HAL
open science

Croissance en hauteur dominante du hêtre dans le Nord de la France: des courbes de référence qui intègrent les tendances à long-terme

Jean-Daniel Bontemps, Pierre Duplat, Jean-Christophe Hervé, Jean-François Dhôte

To cite this version:

Jean-Daniel Bontemps, Pierre Duplat, Jean-Christophe Hervé, Jean-François Dhôte. Croissance en hauteur dominante du hêtre dans le Nord de la France: des courbes de référence qui intègrent les tendances à long-terme. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2007, Hors-Série 2, pp.39-47. hal-00823732

HAL Id: hal-00823732

https://hal.science/hal-00823732v1

Submitted on 17 May 2013

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.

Croissance en hauteur dominante du hêtre dans le Nord de la France: des courbes de référence qui intègrent les tendances à long-terme

Jean-Daniel Bontemps[1], Pierre Duplat[2], Jean-Christophe Hervé[1], Jean-François Dhôte[3]

[1]ENGREF, Centre de Nancy, UMR 1092 INRA/ENGREF LERFoB (Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois), 14 rue Girardet, F-54000 Nancy

[2]Département des Recherches Techniques, Office National des Forêts (ONF), Boulevard de Constance, F-77300 Fontainebleau

[3]INRA, Centre de Nancy, UMR 1092 INRA/ENGREF LERFoB (Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois), 54280 Champenoux.

Résumé

Cet article établit des courbes de référence pour la croissance en hauteur dominante des hêtraies régulières de plaine du Nord de la France. Il se fonde sur la campagne d'analyses de tiges menée par l'Office National des Forêts au cours des dernières années. Comme pouvaient le suggérer les faisceaux antérieurement utilisés (courbes Schober dans le Nord-Est, et Hamilton-Christie dans le Nord-Ouest), on confirme une différence d'allures de croissance entre les deux régions, avec des courbes plus tendues dans le Nord-Est. De même, à une échelle intra-régionale et dans une moindre mesure, une différence de forme de croissance distingue une zone atlantique côtière, et une zone intérieure où la croissance est plus soutenue. Le phénomène présente un caractère graduel sur l'ensemble de la zone de production, et traduit vraisemblablement une influence climatique. Ces hêtraies ont également fait l'objet d'une analyse plus spécifique de l'évolution de leur productivité à long-terme. On relate brièvement ces évolutions, que l'on intègre de façon simple aux courbes de référence.

1. Introduction

La hauteur dominante est classiquement utilisée comme un indicateur de la productivité des peuplements. La connaissance de la hauteur atteinte à un âge de référence donné (par exemple 100 ans), que l'on appelle indice de fertilité, constitue ainsi l'entrée classique des tables de production, desquelles on peut déduire la production en volume. Estimer cet indice suppose de connaître la relation qui lie la hauteur dominante à l'âge du peuplement, dans des conditions de fertilité variées. La représentation graphique de cette relation définit ce que l'on appelle un faisceau de courbes.

Jusqu'alors, on ne disposait pas en France de faisceaux de courbes de référence, établis pour la croissance en hauteur dominante du hêtre dans un contexte national. Pour estimer l'indice de fertilité des peuplements réguliers de hêtre, on s'appuyait en pratique sur les faisceaux allemand ou anglais, selon la zone de production concernée, comme cela avait été préconisé dans les "Tables de production pour les forêts françaises" (voir la 2nde édition de 1984, présentée par B. Vannière). Ainsi, les courbes "Schober" (1972 pour la première édition), établies pour le Nord-Ouest de l'Allemagne, et les courbes "Hamilton-Christie" (1971), pour la Grande-Bretagne, ont-elles été respectivement utilisées dans les secteurs Nord-Est et Nord-Ouest du pays.

Cette logique de proximité géographique trouve son origine dans la différence de forme qui caractérise les courbes de croissance de ces deux faisceaux. Assez tendues dans le faisceau allemand, elles plafonnent à des âges plus précoces dans le faisceau anglais. Si on ne peut exclure qu'une telle différence puisse être en partie liée à des aspects méthodologiques (nature des données de hauteur disponibles), il est vraisemblable qu'elle traduise une réelle spécificité du rythme de croissance du hêtre, dans ces deux secteurs. La question de la validité de ces faisceaux pour les hêtraies françaises, et de la nécessité d'en établir de nouveaux, était donc posée.

C'est dans ce contexte qu'une vaste campagne d'analyses de tiges a été organisée par le département Recherche -Développement de l'ONF, dans les hêtraies régulières de plaine du Nord du pays, entre 1997 et 1999. L'objectif était d'échantillonner des peuplements assez âgés pour pouvoir décrire la majeure partie des courbes de croissance, tout en couvrant une large gamme de fertilités. Une démarche semblable avait été conduite auparavant pour le chêne sessile (Duplat & Tran-Ha, 1997). Dans cette même période, le LERFoB (Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois, Nancy) investissait le thème de l'évolution à long-terme de la productivité forestière, conséquence possible des changements de l'environnement. Des premières études sur cette question, commençait alors à s'établir un consensus en faveur d'une forte augmentation des rythmes de croissance (voir en France les travaux de l'équipe de Michel Becker à l'INRA Nancy, dont une synthèse est donnée dans Becker & al., 1994, complétée par la suite dans Badeau & al., 1996). L'occasion s'est donc présentée de rechercher en parallèle une évolution historique de la croissance en hauteur dominante de ces mêmes hêtraies. Lors de la campagne précédemment mentionnée, nous avons cherché à apparier une partie des peuplements âgés du Nord-Est français à des peuplements plus jeunes, croissant dans des conditions stationnelles identiques. L'idée était alors de tester et caractériser une éventuelle évolution historique de la croissance en hauteur dominante (sur le siècle dernier), en comparant la croissance respective de ces deux générations. Une telle démarche a été étendue en 2003 au Nord-Ouest.

Notre objectif est ici de fournir des faisceaux de référence pour le hêtre dans le Nord de la France, dans une partie de sa zone de production. Il n'est pas d'exposer en détails nos résultats sur les changements de productivité du hêtre. Nous nous proposons cependant d'intégrer à ces faisceaux, de façon simplifiée et utile, les évolutions de la croissance en hauteur que nous avons pu constater.

2. Démarche méthodologique

2.1 Peuplements échantillonnés

A l'issue de la prospection réalisée par l'ONF en 1997-99, 86 peuplements, âgés de 90 à 200 ans, ont été échantillonnés. Ils appartiennent à trois ensembles géographiques, correspondant au Nord-Ouest, au Nord-Est et à l'Est du pays (Normandie/Picardie, Alsace/Lorraine et Champagne sud / Bourgogne / Franche-Comté).

Le secteur Nord-Ouest (32 peuplements dans 13 massifs) est lui-même scindé en deux sous-ensembles géographiques équilibrés, complétés par quelques peuplements disséminés :

- une zone "côtière", allant de l'embouchure de la Seine à celle de la Somme,
- une zone "intérieure", essentiellement dans les massifs forestiers de l'Oise.

Le secteur Nord-Est (36 peuplements dans 26 massifs), s'appuie pour une large part sur des peuplements du plateau Lorrain, et s'étend de l'Argonne aux Vosges, en se cantonnant dans ce dernier cas aux faibles altitudes (Vosges du Nord, collines sous-vosgiennes de l'Ouest du massif, et quelques peuplements à plus haute altitude en versant Alsacien).

Le secteur Est enfin comprend un nombre de peuplements plus modéré (18 peuplements dans 13 massifs). Il compte un premier ensemble de peuplements situés sur la moitié sud du plateau de Langres (Haute-Marne), un second ensemble d'importance équivalente, qui s'étend sur les avant-monts Jurassiens et le premier plateau du Jura, au sud de la rivière Doubs (entre Dôle et Montbéliard),

et quelques peuplements plus dispersés venant compléter ce secteur par le sud-ouest (sud de la Côte d'Or et Saône-et-Loire).

Aux fins de nos études sur l'évolution de la productivité, 30 peuplements plus jeunes, âgés de 40 à 90 ans dans le Nord-Est, et de 50 à 120 ans dans le Nord-Ouest, sont venus compléter l'échantillon précédent, de façon à disposer d'une quinzaine de couples dans chaque région. Ils ont également été utilisés dans le présent cadre.

Le dernier secteur (Est), en revanche, n'a pas fait l'objet d'une telle investigation par notre laboratoire. Or il n'y a pas de raison a priori de penser que la croissance des peuplements concernés ait pu être indemne d'une dérive positive. Si l'on se réfère aux études françaises et à la majorité des études européennes publiées à ce jour (Spiecker et al., 1996), réalisées sur des essences et dans des contextes variés, le constat qui s'en dégage est – au moins sur le plan qualitatif – consensuel. Cet effet potentiel est enregistré dans les courbes de croissance, et a pu les déformer partiellement. Sans possibilité de le caractériser, on serait conduit à attribuer au seul effet de l'âge un signal qui ne lui est dû qu'en partie, et à produire en conséquence un faisceau de courbes qui l'incorporerait de façon implicite. L'objectif présent est au contraire d'intégrer explicitement cette tendance aux faisceaux de courbes, ce qui implique en particulier de pouvoir tenir compte de la date de naissance des peuplements lors de leur utilisation. Nous avons donc écarté le secteur Est pour la présente étude. Nos travaux sur la croissance du hêtre se poursuivront, et ces données de croissance feront l'objet d'une analyse ultérieure.

La localisation des peuplements que l'on a finalement conservés est indiquée sur la **figure 1**.

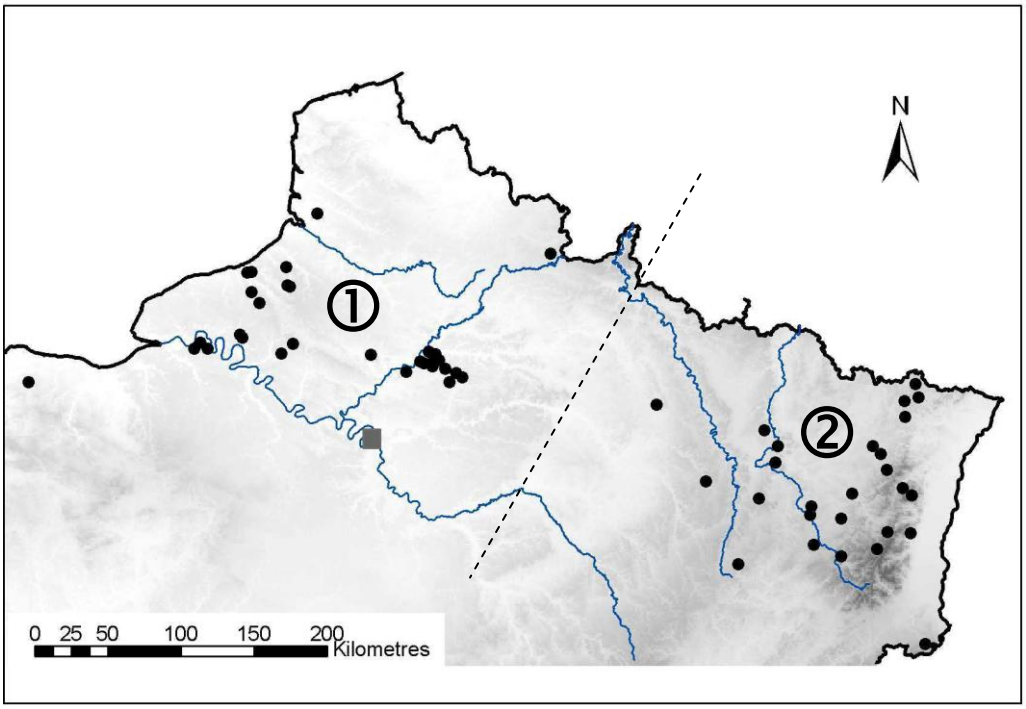


Figure 1. Localisation des peuplements échantillonnés et identification des faisceaux relatifs à chaque région. En l'absence de peuplements intermédiaires, l'axe de séparation des deux régions est positionné à titre indicatif (voir texte).

2.2 Reconstitution de la croissance en hauteur dominante

Selon un protocole établi et mis en oeuvre à l'ONF, 3 arbres dominants ont été abattus dans chaque peuplement pour en réaliser les analyses de tige. Ils correspondent aux 1er, 3e et 5e plus gros arbres à 1.30m, d'une placette de 6 ares installée à cet effet et représentative du peuplement. Une telle procédure garantit un échantillonnage sans biais de la hauteur dominante.
Les comptages de cernes ont été réalisés sur des rondelles prélevées à des hauteurs mesurées précisément, tous les 4m environ dans la partie vendable, puis tous les 2m dans le houppier. De même on a mesuré la hauteur totale de l'arbre. L'âge a été déterminé sur la première rondelle, prélevée à 0,30m.
A partir des 3 courbes de croissance en hauteur alors obtenues, une courbe moyenne a été calculée pour chaque placette. Nous admettons qu'elle représente la croissance en hauteur dominante du peuplement (nous faisons l'hypothèse que la condition de dominance des 3 arbres a été vérifiée tout au long de leur développement).

2.3 Principe de construction d'un faisceau de courbes

Lorsque l'on cherche à analyser et modéliser un processus de croissance à partir de données expérimentales, on a traditionnellement recours à une équation de croissance (encore appelée modèle de croissance), comportant un faible nombre de paramètres. Elle correspond à une courbe sigmoïde : la vitesse de croissance passe par un maximum avant de décroître progressivement, comme on l'observe généralement pour la croissance en hauteur dominante. Les paramètres de cette équation sont ajustés au sens statistique aux données, c'est à dire de façon à ce que le modèle s'approche au mieux des courbes observées, issues des mesures.

Un faisceau de courbes est la représentation graphique d'un tel modèle de croissance (**Annexe 2**). Il se traduit par des trajectoires de croissance dans le plan âge-hauteur. De nombreux modèles de croissance ont pu être utilisés et développés en sciences forestières. Une étape de la démarche consiste donc à rechercher le modèle le mieux adapté à la forme des courbes observées.
Notre modèle prédit initialement des accroissements en hauteur en fonction de la hauteur courante. Il dépend de trois paramètres, estimés lors de l'ajustement statistique :

- un paramètre de fertilité : il correspond ici à la vitesse maximale de croissance en hauteur, généralement atteinte à un stade précoce. Il s'apparente donc très fortement à l'indice de fertilité, au sens classique de la hauteur atteinte à un âge de référence donné. Sa valeur est propre à chaque peuplement. C'est ce paramètre qui contrôle la position des courbes dans le faisceau,
- une hauteur maximale ou hauteur finale (asymptote) : généralement commune à l'ensemble des peuplements représentés, cette grandeur a un sens théorique, dans la mesure où on ne peut l'estimer directement en observant les courbes. En effet, la croissance en hauteur dominante semble ne pas devoir s'interrompre, même pour les peuplements les plus âgés (180 à 200 ans). Le rôle de ce paramètre est en réalité de contrôler le ralentissement que l'on observe dans les courbes de croissance, à mesure que l'âge du peuplement augmente. Selon la fertilité du peuplement, on s'approche plus ou moins rapidement de cette asymptote,
- un paramètre de forme : en complément des deux paramètres précédents, il permet de préciser la forme de la courbe, c'est à dire son degré de courbure. Sa valeur est également commune à l'ensemble des peuplements.

Une fois le modèle ajusté, la fonction de croissance et les paramètres sont utilisés pour représenter les courbes de hauteur dominante en fonction de l'âge du peuplement. La largeur du faisceau correspond alors à la gamme de fertilités rencontrées dans les peuplements échantillonnés, c'est à dire à la gamme de valeurs prises par le paramètre de fertilité. Le faisceau lui-même est constitué de courbes guides en nombre limité, ici étagées selon des niveaux réguliers de la hauteur dominante à 100 ans.

Pour des raisons pratiques, liées à la modélisation de l'évolution de la croissance à long-terme (voir **Annexe 1** sur les changements de productivité), un modèle a été ajusté pour chacune des deux régions. Dans chaque cas, l'ensemble des peuplements jeunes et vieux dont on disposait ont été utilisés.

3. Elaboration des faisceaux de référence

3.1 Une variabilité régionale confirmée, des hêtraies continentales plus "hautes"

Les faisceaux Schober et Hamilton-Christie laissaient supposer des différences régionales dans la croissance en hauteur du hêtre, que nous confirmons ici. A des âges élevés, les peuplements de hêtre du Nord-Est semblent pouvoir croître davantage que ceux du Nord-Ouest, ce qui se traduit par une valeur plus grande du paramètre de hauteur maximale dans cette région (voir constante "a", **Annexe 2**).
Tandis qu'on observe une concordance correcte entre les courbes Schober et celles du Nord-Est, la divergence entre les courbes Hamilton-Christie et les courbes du Nord-Ouest est sensible : à partir de 100 ans, la croissance en hauteur est étonnamment faible sur les courbes anglaises, tandis les peuplements peuvent encore gagner de l'ordre de 5 à 7 m jusqu'à 150 ans.

Une distinction semblait par ailleurs être opérée par le gestionnaire, entre les hêtraies côtières de Normandie et Picardie, et celles situées à l'intérieur des terres, plus au Sud-Est (Oise), et qui passaient pour être généralement plus hautes. On attribuait usuellement cette différence à un effet de la fertilité, supposée moins favorable en zone côtière. Nous confirmons également une différence de croissance entre ces secteurs. Elle ne se traduit cependant pas dans les valeurs du paramètre de fertilité, mais là encore, sur la forme des courbes, c'est à dire sur la croissance en hauteur au stade de la futaie adulte (paramètre de hauteur maximale). Par son ampleur plus modérée – de l'ordre de 1 à 2m à 100 ans à niveau de fertilité identique – cette dernière différence ne justifie pas que soient distingués deux faisceaux dans le Nord-Ouest.

3.2 Un caractère graduel

Ces observations offrent une certaine cohérence sur le plan géographique, et laissent penser que cette variabilité de la forme des courbes pourrait présenter un caractère continu sur l'ensemble de la zone de production du hêtre. En autorisant pour chaque peuplement une variation du paramètre de hauteur maximale autour de la valeur moyenne régionale, il est ressorti que ce phénomène possédait effectivement un caractère graduel, avec des peuplements progressivement plus élevés à mesure que l'on s'avance dans les terres (voir figure 2).

Les fortes corrélations obtenues avec des variables climatiques (normales mensuelles sur la période 1961-1990) suggèrent un contrôle climatique de ce schéma spatial. En dépit des corrélations entre les variables climatiques elles-mêmes, le long du gradient d'observation, deux axes structurants de cette variabilité peuvent être distingués. On repère ainsi des influences positives liées au froid hivernal (relations négatives marquées avec les températures hivernales, positives avec le nombre de jours de gel) et plus secondairement à la chaleur estivale.

En résumé, le passage d'une influence climatique atlantique à une influence plus continentale verrait donc augmenter l'aptitude des peuplements adultes à une croissance en hauteur plus soutenue. Cela signifie que les deux faisceaux régionaux ici publiés correspondent à un découpage territorial pratique, qui trouve sa justification dans l'existence d'une zone à faible surface forestière (Champagne, centre de la Picardie), dans laquelle on ne dispose d'ailleurs pas de peuplements échantillons (figure 1). Ils doivent cependant être considérés comme la déclinaison ponctuelle d'un phénomène vraisemblablement continu sur la zone de production du hêtre. A ce titre, il sera intéressant de vérifier si ce constat se généralise aux peuplements du secteur Est.

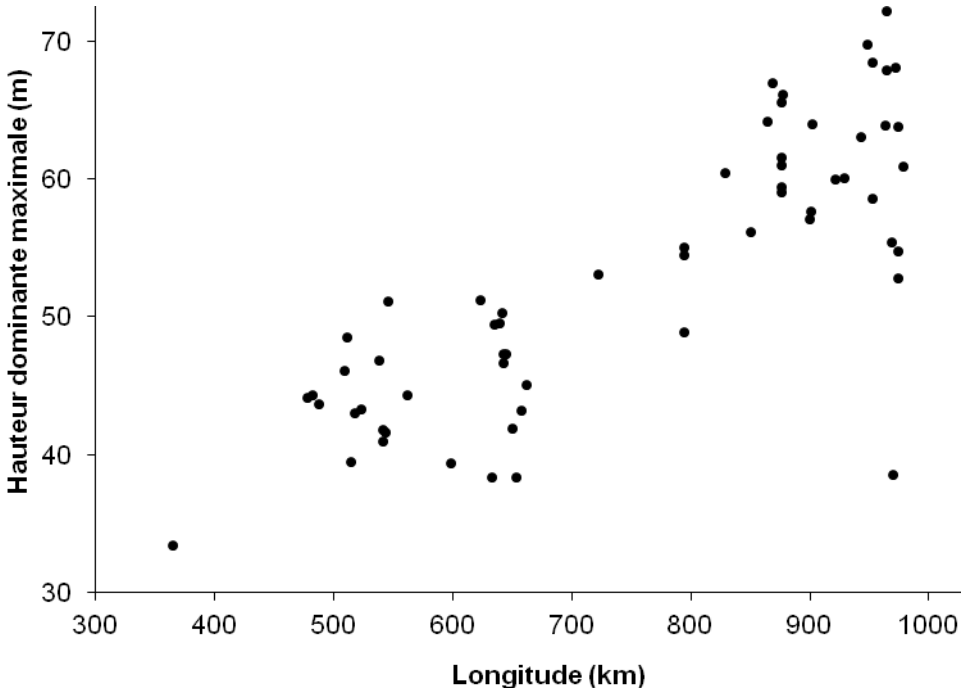


Figure 2. Relation entre la hauteur dominante maximale théorique et la longitude des peuplements échantillonnés (localisés sur la figure 1). La longitude est exprimée dans le système de projection Lambert II étendue (référence : méridien de Paris à 600 km).

S'agissant de la notion d'indice de fertilité, ces observations appellent également un commentaire. Ces indices prennent leur sens parce que l'on peut traduire la croissance en hauteur dominante, de manière habituelle et efficace, par un faisceau de courbes croissantes, étagées et non-sécantes, où un seul paramètre varie. Ce dernier contrôle la hauteur de chacune d'elles, et caractérise le niveau de fertilité de la station. Il est couramment exprimé par la hauteur atteinte à un âge de référence.

Dans le présent contexte du hêtre, nous mettons en évidence la nécessité d'un paramètre supplémentaire pour décrire la variabilité constatée. Puisqu'il semble traduire une influence du climat, on doit le considérer en toute logique comme un paramètre stationnel à part entière. Cette seconde source de variation signifie qu'il devient possible d'observer des courbes de croissance présentant une intersection, à partir du moment où les peuplements correspondants sont géographiquement éloignés sur un gradient de continentalité. De tels croisements de courbes ont par exemple pu être constatés dans le jeu de données correspondant aux peuplements du secteur Nord-Ouest (intersections entre les courbes des peuplements côtiers et de la zone intérieure).

Le concept d'indice de fertilité reste donc ici pertinent, mais à condition de remarquer le caractère local de sa signification (dans une zone homogène du point de vue climatique). On évitera donc de comparer des indices de fertilité qui seraient mesurés sur des hêtraies trop distantes, parce qu'ils ne préjugeraient pas nécessairement de différences de productivité.

3.3 Intégration des évolutions de croissance à long-terme

Le fait que la productivité des peuplements a pu évoluer au cours du temps (voir l'**Annexe 1**) vient affaiblir le concept de faisceau de courbes de référence. Leur élaboration suppose en effet que la croissance est au contraire un phénomène stable au cours des temps, et sous la seule influence de l'âge des peuplements, pour un niveau de fertilité stable a priori. Dans ce nouveau contexte, le niveau de la croissance varie à chaque date, et la dérive à long-terme se traduit par une déformation progressive des courbes de croissance vers de plus grandes hauteurs. Même en intégrant le phénomène, un faisceau n'est désormais valide qu'une fois précisée la référence temporelle de son utilisation, par exemple la date de naissance des peuplements. A cet égard, il peut être décliné en autant de versions que de dates de naissance possibles correspondant aux peuplements actuels.

Les tendances mises en évidence valent pour le siècle dernier. Elles ont donc un caractère historique, et ne préjugent en rien de celles que pourraient connaître les hêtraies dans les décennies à venir. Il n'est à l'heure actuelle pas possible de prédire ces évolutions, ce qui tient en partie à l'identification des facteurs en cause. Pour que des courbes de référence soient applicables aux peuplements futurs, cette prédiction serait cependant nécessaire, ce qui peut constituer une limite à la présente démarche.

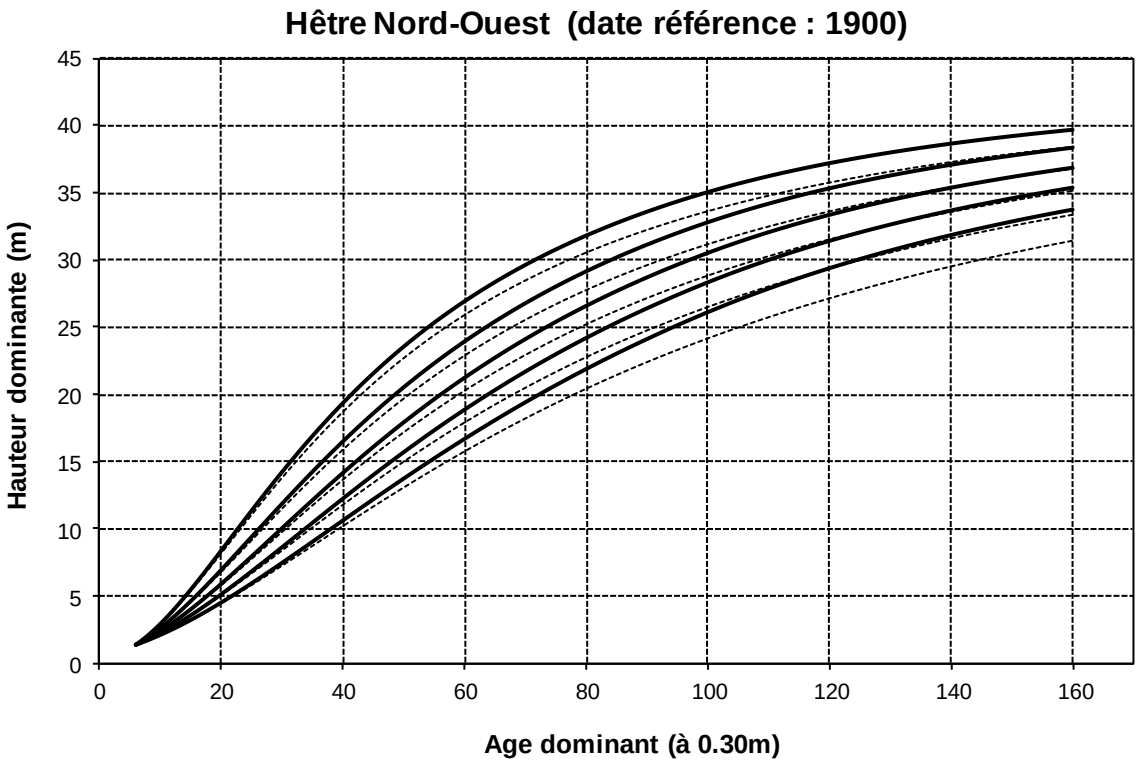
Pour établir les faisceaux de référence, nous avons choisi de cibler les jeunes peuplements, prioritaires du point de vue de la gestion. Pour la simplicité du raisonnement, on considère une gamme d'âge s'étalant jusqu'à 100 ans, correspondant à des peuplements apparus entre 1900 et aujourd'hui :

- Les courbes de croissance correspondant à des peuplements d'une centaine d'années ont connu une déformation progressive, dont on peut tenir compte, puisqu'on dispose de la chronique de l'évolution qui a eu lieu au cours du XXe siècle. Ces considérations conduisent à définir un première référence temporelle pour l'élaboration des faisceaux (peuplements nés en 1900),

- A l'opposé, pour des peuplements s'établissant actuellement, on ne connaît pas l'évolution future de leur croissance. En l'absence d'information, la difficulté peut être contournée en adoptant une attitude prudente et en posant l'hypothèse que ces peuplements connaîtront un niveau de croissance constant, égal à celui atteint à la fin du XXe siècle. On suppose de plus que la forme des courbes de croissance ne sera pas modifiée. Ce raisonnement sert de base à une seconde référence temporelle (peuplements nés en 2000),
  Le fait de fixer la croissance à un niveau de référence signifie qu'il n'y a pas cette fois de déformation progressive des courbes, et que ce dernier faisceau est donc de même forme que celui que l'on aurait obtenu en l'absence de toute évolution. Les courbes s'en trouvent simplement décalées « vers le haut », au contraire du faisceau précédent dont les courbes sont véritablement déformées (voir les faisceaux, figures 3 et 4).

- Considérons enfin des peuplements d'âge intermédiaire (50 ans), nés au milieu du siècle dernier. Parce que les tendances rapportées, faibles au début du siècle, ont connu une forte accélération à partir de cette date, il s'avère que le faisceau correspondant se superpose quasiment au faisceau intégrant le niveau de croissance de la fin du siècle. Cela signifie que l'ensemble des peuplements qui ont aujourd'hui moins de 50 ans peuvent être en réalité approchés par un faisceau unique.

Cela nous conduit finalement à proposer deux faisceaux pour chaque région identifiée : l'un valant pour des peuplements nés en 1900, et le second pour les peuplements les plus jeunes.



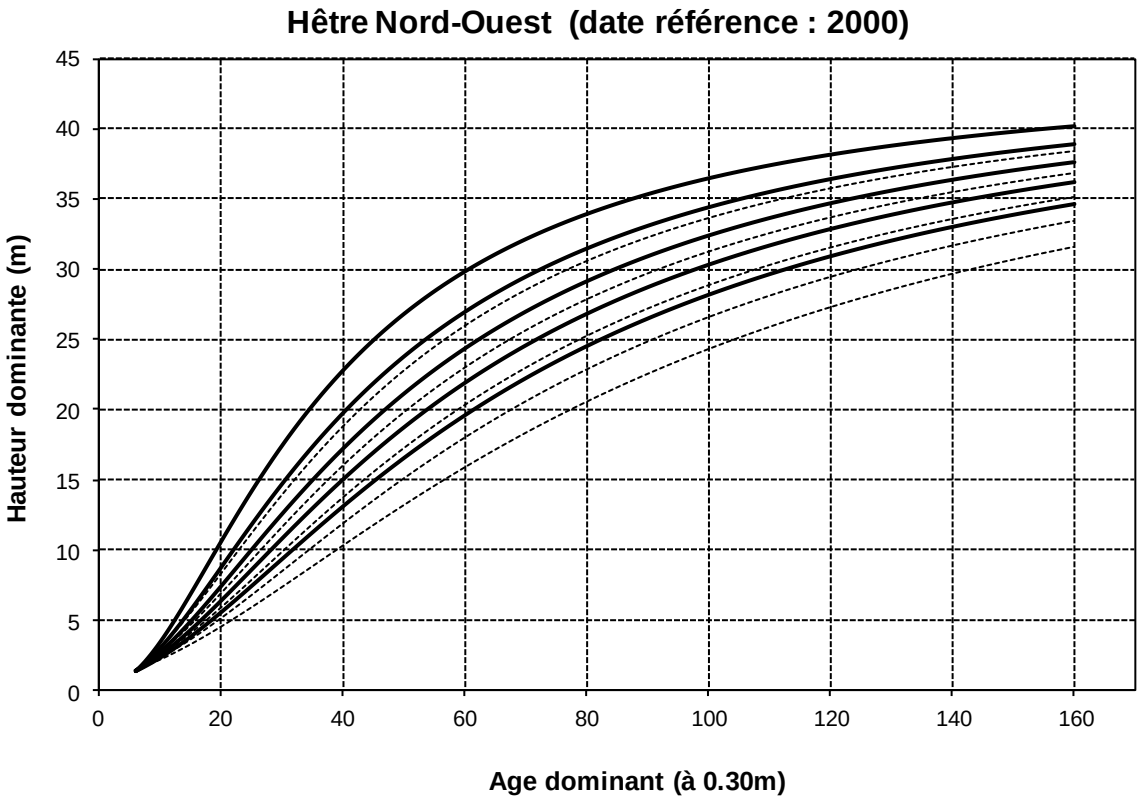
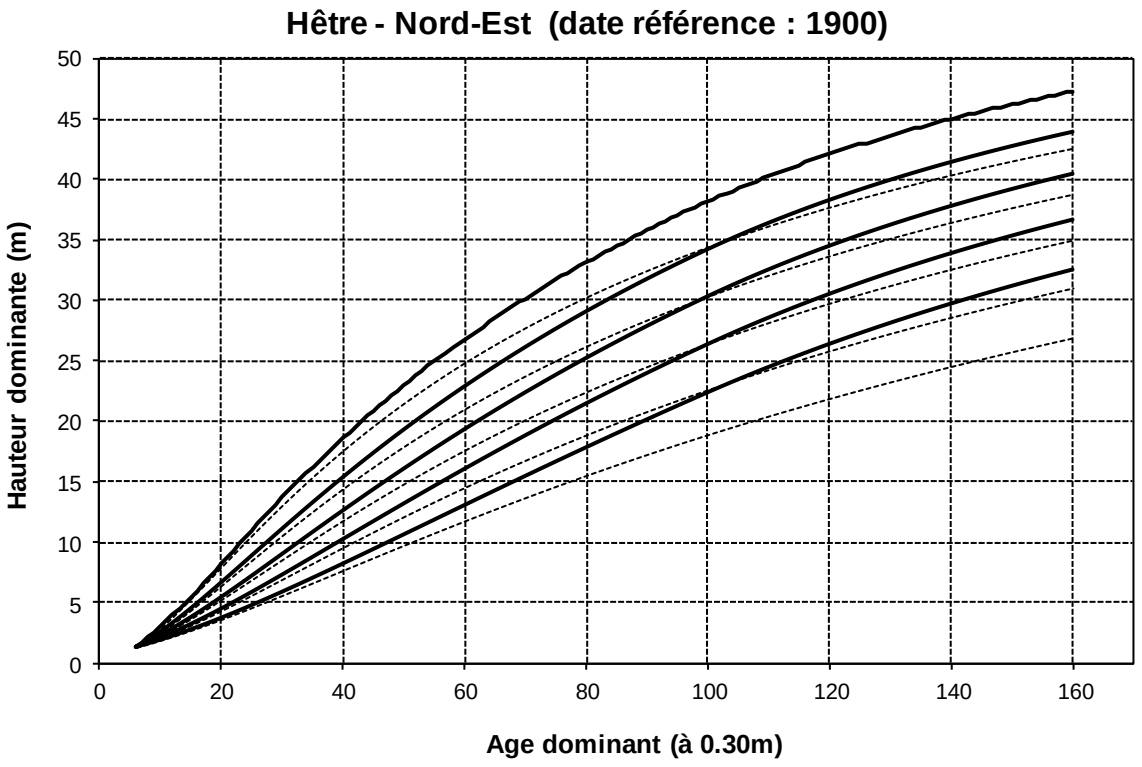


Figure 3. Faisceaux de référence pour la croissance en hauteur dominante du Nord-Ouest de la France (désignés par ① sur la figure 1).

Le premier faisceau (date de référence 1900) correspond à des peuplements aujourd'hui âgés d'une centaine d'années. En l'absence de tendances à long-terme, le faisceau en pointillés ferait référence. Le second faisceau (date de référence 2000) est utilisable pour des peuplements dont l'âge est aujourd'hui inférieur ou égal à une cinquantaine d'années.



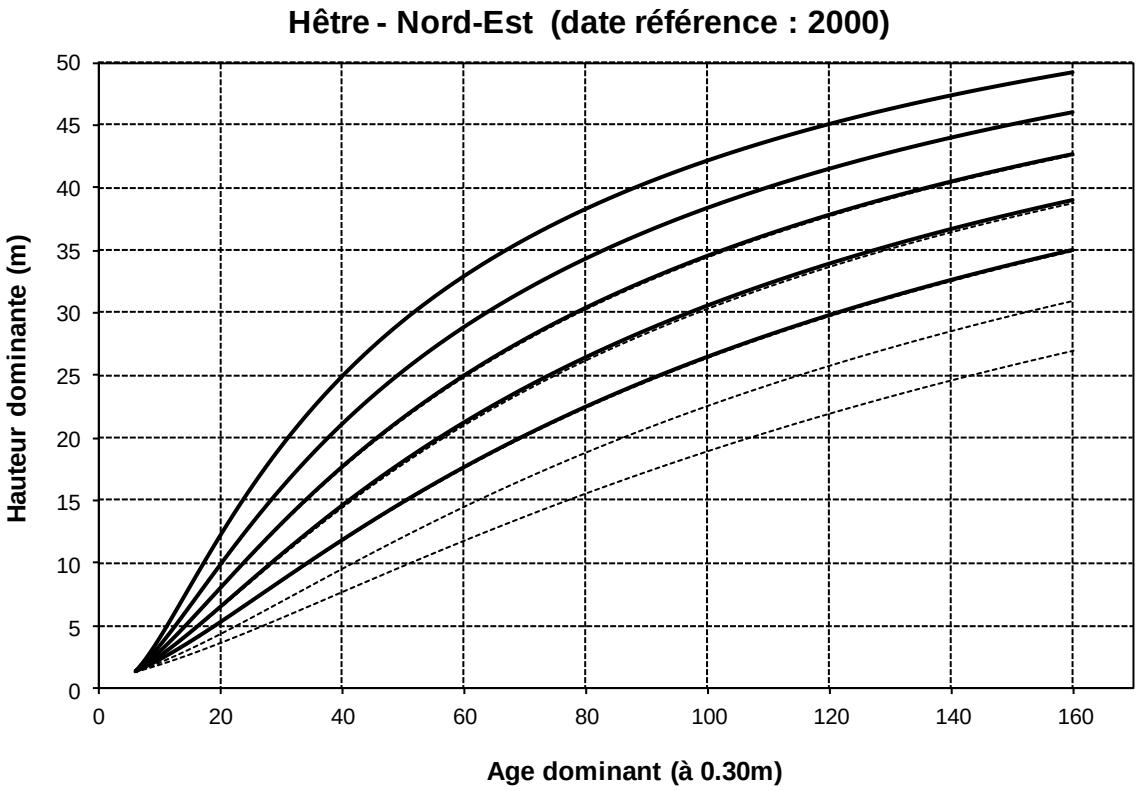


Figure 4. Faisceaux de référence pour la croissance en hauteur dominante du Nord-Est de la France (désignés par ② sur la figure 1).

Le premier faisceau (date de référence 1900) correspond à des peuplements aujourd'hui âgés d'une centaine d'années. En l'absence de tendances à long-terme, le faisceau en pointillés ferait référence.
Le second faisceau (date de référence 2000) est utilisable pour des peuplements dont l'âge est aujourd'hui inférieur ou égal à une cinquantaine d'années.

3.4 Quelques commentaires sur les faisceaux présentés

L'ensemble de faisceaux de référence présentés distingue donc deux ensembles géographiques et se décline en deux références temporelles différentes. Il vaut pour des peuplements dont l'âge actuel est au maximum d'une centaine d'années. La figure 1 indique les zones d'utilisation de chacun d'entre eux. Le secteur Champagne-Picardie étant peu forestier, il induit une séparation naturelle de la zone de production du hêtre en deux ensembles régionaux. Combinée au phénomène de continentalité évoqué plus haut, cette réalité nous a conduits à représenter un axe de délimitation indicatif, orthogonal à un gradient de continentalité, mais dont la position précise importe finalement peu. La date de naissance des peuplements permet ensuite de choisir l'un ou l'autre des 2 faisceaux (figures 3 et 4).

Pour représenter ces faisceaux de courbes, on n'a pas tenu compte de la variabilité intra-régionale constatée sur le paramètre de hauteur maximale, pour lequel on a donc considéré la valeur moyenne, relativement à chaque région.
Ils sont définis jusqu'à un âge de 160 ans. Cela tient à la faible représentation de la classe des 160-200 ans dans le Nord-Est (4 peuplements). Cette classe est mieux pourvue dans le Nord-Ouest, avec 9 peuplements dont 7 dans la classe 160-180 ans. Pour l'homogénéité de la présentation, nous nous en sommes tenus à ce seuil, suffisant en pratique.
A des fins de comparaison, les courbes qui auraient cours en l'absence d'évolution à long-terme sont également portées sur les faisceaux.

Les équations et valeurs des paramètres à la base de ces faisceaux sont indiquées dans l'**Annexe 2**.

4. Conclusion

Bien que décliné selon deux niveaux régionaux et à deux dates, ce système de référence constitue un minimum acceptable, si l'on souhaite tenir compte des observations réalisées récemment sur la variabilité régionale et temporelle de la croissance en hauteur dominante des hêtraies du nord de la France. A supposer que les hêtraies du secteur Est aient un comportement différencié du point de vue de la croissance, on pourrait de plus être conduit à le compléter. La variabilité régionale repose elle-même sur deux phénomènes distincts – influence probable du climat moyen et changements de productivité au caractère régional – jouant tous deux dans le sens d'une individualisation des deux grands secteurs régionaux de production du hêtre.

A mesure que l'on progresse dans la compréhension du déterminisme de la croissance et l'identification des facteurs en jeu, il ne fait pas de doute que de tels systèmes de références pourront être déclinés de plus en plus finement, en fonction des conditions locales de production. Cela signifie aussi que de nouveaux outils de gestion devront être mis en œuvre. Sur le thème des courbes de références, il faudra probablement préférer des outils plus flexibles, à un système donné de référence graphique. L'utilisation de logiciels de simulation de la croissance permettrait de tenir compte, rapidement et localement, de l'ensemble des facteurs dont l'influence est avérée.

Les courbes de croissance ici présentées ont été introduites dans le simulateur de croissance et de production Fagacées (hêtre et chêne sessile), développé dans notre laboratoire par J.-F. Dhôte (Dhôte & al., 2005), et implémenté sur la plate-forme logicielle CAPSIS (de Coligny & al., 2004). De façon souple, on peut ainsi explorer la liaison entre indice de fertilité et production des peuplements, tout en tenant compte des tendances à long-terme déjà constatées, à un niveau régional.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent à l'Office National des Forêts, pour la mise à disposition des données issues de la campagne d'analyses de tiges dans les hêtraies du nord de la France. Ils vont également aux personnels des anciennes Sections Techniques Inter-Régionales Nord-Ouest, Nord-Est et Est de l'ONF, sans la contribution desquelles la réalisation de cette campagne n'aurait été permise. Nous voudrions remercier plus particulièrement Jérôme Piat, de l'ex-STIR Nord-Ouest, grâce auquel il a été possible de retrouver les peuplements échantillonnés 5 ans auparavant dans cette région, en vue de notre étude sur les changements de productivité des hêtraies. Les travaux rapportés dans la présente contribution font l'objet d'un financement de l'Office National des Forêts dans le cadre de la convention de recherche ONF-LERFoB 2004-2005 « Production et Qualité des Feuillus Sociaux », que nous remercions à nouveau.

Bibliographie

BECKER M., BERT G.D., BOUCHON J., PICARD J.F. & ULRICH E., 1994. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIXe siècle. Revue Forestière Française, XLVI (4), pp 335-341.

BADEAU V., BECKER M., BERT D., DUPOUEY J.-L., LEBOURGEOIS F., PICARD, J.-F., 1996. Long-term growth trends of trees : ten years of dendrochronological studies in France. *In* SPIECKER H., MIELIKÄINEN K., KÖHL M., J.P. SKOVSGAARD, 1996. Growth trends in european forests. EFI, Springer Vlg, Berlin, pp 167-181.

BONTEMPS J.-D., VALLET P., HERVE J.-C., RITTIE D., DUPOUEY J.-L., DHÔTE J.-F., 2005. Des hêtraies qui poussent de plus en plus vite : vers une forte diminution de leur âge d'exploitabilité ? Revue Forestière Française, LVII (2), pp 123-142.

COLIGNY F. (de), ANCELIN P., CORNU G., COURBAUD B., DREYFUS P., GOREAUD F., GOURLET-FLEURY S., MEREDIEU C., ORAZIO C., & SAINT-ANDRE L., 2004. Capsis : Computer-Aided Projection for Strategies In Silviculture : Open architecture for a shared forest-modelling platform. *In* Proceedings of the IUFRO Working Party S5.01-04 conference (September 2002) Harrison, British Columbia, Canada, pp 371-380.

DHÔTE J.-F., LE MOGUEDEC G., 2005. Présentation du modèle Fagacées. Document interne du LERFoB, UMR 1092 Inra-Engref.

DUPLAT P., TRAN-HA M., 1997. Modélisation de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile (Quercus petraea Liebl) en France. Variabilité inter-régionale et effet de la période récente (1959-1993). Annales des Sciences Forestières, 54 (7), pp. 611-634.

HAMILTON G. J., CHRISTIE J. M., 1971. Forest management tables (metric). Her Majesty's Stationery Office, London.

HERVE J.C., DHOTE J.F., DUPOUEY J.L., 2000. Evolution de la vitesse de croissance en hauteur dominante au cours du XXe siècle dans les hêtraies régulières du Nord-Est. Rapport de convention ECOFOR/INRA 99.38, composante 4, pp. 1-33.

SCHOBER R., 1987. Ertragstafeln wichtiger Baumarten, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 3e édition.

SPIECKER H., MIELIKÄINEN K., KÖHL M., J.P. SKOVSGAARD, 1996. Growth trends in european forests. EFI, Springer Vlg, Berlin, 372 p.

VANNIERE B. (édition présentée par), 1984. Tables de production pour les forêts françaises, ENGREF, Nancy, 2e édition.

Annexe 1. Changements de productivité au XXe siècle : des tendances positives à caractère régional

La recherche de tendances à long-terme sur la croissance en hauteur dominante des hêtraies a été menée pour chacune des deux régions Alsace-Lorraine (Hervé & al., 2000 ; Bontemps & al., 2005) et Normandie-Picardie.

Pour cela, des peuplements de générations distinctes (avec en pratique un écart d'âge moyen de l'ordre de 70 ans), sont associés en couples, au sein desquels les conditions stationnelles sont similaires. La comparaison de la croissance des deux générations permet alors de détecter une tendance à long-terme. L'indice de fertilité étant susceptible d'avoir évolué au cours du temps, il ne constitue plus un critère fixe d'appréciation de la fertilité. La proximité stationnelle a donc été évaluée sur la base des facteurs permanents de la production : topographie, exposition, pente, types de sols (profils pédologiques), complétés par des relevés de flore et d'humus.

Du point de vue de la modélisation, la démarche est similaire à celle indiquée dans la section "Principes de construction d'un faisceau de courbes". On introduit cependant un effet supplémentaire dans le modèle - en pratique un effet de la date - pour rendre compte de la tendance historique recherchée. Il vient multiplier le paramètre de fertilité du modèle, qui augmente alors en présence d'une tendance positive.

Une telle évolution de la vitesse de croissance a été détectée dans chaque région. Elle s'est essentiellement effectuée dans la seconde partie du siècle, avec une forte accélération à partir des années 1950. Des accidents climatiques, correspondant à des successions caractéristiques d'années aux étés secs (décennies 1940 et 1990 notamment) viennent infléchir, de façon parfois importante, l'évolution constatée.

Au delà de ces points communs, le niveau de cette dérive varie fortement d'une région à l'autre. Atteignant +50% sur le XXe siècle dans le Nord-Est, il est moitié moindre dans le Nord-Ouest. A côté des facteurs globaux souvent invoqués (climat, CO2 atmosphérique), il traduit donc l'implication probable de facteurs du milieu dont l'évolution est régionale (exemple des dépôts atmosphériques azotés).

L'interprétation de ces chiffres doit être précisée. Une tendance de 50% sur la vitesse de croissance ne signifie pas que les peuplements sont maintenant 50% plus hauts qu'ils ne l'étaient au début du siècle dernier. Elle s'interprète directement en termes de raccourcissement de la durée nécessaire pour atteindre un stade donné. A supposer que la croissance radiale des arbres de la récolte finale ait suivi la même évolution (ce qui semble plausible, la tendance identifiée sur la croissance radiale dominante dans le Nord-Est par une approche semblable étant de même ampleur), et à supposer que le niveau actuel de la productivité se maintienne, ce chiffre implique ainsi une réduction potentielle d'un tiers des durées de révolution dans le Nord-Est. Dans le Nord-Ouest, où la tendance rapportée est de l'ordre de 25%, cette réduction est d'un cinquième. A titre d'illustration dans le Nord-Est, on a pu montrer qu'une hêtraie née en 1850 et conduite en éclaircies faibles atteignait un diamètre objectif de 60cm en 150 ans, contre 90 ans pour une même hêtraie née en 1950, et ayant subi une sylviculture dynamique (Bontemps & al, 2005).

Cette tendance à long-terme présente un caractère plus prononcé dans le Nord-Est que dans le secteur atlantique. Elle ne doit cependant pas être confondue avec le phénomène de continentalité constaté sur un gradient Ouest-Est, à l'origine de la différence de forme des courbes de croissance, (voir texte).

Annexe 2. Equations des courbes de croissance en hauteur dominante

La forme de l'équation de croissance que nous avons retenue est la même pour les deux secteurs régionaux (modèle de Korf). Afin d'en alléger la présentation, elle est introduite sous une forme récursive, comme suit :

$$H_t = a\, exp\, [-(p_f\, b\, chprod\, (date_0 + t) + [\, ln\, (a / H_{t-1})\,]^{-1/c})^{-c}\,]$$

où H_t désigne la hauteur dominante à l'âge *t* (la référence choisie pour définir l'âge du peuplement est celle d'un âge nul à la hauteur de 0.30m), $date_0$ est la date de naissance du peuplement, p_f correspond au paramètre de fertilité, *chprod* est une fonction de forme quadratique permettant de tenir compte de l'évolution de la croissance à long-terme, et a, b, et c sont des constantes dont la valeur dépend de la région d'étude (a est la hauteur maximale théorique en m). Les courbes sont définies à partir d'un âge t_0 et d'une hauteur H_0.
Pour des valeurs de *date* comprises entre 1900 et 2000, on a :

$$chprod\,(date) = 1 + d_1\,(date - 1900) + d_2\,(date - 1900)^2$$

Pour une date antérieure à 1900, on a :

$$chprod\,(date) = 1$$

Et pour une date postérieure à 2000 :

$$chprod\,(date) = chprod\,(2000)$$

Pour obtenir des courbes sans évolution à long-terme (courbes en pointillés sur les faisceaux), le terme « $chprod\,(date_0 + t)$ » est remplacé par la valeur 1.

Valeur des constantes

Constante	Nord-Ouest	Nord-Est
a	44.2	68.7
b	0.032	0.028
c	1.647	0.823
t_0	6	6
H_0	1.4	1.35
d_1	$1.245\ 10^{-3}$	$2.03\ 10^{-3}$
d_2	$1.74\ 10^{-5}$	$3.96\ 10^{-5}$
p_f (gamme observée)	0.29 – 0.58	0.21 – 0.53