**, appréciée par l'analyse de la végétation (coordonnées sur l'axe 2 de l'analyse factorielle des correspondances). La régression simple exprime 30,5 % de la variance.

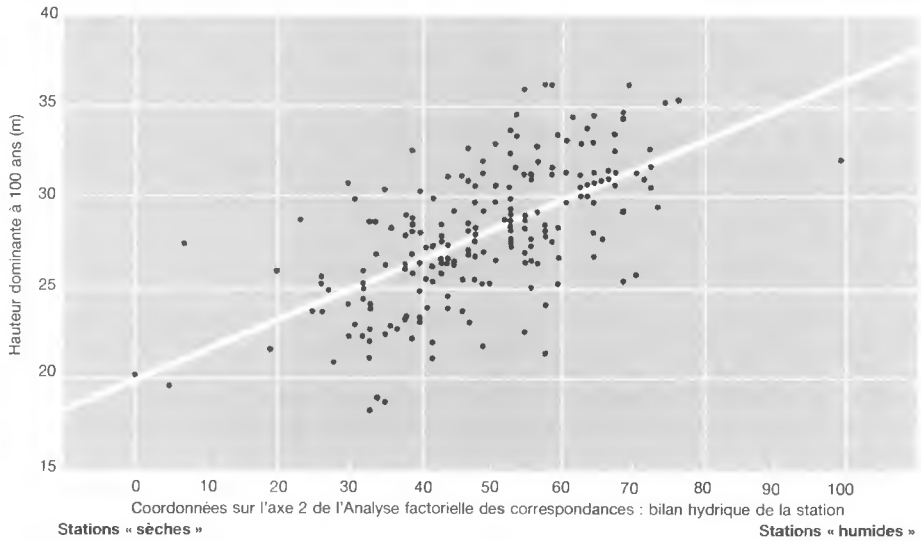
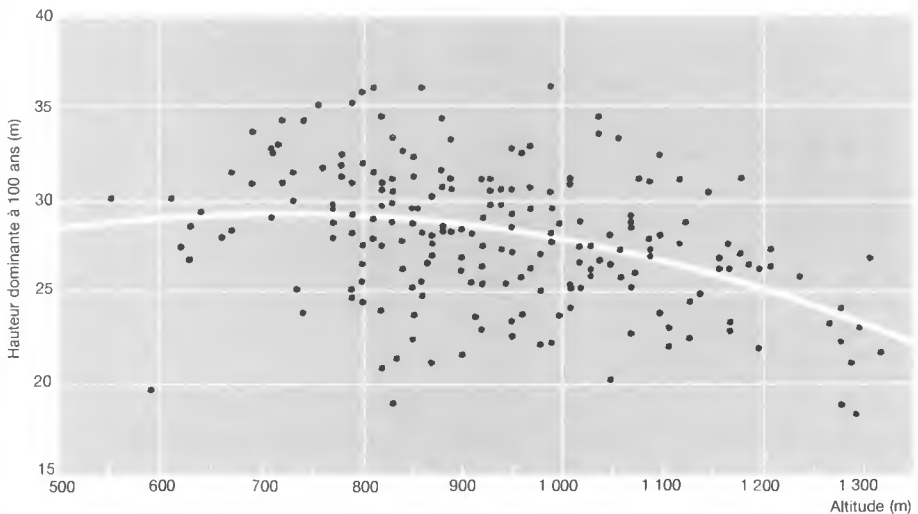


Figure 4 **HAUTEUR DOMINANTE MOYENNE À 100 ANS SELON L'ALTITUDE DU SITE**. La relation est ajustée avec l'équation :  $H_{100} = 19,952 + 0,0258 \text{ altitude} - 0,0000179 (\text{altitude})^2$ . Elle exprime 12,6 % de la variance.



Trois groupes de sols se distinguent par leur fertilité :

— les sols humo-calcaires et humo-calciques, sur éboulis ou sur bancs calcaires concassés, sont en moyenne très drainants ; la hauteur dominante à 100 ans est de l'ordre de 26 m ( $9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ ).

— les sols bruns calciques, « bruns à pellicule calcaire » et « bruns de laizines » sont plus argileux et permettent d'obtenir des sapins de 28 m ( $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ ) ;

— les sols bruns limoneux, bruns lessivés ou bruns acides offrent les meilleures réserves en eau ; la hauteur moyenne des arbres est alors de 30 à 31 m ( $12 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ ).

Par contre, aucune liaison nette entre la richesse chimique des sols et la production n'est mise en évidence. Cette observation rejoint les conclusions obtenues sur les sapinières à Fétuque vosgiennes pour lesquelles le rôle de l'alimentation en eau est également prépondérant (Becker, 1982), bien que les sols y soient en moyenne encore plus pauvres que dans le Jura.

### Qualité du bois

La densité du bois des résineux est un caractère reconnu au niveau des règles de classement. De faibles valeurs font exclure les bois d'un usage en structure car les propriétés mécaniques sont insuffisantes. De plus, la densité du bois est proportionnelle au rendement papetier exprimé en unité de volume de bois vert.

#### ● Couple de torsion et classement des types de stations

Le couple moyen est de 138 cm.kg (écart type : 9 cm · kg). Les couples de torsion mesurés ont des valeurs comprises entre 100 et 200 cm · kg, l'essentiel de l'effectif étant compris entre 120 et 160 cm · kg. Bien que cette gamme soit assez large, les couples moyens pour les 11 types de stations ne sont pas très différents : l'écart entre la moyenne la plus faible et la moyenne la plus forte est de 15,5 cm · kg. Le classement des stations est cependant intéressant à considérer car les couples de torsion moyens de certains groupes de stations sont statistiquement différents (tableau II).

Tableau II **Couple de torsion moyen sur les stations de sapinières**  
Les stations notées par la même lettre (A, B, C ou D) ne sont pas statistiquement différentes d'après le test de comparaison de moyennes de Bonferroni

| Type de station                      | Effectif placettes | Couple de torsion (cm · kg) | Écart-type (cm · kg) | Coef. var. (%) | Test t Bonferroni |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| Hêtraie-sapinière hygrophile . . . . | 43                 | 142,7                       | 15,6                 | 10,9           | A                 |
| Hêtraie-sapinière mésophile . . . .  | 27                 | 141,2                       | 16                   | 11,3           | A B               |
| Hêtraie à Tilleul . . . . .          | 16                 | 141,1                       | 12,5                 | 8,8            | A B C             |
| Hêtraie à Dentaire . . . . .         | 29                 | 138,6                       | 12,4                 | 9              | A B C             |
| Hêtraie à Érable mésotrophe . . . .  | 9                  | 136,7                       | 13,4                 | 9,8            | A B C             |
| Hêtraie à Laïches . . . . .          | 7                  | 135,9                       | 12,9                 | 9,5            | A B C             |
| Hêtraie à Adénostyle . . . . .       | 6                  | 135,8                       | 11,5                 | 8,5            | A B C             |
| Hêtraie à Laïches neutrophile . . .  | 17                 | 135,2                       | 10,7                 | 7,9            | B C               |
| Hêtraie-sapinière alticole . . . . . | 40                 | 134,5                       | 11,6                 | 8,6            | B C D             |
| Hêtraie à Érable neutrophile . . . . | 8                  | 133,7                       | 10,2                 | 7,6            | C D               |
| Pessière à Doradille . . . . .       | 6                  | 127,2                       | 7                    | 5,5            | D                 |

Remarque : la correspondance entre le couple de torsion et la densité du bois dépend, plus ou moins selon l'essence, de la tarière et du torsiomètre utilisés (Polge et Keller, 1970). La mesure de la densité réelle du bois n'entraîne pas dans le cadre de cette étude, dont l'objectif principal était d'ordre dendroécologique, aussi les données sur la qualité du bois n'ont pu être exprimées en unité de densité. À titre indicatif, Mazet *et al.* (1989), qui ont effectué de nombreuses mesures d'infradensité sur le Sapin pectiné du Nord-Est de la France, ont obtenu des valeurs comprises entre 280 et 520 kg/m<sup>3</sup> (moyenne = 410 kg/m<sup>3</sup>).

Les couples de torsion les plus élevés s'observent dans les hêtraies-sapinières mésophiles (141,2 cm · kg) et hygrophiles (142,7 cm · kg), qui sont les stations les plus fertiles. Les pessières à Doradille et les hêtraies à Érable neutrophiles, peu fertiles, portent des sapins au bois plus tendre (respectivement 127,2 et 133,7 cm · kg). Les autres groupes de stations sont en situation

intermédiaire. Le fait de rencontrer les sapins de bonne qualité sur les stations les plus productives peut paraître inhabituel. En effet, les arbres qui élaborent des cernes larges ont généralement une faible densité tandis que les arbres à croissance lente sont plus denses (Nylinder, 1967 ; Mazet *et al.*, 1989). Nous analyserons plus loin ce résultat.

● *Relations entre la densité du bois et les caractéristiques de la station*

Pour mieux comprendre ce qui conditionne la densité, nous avons cherché à exprimer le couple de torsion en fonction des caractéristiques du site et de celles des arbres.

Une régression progressive pas à pas a permis d'expliquer 25,4 % de la variance du couple de torsion à l'aide de trois variables :

— les deux premières sont des indices issus de l'analyse de la végétation, qui traduisent l'influence prépondérante de l'altitude et de l'alimentation en eau et qui ont été déterminants pour la construction de la typologie des stations. Le type de station, ou mieux, les caractéristiques qui le définissent, est donc fondamental pour comprendre le déterminisme de la qualité du bois ;

— l'âge de l'arbre constitue le troisième élément explicatif important. Avec la diminution progressive de la largeur des cernes au cours du vieillissement s'observe une augmentation de la densité du bois.

Dans notre échantillon, l'âge des arbres est en moyenne plus faible dans les stations les plus productives, à altitude moyenne, et plus élevé dans les stations peu productives d'altitude. Ceci doit donc être pris en compte pour comparer les stations entre elles. Dans d'autres études, ce type de problème a été résolu en comparant les couples de torsion à largeurs de cernes égales. Dans le cas présent, nous avons obtenu de meilleurs résultats en étudiant le couple de torsion en fonction de l'âge de l'arbre.

Analysée de façon indifférenciée sur l'ensemble de l'échantillon, la relation entre l'âge et le couple de torsion n'est cependant pas visible. C'est le découpage de l'échantillon en cinq groupes de stations qui a fait apparaître cette relation (figure 5, p. 426). La densité du bois dans la hêtraie-sapinière mésophile et hygrophile augmente très rapidement au cours du vieillissement ; celle des sapins de la pessière à Doradille reste toujours faible. De plus, il apparaît clairement que l'altitude a un net effet défavorable sur la densité du bois, surtout à âge élevé. Diverses études antérieures ont d'ailleurs aussi conclu à l'effet dépressif de l'altitude sur la densité du bois de divers résineux : Sapin dans le Nord-Est de la France (Mazet *et al.*, 1989) et plus spécialement dans les Vosges alsaciennes (Becker, 1982), Épicéa en Suède (Nylinder, 1967), Mélèze dans le Queyras et l'Embrunais (Ringard, 1980).

Ce rôle de l'altitude est lié au raccourcissement correspondant de la période de végétation. Nous avons pu le vérifier en observant le cerne en cours de formation sur les carottes prélevées en 1989. Le départ de la végétation s'est étalé entre le 22 mai et le 15 juin. Le 30 mai 1989, 33,3 % des 60 sapins carottés entre 550 et 800 m d'altitude n'avaient pas encore commencé à élaborer leur cerne annuel. Entre 800 et 1 000 m, cette proportion était de 39,6 % (96 sapins), et de 50 % au-dessus de 1 000 m (36 sapins). Le raccourcissement de la période de végétation entraîne :

— une diminution de la largeur des cernes. Dans notre échantillon, la corrélation entre la largeur de cerne moyenne sur les quarante premiers millimètres sous l'écorce et l'altitude est de  $-0,232$  (significatif à 0,1 %) ;

— une réduction de la proportion de bois final dans chaque cerne. Ainsi, en étudiant des peuplements de Pin sylvestre à diverses latitudes (ce qui est comparable à un gradient climatique d'altitude), Nepveu *et al.* (1988) ont observé que les bois provenant du Nord de la Finlande ont une densité plus faible que ceux du Sud. De plus, la proportion de bois final est un

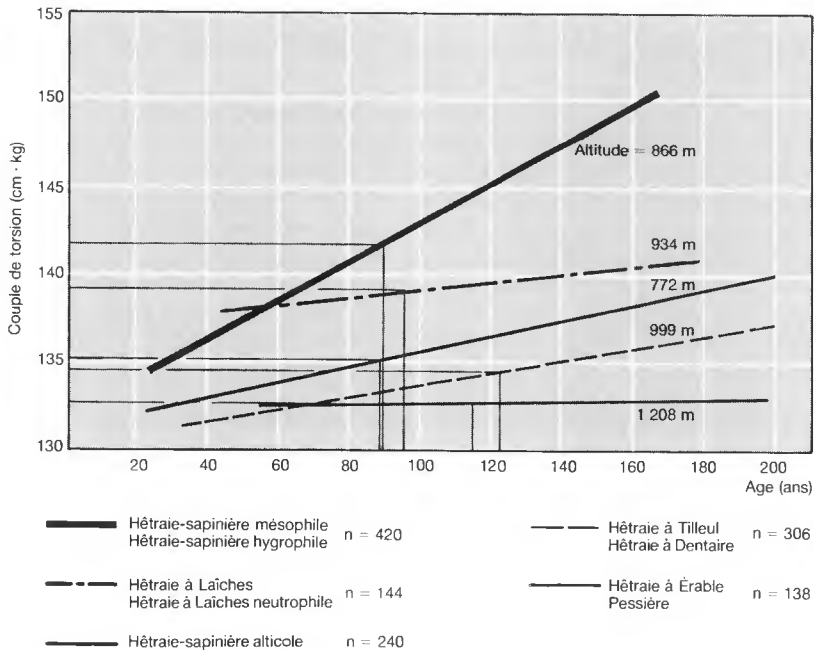
peu plus faible dans le Nord. En ce qui concerne le Sapin, on sait que le bois final est au moins deux fois plus dense que le bois d'été. Cette proportion de bois final plus faible en altitude entraîne donc une perte de densité supérieure à l'augmentation de densité liée à des cernes plus étroits.

Au total, dans le Jura, **la densité du bois est davantage conditionnée par l'altitude que par la fertilité de la station.**

Remarque : la droite correspondant aux stations de hêtraie à Laïches fait exception à la tendance générale (figure 5, ci-dessous). Le bois des sapins de ces stations est peu dense bien que l'altitude moyenne soit relativement faible. Ceci montre que la relation habituelle entre la largeur de cerne et le couple de torsion se retrouve en dessous de 950 m d'altitude. En effet, nos mesures ont montré que les cernes situés à moins de 40 mm sous l'écorce (auxquels correspond la mesure du couple de torsion) ont une largeur moyenne de 2,38 mm en hêtraie-sapinière, et de 2,65 mm en hêtraie à Laïches. Cette différence, vraisemblablement liée à une différence de compétition entre les arbres, est responsable de la différence de densité du bois observée. L'altitude optimale pour obtenir des sapins de qualité dans le Jura se situerait donc entre 800 et 950 m, ce qui correspond aux conditions stationnelles des hêtraies-sapinières.

Figure 5 **RELATION ENTRE LE COUPLE DE TORSION ET L'ÂGE DU SAPIN POUR 5 GROUPES DE STATIONS.**

Les droites en trait plein correspondent à une tendance statistiquement significative ; l'altitude moyenne de chaque station est indiquée près de la droite ; les traits de rappel fins donnent la correspondance entre l'âge moyen de la station et le couple de torsion moyen ; n représente le nombre d'arbres échantillonnés dans chaque type de station.



● *État sanitaire de l'arbre et qualité du bois*

Face au phénomène « nouveau » du dépérissement, dont les causes complexes ne sont pas encore totalement élucidées, le forestier et l'industriel peuvent s'interroger sur la qualité technologique du bois des arbres dépérissants exploités.



Sapinière de la région de Pontarlier en 1976.



Sapinière dépérissante.

Photo J.-F. PICARD

Photo G. LANDMANN

Dans le Jura, notre étude indique que les sapins élaborent des cernes d'autant plus fins que leur défoliation est plus intense, et ceci, dès les plus faibles niveaux (Bert et Becker, 1990). Il est donc nécessaire de tenir compte de cette relation pour comparer des arbres plus ou moins défoliés. À largeur de cerne égale, il n'y a pas de relation significative entre le couple de torsion des arbres et le manque d'aiguilles ou le degré de jaunissement du feuillage.

Le dépérissement n'a donc pas de répercussions fâcheuses sur la qualité du bois. Cette conclusion est cohérente avec celles de divers auteurs allemands, qui n'observent pas de dégradation de la qualité du bois chez les sapins et les épicéas, même ceux soumis à une pollution atmosphérique importante (Eckstein *et al.*, 1981 ; Greve *et al.*, 1986).

## CONCLUSIONS

Les types de stations à Sapin pectiné dans le massif du Jura sont essentiellement conditionnés par l'altitude et par l'alimentation en eau du site. Les sols à bilan hydrique défavorable sont également les moins décarbonatés, tandis que les stations bien alimentées en eau sont caractérisées par des sols en moyenne plus acides. La combinaison de ces facteurs et la composition de la flore ont permis de définir 11 principales unités stationnelles au sein de six associations végétales : hêtraie à Laïches, hêtraie à Tilleul, hêtraie à Dentaire, hêtraie-sapinière, hêtraie à Érable et pessière à Doradille. Les 208 placettes échantillonnées ont permis de préciser l'étendue de la variabilité écologique de chacun de ces ensembles. De plus, la prise en compte de la totalité de l'aire de répartition du Sapin pectiné dans le Jura, tant en France qu'en Suisse, a permis de cerner la répartition géographique préférentielle de chaque unité stationnelle.

À cette typologie des stations établie sur des bases écologiques correspond une gamme de niveaux de fertilité, échelonnés entre 7,7 et 12 m<sup>3</sup>/ha/an. La flore et les caractéristiques écologiques de chaque placette ont permis d'affiner l'analyse des relations entre le type de station et sa production. Les résultats obtenus ont notamment montré le rôle fondamental du climat, par l'intermédiaire de ses deux composantes majeures : les pluies, qui compensent le drainage du sol, et la température.

Les influences climatiques sont cependant modulées par les conditions stationnelles locales, particulièrement par la réserve en eau du sol. La structure karstique des substrats calcaires jurassiens est à l'origine de la juxtaposition de types de sols bien différents à faible distance, caractérisés par des intensités de drainage très inégales. Les sols riches en humus et en cailloux calcaires sont très fissurés et drainants, tandis que les sols bruns sont peu fissurés et trois fois moins perméables (Bruckert et GaiFFE, 1990).

Ces différences doivent expliquer en grande partie la variabilité de la productivité observée au sein de chaque unité stationnelle. Cette variabilité montre qu'il serait utile de subdiviser ultérieurement les 11 unités reconnues en « types de stations » plus homogènes à tous points de vue. Ceci passera par un échantillonnage plus conséquent et la réalisation d'un véritable catalogue des stations (Becker et Le Goff, 1988).

L'analyse de la qualité du bois a montré que les différents types de stations se distinguent aussi du point de vue de la densité du bois produit. Cette relation est cependant moins marquée qu'avec la production. En effet, le type de station n'explique que 7,5 % de la variance observée du couple de torsion. Par contre, la prise en compte individuelle de certaines données phytoécologiques de base permet de monter à 16,5 % le taux de variance expliquée. Cette observation suggère également la nécessité d'une subdivision ultérieure plus fine des unités stationnelles. L'étude a permis en particulier de mettre en évidence l'importance du rôle dépressif de l'altitude sur la densité du bois. Les peuplements peu fertiles d'altitude produisent des sapins dont le bois est caractérisé par une faible densité, tandis que les hêtraies-sapinières fertiles des plateaux peu élevés produisent un bois de forte densité, donc de meilleure qualité. Une meilleure compréhension de ce phénomène passerait par une étude de l'évolution de la proportion de bois initial et de bois final dans les cerne en fonction des conditions stationnelles et de la largeur des cerne.

Une étude dendrochronologique ultérieure apportera une dimension dynamique en retraçant l'évolution de la croissance des peuplements depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Elle permettra d'analyser les relations entre la croissance radiale et l'état sanitaire des arbres et les caractéristiques des sites, ainsi que l'interaction des facteurs climatiques.

G.D. BERT  
Laboratoire de Phytoécologie forestière  
INRA - CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES  
54280 CHAMPENOUX

#### Remerciements

Le travail présenté constitue l'un des volets de l'étude dendroécologique du dépérissement du Sapin dans le Jura. Nous remercions la Direction de l'Espace rural et de la Forêt, le programme DEFORPA et l'INRA, qui ont financé ces recherches, R. Schipfer pour sa collaboration technique pendant la phase de terrain, M. Becker et G. Nepveu pour leurs critiques et suggestions. Nous sommes reconnaissant envers les services forestiers suisses des quatre cantons concernés par l'étude, envers l'Office national des Forêts de Franche-Comté et de l'Ain pour leur autorisation de carottage et leurs indications sur les peuplements de Sapins.

## BIBLIOGRAPHIE

- BARTET (J.-H.). — Construction de tables de production à sylviculture variable pour le Sapin du Jura. — *Bulletin technique de l'ONF*, 1976, 90 p. (Document 76-11).
- BECKER (M.). — Bilan de santé actuel et rétrospectif du Sapin dans les Vosges. Étude écologique et dendrochronologique. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 44, 1987, pp. 379-402.
- BECKER (M.). — Deux indices de compétition pour la comparaison de la croissance en hauteur et en diamètre d'arbres aux passés sylvicoles variés et inconnus. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 49, 1992 (sous presse).
- BECKER (M.). — Influence relative du climat et du sol sur les potentialités forestières en moyenne montagne. Exemple des sapinières à Fêtuque (*Festuca silvatica* Vill.) dans les Vosges alsaciennes. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 39, 1982, pp. 1-32.
- BECKER (M.), LE GOFF (N.). — Diagnostic stationnel et potentiel de production. — *Revue forestière française*, n° spécial « Diagnostics en forêt », vol. XL, 1988, pp. 29-43.
- BECKER (M.), LÉVY (G.). — À propos du dépérissement des forêts : climat, sylviculture et vitalité de la sapinière vosgienne. — *Revue forestière française*, vol. XL, n° 5, 1988, pp. 345-358.
- BERT (G.D.). — Les principaux types de sapinières (*Abies alba* Mill.) dans le massif du Jura (France et Suisse). Étude phytécologique. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 49, 1992, pp. 161-183.
- BERT (G.D.), BECKER (M.). — Vitalité actuelle et passée du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Étude dendroécologique. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 47, 1990, pp. 395-412.
- BRUCKERT (S.), GAIFFE (M.). — Analyse des facteurs de formation et de distribution des sols en pays calcaire ou karstique. — *Annales scientifiques de l'Université de Besançon*, 4<sup>e</sup> série Biologie végétale, 1980, pp. 19-67.
- BRUCKERT (S.), GAIFFE (M.). — Les systèmes de subsurface sols-roches, modèles de pédogenèses. Exemple des domaines karstiques et non-karstiques de Franche-Comté. — *Science du Sol*, vol. 28, n° 4, 1990, pp. 319-412.
- DÉCOURT (N.). — Production primaire, production utile : méthodes d'évaluation, indices de productivité. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 47, 1973, pp. 395-412.
- DELPECH (R.), DUMÉ (G.), GALMICHE (P.). — Typologie des stations forestières. Vocabulaire. — Paris : Institut pour le Développement forestier, 1985. — 243 p.
- DUPLAT (P.). — Table de production de référence pour le Sapin du Jura. — *Bulletin technique de l'ONF*, 11, 1980, pp. 13-25.
- ECKSTEIN (D.), GREVE (U.), FRÜHWALD (A.). — Anatomische und mechanisch-technologische Untersuchungen am Holz einer SO<sub>2</sub>-geschädigten Fichte und Tanne. — *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 39, n° 12, 1981, pp. 477-487.
- GAIFFE (M.), SCHMITT (A.). — Sols et végétation à l'étage montagnard dans les forêts du Jura central. — *Science du Sol. Bulletin de l'AFES*, n° 4, 1980, pp. 265-296.
- GREVE (U.), ECKSTEIN (D.), ANIOL (R.W.), SCHOLZ (F.). — Dendroklimatologische Untersuchungen an Fichten unterschiedlicher Immissionsbelastung in Nordostbayern. — *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, n° 9, 1986, pp. 174-179.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. — Résultat du deuxième inventaire forestier. Département du Jura. Tome 1. — Paris : IFN, 1980. — 190 p.
- LE TACON (F.). — Sol, altitude et croissance de l'Épicéa commun dans le Jura. Premiers résultats. — *Bulletin du Centre régional de la Propriété forestière de Franche-Comté*, 1975, 17 p.
- MAZET (J.-F.), NEPVEU (G.), VELLING (P.). — Étude des effets de quelques paramètres sylvicoles et environnementaux sur la densité du bois de l'Épicéa commun, du Sapin pectiné et du Pin sylvestre dans le Nord-Est de la France. — Champenoux : INRA - Station de Recherches sur la Qualité des Bois, 1989. — 96 p. (Document interne).
- NEPVEU (G.). — L'Utilisation du torsiomètre en forêt : influence de l'opérateur et de l'appareil. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 36, 1979, pp. 347-351.
- NEPVEU (G.), VELLING (P.), AUBERT (D.). — Comparaison de la structure des bois de pays (*Picea abies*, *Abies alba*, *Pinus sylvestris*) et des bois du Nord originaires de Finlande (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*) : distribution de densité dans le cerne et régularité. — Champenoux : INRA - Station de Recherches sur la Qualité des Bois, 1988. — 24 p. (Document interne).
- NYLINDER (P.). — Non-destructive field sampling systems for determining the wood density of standing timber over large areas, variation within and between species, and the influence of environmental factors on wood density. — Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk, Stockholm, n° R 56, 1967, 19 p.
- POLGÉ (H.), KELLER (R.). — Première appréciation de la qualité du bois en forêt par l'utilisation d'un torsiomètre. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 27, 1970, pp. 197-223.
- RINGARD (E.). — Étude technologique du bois de Méléze dans le Queyras et l'Embrunais. — Nogent-sur-Vernisson : ENITEF, 1980. — 125 p. (Mémoire de 3<sup>e</sup> année).