



HAL
open science

Evolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile en France au cours du XXe siècle

Vincent Jédélé

► **To cite this version:**

Vincent Jédélé. Evolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile en France au cours du XXe siècle. [Stage] Centre de Formation des Apprentis, MIRECOURT, FRA. 2005, 47 p. hal-02829914

HAL Id: hal-02829914

<https://hal.inrae.fr/hal-02829914>

Submitted on 7 Jun 2020

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.



Evolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile en France au cours du XX^e siècle

Vincent JÉDÉLÉ

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très sincèrement monsieur Daniel RITTIÉ, technicien de recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique basé à Champenoux en Meurthe-et-Moselle, de m'avoir suivi tout au long de ma formation BTS.

Je tiens aussi à le remercier de m'avoir fait découvrir les activités en rapport avec la recherche forestière et pour ses conseils lors de la rédaction de mon rapport.

Mes remerciements se tournent également vers monsieur Jean-Daniel Bontemps, Ingénieur du Génie Rural des Eaux et Forêts, qui m'a fourni les données interpolées et qui, grâce à ses connaissances, m'a aidé en matière de réflexion et d'interprétation des résultats.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, au cours de ma formation, m'ont donné des informations lors des différentes tâches qui m'étaient confiées et qui m'ont apporté de l'aide durant ces deux années d'apprentissage.

III	Protocole expérimental : terrain et laboratoire	p. 15 à 18
	Echantillonnage d'arbres dominants.....	p. 15
	Abattage – découpe.....	p. 15 à 17
	Reconstitution de la hauteur de chaque arbre.....	p. 17-18
IV	Calcul des hauteurs dominantes	p. 18 à 20
	Datation des rondelles	p. 18-19
	Choix des dates pour les courbes moyennes par placette	p. 19
	Interpolation des valeurs.....	p. 19-20
	Schéma de synthèse du travail effectué pour la collecte des données	p. 20

PARTIE 3

Présentation et interprétation des résultats

I	Etablissement des courbes	p. 21-22
II	Résultats et interprétation	p. 23 à 27
	Interprétation graphique.....	p. 23 à 25
	Analyse des données de hauteur	p. 25 à 27
	<u>Différences de hauteur à un même âge</u>	p. 25-26
	<u>Évolution de la vitesse de croissance</u>	p. 27
	CONCLUSION	p. 28

INTRODUCTION

Il y a une vingtaine d'années, des scientifiques de la recherche forestière ont fortuitement constaté une tendance à l'augmentation de la croissance radiale de diverses essences. Une dizaine d'études concernant ce sujet a, depuis, été menée en France essentiellement par l'INRA de Champenoux pour montrer l'influence que peuvent avoir les changements globaux environnementaux sur la croissance des arbres et des peuplements.

L'étude expérimentale sur l'évolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile, menée par le LERFOB (Laboratoire d'Etude de Recherche Forêt-Bois), est une étude plus systématique visant à répondre à de nombreuses incertitudes nées à la suite des études précédentes.

Dans le cadre de ma formation "Brevet de Technicien Supérieur Agricole", option "Gestion Forestière", j'ai été accueilli par l'équipe "Dynamique des Systèmes Forestiers" du LERFOB (Laboratoire d'Etude des Ressources Forêts-Bois) qui est une Unité Mixte de Recherche (UMR) INRA/ENGREF.

Ma formation en alternance m'a permis de découvrir le monde de la recherche forestière et de participer, sur une durée de deux ans, à une étude très intéressante. Elle m'a également permis d'acquérir simultanément des connaissances forestières théoriques (école) et pratiques (entreprise).

L'étude à laquelle j'ai participé, a pour objectif de répondre à la problématique suivante :

« La productivité du chêne sessile a-t-elle évolué depuis un siècle en France ? »

L'étude est ciblée sur la hauteur dominante qui est un bon indicateur de la productivité. (Loi de Eichhorn élargie).

Une étude des caractéristiques botaniques du chêne sessile, comparé au chêne pédonculé, de leur autécologie respective et une présentation des traitements sylvicoles sont ainsi développées en première partie. Ces informations sont nécessaires pour avoir une bonne connaissance du chêne sessile.

La deuxième partie indique les objectifs et la situation géographique de l'étude afin de cadrer l'environnement dans lequel elle a été effectuée et donne en détail les travaux réalisés pour la collecte des données. Cette partie est essentielle pour se rendre compte des objectifs et de la méthodologie des tâches auxquelles j'ai participé durant ma formation.

Enfin, je terminerai en troisième partie, par une présentation des résultats sous forme de courbes d'évolution de la hauteur dominante et de tableaux. Puis je tenterai d'interpréter les résultats obtenus.

I L'INRA, organisme d'accueil

L'Institut National de la Recherche Agronomique a été créé en 1946. C'est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la double tutelle des ministères chargés de la Recherche et de l'Agriculture.

Cet établissement est né après la seconde guerre mondiale car l'agriculture est affaiblie et le pays se trouve dans une situation de pénurie alimentaire. L'INRA est alors chargé de rechercher de nouvelles méthodes de production alimentaire.

Ce n'est qu'en 1964 que la recherche forestière est intégrée à l'INRA avec la mise en place du Centre National de la Recherche Forestière (CNRF) de Nancy- Champenoux.

L'INRA compte aujourd'hui 17 départements de recherche ciblés sur trois grands secteurs : l'agriculture, l'environnement et l'alimentation.

Les études menées dans ces trois secteurs sont réparties en métropole dans 21 centres qui regroupent 257 Unités de Recherche.

Le centre de Nancy - Champenoux

Le centre INRA de Nancy - Champenoux accueille une communauté de travail d'environ 500 personnes, répartie en sept départements de recherche, dont le département "EFPA" (Ecologie des Forêts, Prairies et Milieux Aquatiques).

Le LERFOB (Laboratoire d'Etudes des Ressources Forêts - Bois), qui m'a accueilli pendant deux ans, est une unité mixte de recherche mise en place en 2000 par l'INRA et l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts (ENGREF).

Le LERFOB est constitué de cinq équipes dont l'équipe « Dynamique des Systèmes Forestiers » (DSF). Le technicien de cette équipe a été mon maître d'apprentissage pendant deux ans.

Les objectifs des recherches menées par l'équipe DSF sont :

- acquérir des connaissances sur la croissance et le développement des arbres et des peuplements forestiers, afin d'apporter des éléments d'amélioration et de diversification de la sylviculture, en régénération ou en plantation.
- utiliser les connaissances acquises pour l'enseignement supérieur (ENGREF), ou pour la mise au point d'outils d'aide à la gestion.

Durant la période de mon apprentissage à l'INRA, l'équipe DSF a mené une étude expérimentale concernant l'évolution de la productivité du chêne sessile au cours du XX^e siècle en France, à laquelle j'ai étroitement participé, et qui fera l'objet de mon rapport.

Avant d'aborder l'étude elle-même, il est important de bien connaître le chêne sessile et ses exigences et de les comparer à celles du chêne pédonculé, qui lui est proche sur bien des points.

II Aire de répartition, botanique et autécologie

Le chêne sessile et le chêne pédonculé se ressemblent fortement et ne présentent pas de grosses différences au niveau des exigences de climat et d'environnement.

Leur aire de répartition en France est similaire, le chêne sessile s'étend de l'étage collinéen à l'étage montagnard (cf. figure 2) alors que le chêne pédonculé s'étend dans toute la France de l'étage collinéen à la base de l'étage montagnard (cf. figure 3).

Les chênes sessile et pédonculé sont deux essences très semblables à l'œil nu ; leur différenciation se fait au niveau des critères botaniques.

Nom latin : *Quercus petraea* (chêne sessile) **famille :** fagacées
Quercus robur (chêne pédonculé)

Botanique

Le chêne sessile a une tige droite à ramification serrée et à flèche bien marquée.

Sa hauteur varie de 30 à 40 m.

Son écorce, à écailles rectangulaires, est de couleur grise et est fissurée longitudinalement.

Les bourgeons du chêne sessile sont ovoïdes à écailles pubescentes.

Les feuilles sont nettement pétiolées sans oreillettes, et ne présentent que rarement des nervures intercalaires (qui se situent dans le creux des lobes).

Son gland est sessile.

En revanche, le chêne pédonculé se reconnaît par son port très irrégulier avec des branches très sinueuses sans flèches distinctes ;

Sa hauteur peut varier entre 25 et 30 m ;

L'apparence de l'écorce est de couleur gris foncé, à écailles triangulaires ;

Les bourgeons sont ovoïdes à écailles glabres ;

Ses feuilles à pétiole court, présentent des oreillettes à la base et ont généralement quelques nervures intercalaires.

Son gland est pédonculé.

Autécologie

Le chêne sessile est une espèce de demi-lumière (exigeante en lumière) ;

Il est sensible aux gelées tardives ;

On le trouve sur différents types d'humus allant de "mull" à "mor" ;

Caractère indicateur : espèce à large amplitude ;

Cette essence est adaptée aux sols profonds, légers et bien drainés, et tolère les sols calcaires et acides.

Le chêne pédonculé est une espèce héliophile (très exigeante en lumière) ;

Les types d'humus qu'il tolère sont variés : mull carbonaté à hydro-mor ; les sols sont assez riches en base ;

Le profil pédologique peut être constitué d'argile, de limons et de sables ;

Le chêne pédonculé est une essence qui supporte bien les sols hydromorphes ;

Caractère indicateur : espèce neutrocline à large amplitude.

III Principaux ennemis des chênes communs et méthodes de lutte

Les ennemis des chênes communs peuvent être classés en trois catégories : les insectes, essentiellement défoliateurs, les champignons qui s'attaquent aux tissus ligneux et le gibier qui se nourrit de glands, de semis et de rejets de souche.

Les principaux insectes défoliateurs sont :

- la Processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*) : chenille urticante ; elle est présente dans toute la France ; les invasions durent de 2 à 3 ans et peuvent se renouveler tous les 10 ans. Les peuplements de chênes ouverts, clairsemés, de même que les lisières des massifs forestiers, sont les sites de développement préférentiels des populations de chenilles. Des attaques sévères ont eu lieu ces dernières années dans le Nord-Est affaiblissant les arbres et réduisant la production.

- Le bombyx disparate (*Lymantria dispar*) : chenille non urticante ; ses invasions peuvent défeuiller les arbres dans leur intégralité. Elles durent généralement de 2 à 3 ans, du début de la feuillaison jusqu'à la mi-juin. Ce papillon se reproduit en pondant des œufs qu'il dépose sur les troncs des arbres.

Les dégâts de défoliation occasionnés par ces chenilles, provoquent une chute de croissance des arbres et peuvent même les amener jusqu'à un dépérissement irréversible si les attaques se répètent ou si les arbres sont déjà affaiblis.

La lutte micro biologique, par pulvérisation d'une préparation à base de *Bacillus Thuringiensis*, est la plus souvent employée.

Les principaux champignons pathogènes sont :

- l'oïdium (*Microsphaera alphitoides*) : c'est le plus grand ennemi du chêne au niveau des maladies cryptogamiques. Il hiverne dans les bourgeons et son mycélium recouvre les feuilles d'un feutrage blanc dès la fin du printemps. Les conditions favorables au développement de ce champignon sont la chaleur et l'humidité. L'oïdium provoque un dessèchement des feuilles et ralentit ainsi la croissance de l'arbre.

- l'armillaire (*Armillaria sp.*) : c'est un parasite des racines se distinguant par la présence, entre l'écorce et le bois, de coussinets de mycélium blancs et de filaments mycéliens. Ce champignon ne se développe que sur les chênes déjà affaiblis par d'autres parasites. L'armillaire s'attaque à l'écorce et à l'aubier pourri.

Enfin, le gibier est un ennemi du chêne car il se nourrit des glands (sanglier) et des jeunes tiges et feuilles des semis (cervidés). Ainsi, il peut compromettre les régénérations naturelles.

Il est le seul ennemi contre qui l'homme peut limiter les dégâts avec des méthodes efficaces (ex : gaines individuelles de protection, clôtures).

IV Traitements sylvicoles

Le taillis simple et futaie sur souche

Les chênes sessile et pédonculé ne drageonnent pas, mais rejettent très bien de souche.

Pour le taillis simple, le chêne sessile est préférable au chêne pédonculé, car il rejette mieux de souche, ses cépées sont plus fournies, son couvert est plus épais et sa litière plus abondante, de sorte que le sol est mieux protégé. Actuellement, les taillis qui subsistent en France ne sont plus réellement cultivés et sont rarement exploités.

La futaie sur souche est l'étape de la conversion en futaie des taillis simples et taillis pauvres en réserve ; elle rassemble les opérations qui sont pratiquées pour changer le régime. Pour y parvenir, on réserve un certain nombre de tiges de l'âge du taillis en vue d'une production de bois d'œuvre. Puis, par le jeu d'éclaircies et de travaux appropriés, on réalise une sélection graduelle des arbres d'avenir. On peut renouveler un tel peuplement soit par régénération naturelle, soit par plantation.

Le taillis sous futaie

Le régime du taillis sous futaie est bien adapté à la culture des chênes. Ce régime est le point de départ de très nombreux peuplements qui sont actuellement en cours de conversion.

Le taillis est exploité en coupe rase, à intervalles de temps réguliers (une révolution : entre 20 et 40 ans).

Les arbres de la futaie sont assez espacés pour que la lumière pénètre jusqu'au sous bois et que le taillis puisse vivre et se développer. A chaque coupe du taillis, les baliveaux de bonne conformation sont réservés et passent dans la futaie.

Lorsque les semis s'installent, ils ont besoin d'une lumière abondante pour prospérer ; ainsi la concurrence du couvert de réserve et des rejets du taillis doit être modérée.

Les futaies d'âges multiples

Elle permettent de favoriser la biodiversité des essences, ce qui est beaucoup recherché de nos jours. Cette biodiversité permet d'une part d'occuper au mieux la station et d'autre part, permet aux peuplements d'être plus résistants aux attaques parasitaires. Cependant, ces futaies sont composées d'arbres ayant des âges très différents, et ne sont donc pas adaptées à notre étude expérimentale.

Le dernier mode de traitement concerne plus spécialement l'étude expérimentale sujet de ce rapport. Les arbres qui ont été abattus pour l'étude proviennent tous de futaies régulières de chêne sessile.

Il est donc important de voir comment est menée une futaie régulière de chêne.

La futaie régulière

Les futaies régulières de chênes ou à base de chêne que l'on rencontre actuellement sont issues de semis ou de plantations, ou sont des futaies sur souche pour les plus vieilles d'entre elles.

Le renouvellement de ces futaies est le plus souvent réalisé par coupes progressives, qui ont pour objectif le semis naturel. Cette régénération naturelle consiste à récolter progressivement le peuplement arrivé à maturité, afin de favoriser l'apparition des semis.

Une succession de travaux est réalisée dans le cadre de ce traitement : coupes de régénération, coupes préparatoires, coupe d'ensemencement, travaux du sol, coupes secondaires, coupe définitive, cloisonnements, dégagement des semis, regarnissage.

En France, les coupes de régénération débutent entre 10 (Ouest) et 20 ans (Est) avant la récolte du peuplement semencier. Elles constituent une première sélection des tiges à prélever. L'objectif des coupes préparatoires est de réduire le matériel surabondant, d'éliminer les essences indésirables et les chênes de mauvaise conformation. Les conditions de floraison et de fructification des meilleurs porte-graines sont améliorées par la mise en lumière de leur houppier. Par ailleurs, la diminution progressive du matériel sur pied est beaucoup moins traumatisante pour l'équilibre du couple sol-peuplement.

La coupe d'ensemencement a pour but de favoriser la naissance des semis dans un peuplement mûr et devant être récolté. Elle consiste alors à ne garder que les meilleurs porte-graines. Pour cela, il faut en recruter un nombre suffisant, régulièrement répartis et ne présentant pas de défauts héréditaires, qui ensemenceront toute la parcelle de chênes.

La coupe d'ensemencement enlève donc tout le sous étage afin de relever le couvert et, dans l'étage dominant, les arbres qui ne sont pas de l'essence à régénérer, mais aussi les arbres médiocres. Elle peut être réalisée à une date fixée à l'avance dans le plan de gestion ou le plan d'aménagement, sans tenir compte des fructifications.

Les travaux du sol visent à assurer un meilleur contact des glands avec le sol, à accélérer la décomposition de l'humus et à aérer les horizons de surface. Réalisés à l'aide d'engins à disques (charrue, crabe) ou à dents (cultivateur), ils favorisent l'installation et le développement du système racinaire des jeunes chênes. Ces travaux ne sont pas réalisés systématiquement, mais uniquement quand la régénération est difficile.

Les coupes secondaires ont pour but de donner de la lumière aux semis mais aussi de diminuer la concurrence des parents pour l'alimentation en eau dans les sols ayant tendance à sécher. Le martelage des coupes secondaires est réalisé lorsque les semis sont feuillés, la présence ou l'absence du semis guidant en partie le choix du marteleur. La rotation des coupes secondaires est aperiodique : elle est fonction de l'avancement de la régénération.

Généralement, de deux à quatre coupes secondaires sont effectuées.

La coupe définitive a pour objectif de récolter les derniers semenciers. Elle a lieu lorsque la régénération est acquise, ou ne peut plus s'installer. Suivant les circonstances, il s'écoule 10 à 20 ans entre la coupe d'ensemencement et la coupe définitive.

Le principe du cloisonnement vise à installer d'une part des couloirs de pénétration permettant de concentrer les dégagements et d'en réduire les coûts (cloisonnement cultural : 2 m de largeur tous les 5 à 25 m), et d'autre part des layons de débardage (cloisonnement d'exploitation : 3 à 4 m de largeur tous les 25 à 50 m).

Une fois le stade "fourré" atteint, les interventions du forestier consistent en une succession d'opérations :

- dégagements : ces travaux se font dans les premières années du peuplement (du semis au fourré), lorsque les jeunes arbres subissent la concurrence de la végétation adventice. Des produits phytocides¹ sont parfois utilisés pour détruire les mauvaises herbes, les ronces et fougères pouvant priver les semis de lumière.
- nettoiements - dépressages : ces interventions consistent à maîtriser les essences secondaires et à favoriser les chênes dominants et de bonne conformation. On pratique ces interventions, 3 à 4 fois, dans le stade gaulis (à partir de 4/5 m de hauteur). Le travail est réalisé manuellement ou à la tronçonneuse.
- éclaircies : elles succèdent aux nettoiements – dépressages ; le peuplement atteint alors 12 à 15 m de hauteur. Généralement, deux à trois éclaircies sont effectuées au stade perchis.. Les éclaircies visent à prélever les tiges mal conformées et à espacer les plus belles tiges pour favoriser leur croissance en diamètre et le développement de leur houppier.

les éclaircies se succèdent en futaie à un intervalle moyen d'une dizaine d'années (coupes d'améliorations) jusqu'à la coupe de régénération.

L'annexe 1 présente un exemple type des interventions classiquement effectuées en futaie régulière de chêne.

V Utilisations du bois de chêne

Le bois de chêne subit divers modes de transformation de grumes, billes et billons. Il existe cinq principaux modes de transformation, classés du plus valorisant au moins valorisant :

- 1) tranchage (placage)
- 2) fendage (merrain)
- 3) sciage (menuiserie)
- 4) trituration
- 5) chauffage

Ces modes de transformation conduisent à différents usages du bois.

Les tiges de faible diamètre et les houppiers sont généralement tronçonnés en billons courts destinés à la trituration et au chauffage. Il s'agit d'une production de masse dont la valeur marchande sur pied est très faible.

¹ Produits phytocides : ex = round-up, catena ; pour l'élimination des mauvaises herbes et jeunes tiges ligneuses.

Les tiges de plus grand diamètre sont livrées en grumes, billes et en billons, et sont destinées au tranchage, au fendage et au sciage. Leur valeur dépend beaucoup des dimensions, ainsi que des qualités et des défauts des grumes sur pied.

Généralement, la qualité de bois du chêne sessile est plus appréciée que celle du chêne pédonculé car sa croissance radiale est plus lente : son bois est alors composé essentiellement de bois de printemps (gros vaisseaux), ce qui le rend plus clair, plus tendre et plus facile à travailler.

VI Importance du chêne en France

Le chêne est la principale essence forestière française (environ 4,2 millions d'ha). Le chêne sessile en représente un peu de moins de la moitié mais il est nettement plus représenté en forêt publique. Il a de ce fait une grande importance sur le plan économique et il est recherché pour sa qualité de tranchage et de merrain.

Les chênaies françaises les plus réputées sont généralement situées en forêt domaniale et traitées en futaie régulière.

Cette importance économique du chêne sessile justifie l'intérêt qu'il présente pour notre étude expérimentale.

I Contexte général

Au cours des années 80, les forestiers allemands, puis français ont constaté dans leurs jeux de données une augmentation de la croissance en hauteur et en diamètre des arbres. On a alors commencé à parler de "changements de productivité".

Les causes de ces changements sont peu connues. Les scientifiques évoquent souvent les changements climatiques (réchauffement), les dépôts azotés, ou encore l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère. Ils sont en fait probablement le résultat d'une combinaison de ces facteurs.

La présente étude expérimentale concerne les changements de productivité du chêne sessile. Elle vise à vérifier et quantifier l'accélération de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile au cours du XX^e siècle en France.

Elle fait suite à des études similaires effectuées par l'équipe DSF sur le hêtre dans la moitié nord de la France et l'épicéa dans les Vosges, dont les résultats montrent une augmentation de la vitesse de croissance en hauteur dominante. Pour le hêtre, cette accélération est de l'ordre de 50 % dans le Nord-Est au cours du XX^e siècle (résultats en cours de publication).

Il faut bien noter que cette étude a été menée en futaie régulière et ne concerne que l'étage dominant. La hauteur dominante d'un peuplement équienné est un bon indicateur de la production globale du peuplement, comme l'affirme la "loi de Eichhorn élargie", largement admise dans le monde forestier. Cette dernière se vérifie par exemple dans les tables de production.

La hauteur dominante a aussi l'avantage d'être peu influencée par la sylviculture.

II Sites expérimentaux

Les régions retenues

Cette étude cherche à analyser l'évolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile dans quatre grandes régions, couvrant les principales zones de production du chêne sessile en France, et de mettre éventuellement en évidence des différences régionales. La Bourgogne n'a pas été échantillonnée, car le chêne y est essentiellement traité en TSF.

Les massifs forestiers retenus ne sont que des forêts domaniales car elles garantissent un suivi de gestion relativement homogène et continu dans le temps.

Les données climatiques par région sont les moyennes des données fournies par Météo-France pour chaque massif retenu dans l'étude. Météo-France calcule directement ces valeurs par interpolation à partir des données des stations météorologiques les plus proches.

En plus des valeurs moyennes annuelles, je me suis aussi intéressé aux valeurs pendant la période de végétation (avril à septembre), qui sont celles qui influencent le plus la croissance des arbres.

Lorraine/Alsace : forêts de Champenoux, Flavigny, Bride, Goviller, Darney, Haslach, Haguenau, Mouterhouse, Nonnenhardt

Pluviométrie	annuelle : 850 mm en période de végétation : 413 mm
Température	moyenne annuelle : 9,3 °C moyenne en période de végétation : 14,6 °C
Nombre de jours de gel :	89 jours

Val de Loire : forêts de Blois, Russy, Boulogne, Loches, Chinon

Pluviométrie	annuelle : 684 mm en période de végétation : 312 mm
Température	moyenne annuelle : 10,8 °C moyenne en période de végétation : 15,3 °C
Nombre de jours de gel :	53 jours

Collines du Perche : forêts de Bellême, Bourse, Réno-Valdieu, Moulins-Bonsmoulins, du Perche et de la Trappe, Perseigne

Pluviométrie	annuelle : 807 mm en période de végétation : 338 mm
Température	moyenne annuelle : 10,0 °C moyenne en période de végétation : 14,3 °C
Nombre de jours de gel :	66 jours

Plaine d'Allier : forêts de Tronçais, Dreuille, Bagnolet, Moladier

Pluviométrie	annuelle : 790 mm en période de végétation : 404 mm
Température	moyenne annuelle : 10,5 °C moyenne en période de végétation : 15,3 °C
Nombre de jours de gel :	71 jours

Le Val de Loire se distingue par une pluviométrie et un nombre de jours de gel nettement plus faibles que les 3 autres régions. La Lorraine par contre se différencie par des températures plus continentales.

Les couples de peuplements

Cette idée d'étudier l'évolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile au cours du XX^e siècle fait suite à une première étude de l'Office National des Forêts (ONF) en 1997 qui consistait à modéliser la croissance en hauteur dominante du chêne sessile en France. Elle ne concernait que des peuplements âgés, et avait pour objectif d'établir par région, des courbes de croissance pour la sylviculture du chêne sessile en futaie régulière, en fonction de la fertilité.

Il paraissait intéressant de comparer les vieux peuplements échantillonnés dans cette étude avec des peuplements plus récents se trouvant dans les mêmes conditions stationnelles, pour vérifier si la croissance en hauteur dominante a connu une évolution entre les deux générations. D'où l'idée de former des couples de peuplements jeunes/vieux utilisant au maximum ces données déjà disponibles de l'ONF, afin de réduire la charge du travail de terrain. Cependant, l'appariement des peuplements ONF n'a pas toujours été possible, surtout pour des raisons stationnelles : il n'y avait pas de peuplement jeune répondant aux critères fixés, dans l'environnement proche des vieux peuplements. On a alors constitué des nouveaux couples.

Le choix de former des couples de placettes permet de comparer :

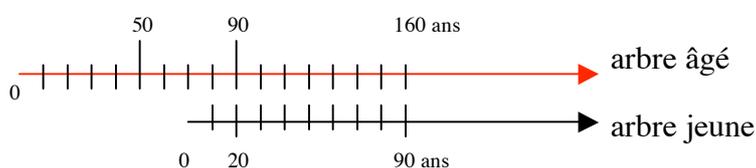
- l'évolution de la croissance en hauteur dominante entre deux générations à un même âge.
- Le temps nécessaire à deux générations différentes pour atteindre une même hauteur.

Cependant, un intervalle d'âge minimum est nécessaire pour pouvoir mettre en évidence des différences. Le tableau suivant indique, par région, la différence d'âge moyenne entre les deux peuplements des couples.

région	générations		delta âge
	1	2	
Perche	149	78	71
Allier	170	98	72
Loire	163	90	73
Lorraine -Alsace	143	71	72
moyenne globale	156	84	72

▲ Tableau 1 : écart d'âge moyen par région entre les deux générations

Les jeunes peuplements ne doivent pas non plus être trop récents pour assurer une période suffisante de comparaison, et ainsi permettre de détecter une évolution de la croissance en hauteur dominante.



L'échantillon de cette étude est constitué de 39 couples, répartis en une dizaine de couples par région. Cette taille de l'échantillon est un compromis qui a été fixé au niveau du LERFOB entre la charge de travail, et la précision requise lors de l'exploitation des données pour une étude de cette ampleur.

Remarque : le régime de la futaie sur souche peut nous causer des problèmes. En effet, les arbres issus de souche ont une croissance en hauteur dans les premières années plus rapide que ceux issus de régénération naturelle. Ainsi lors de la comparaison entre vieux et jeunes peuplements, les résultats risquent d'être biaisés. Il est donc important de prendre en compte cette notion car les peuplements âgés de 150-190 ans peuvent présenter un risque d'être issus de souche, même si des précautions ont été prises lors la prospection.

Afin de choisir au mieux les couples, il nous a fallu étudier à la fois la topographie et les sols car les stations des deux peuplements doivent être semblables (éléments chimiques, pH, réserve utile en eau, etc.). La comparaison des croissances en hauteur dominante ne sera valable que si ces critères sont similaires entre les deux générations.

Les études de station se font par l'ouverture d'une fosse pédologique pour la description du profil et par un relevé botanique qui permet d'avoir une idée du pH d'après le caractère indicateur des diverses plantes.

La description de l'humus ainsi qu'un échantillon de chaque horizon prélevé pour analyse, permettent de confirmer le diagnostic de terrain. Les échantillons de terre sont séchés pendant deux à trois mois en laboratoire. Ils sont ensuite tamisés à deux millimètres pour ne récupérer que la terre fine ; les éléments grossiers sont alors pesés pour avoir une estimation de la pierrosité du sol, qui a un effet direct sur la réserve utile en eau de chaque horizon.

Enfin, de la masse de terre fine restante (environ 400 g), la moitié est prélevée pour analyser très précisément les diverses caractéristiques physiques et chimiques du sol. La granulométrie, le taux de saturation (S/T), le pH, le rapport C/N, le phosphore,... sont ainsi mesurés (cf. annexe 2).

Les deux candidats d'un couple sont retenus si leur station et leur situation topographique sont comparables. Nous avons prélevé en moyenne quatre échantillons de sol par placette : Humus + différents horizons.

Il faut signaler que le coût de ce type d'analyse est relativement élevé : 40 par échantillon. Lorsqu'au sein d'un couple, les placettes étaient très proches, une seule analyse était effectuée. Le nombre total d'échantillons analysés s'élève à 140.

Choix des forêts

L'étude porte sur 24 massifs forestiers dont les surfaces varient entre 330 ha et 13 300 ha. Il s'agit de forêts domaniales, donc soumises au régime forestier. Par conséquent, notre unique interlocuteur tout au long de la phase de terrain a été l'ONF.

Les massifs échantillonnés par l'étude ONF déjà citée, ont été prospectés en premier. Ils n'ont pas pu être tous retenus, et il a fallu choisir d'autres forêts répondant aux critères suivants : chênaie sessile, en futaie régulière avec des peuplements jeunes et vieux sur même station.

Le choix définitif des sites retenus est résumé dans le tableau 2 ci-dessous. Afin d'avoir une idée de l'importance des différents massifs forestiers prospectés, ce tableau indique leurs surfaces. Ils sont représentatifs de l'aire de production du chêne sessile en France.

Régions	Forêts	Surfaces (ha)
Lorraine- Alsace	Haguenau	13300
	Darney	8000
	Mouterhouse	4500
	Haslach	3000
	Bride	2400
	Goviller	580
	Flavigny	510
	Champenoux	470
	Nonnenhardt	330
Plaine d'Allier	Tronçais	10600
	Dreuille	1260
	Bagnolet	1680
	Moladier	820
Val de Loire	Chinon	5100
	Boulogne	4100
	Loches	3600
	Russy	3240
	Blois	2740
Collines du Perche	Perseigne	5100
	Perche et de la Trappe	3200
	Bellême	2400
	Réno-Valdieu	1600
	Moulins-Bonsmoulins	1500
	Bourse	1200

▲ Tableau 2 : *surfaces totales des Forêts
Domaniales prospectées*

L'étape suivante a été la campagne de mesures et d'abattages. L'autorisation d'abattage des arbres est donnée par l'ONF, après martelage des arbres retenus avec les chefs d'Unité Technique.

III Protocole expérimental : terrain et laboratoire

Cette étude réutilisant en partie les données de l'ONF, nous avons appliqué le même protocole de terrain pour l'implantation des placettes et le choix des arbres.

Echantillonnage d'arbres dominants

Le protocole mis en place par l'ONF, et qui s'est maintenant généralisé (INRA, CEMAGREF) pour des études de ce type, prévoit de mettre en place des placettes circulaires de six ares (rayon de 13,80 m).

On sait que l'on a un échantillonnage sans biais² des arbres dominants (= 100 plus gros arbres à l'ha) dans un peuplement régulier, en prenant les n-1 plus gros arbres d'une placette de n ares. On a donc installé dans chaque peuplement une placette de 600 m², dans laquelle on a repéré les cinq plus gros chênes sessiles.

Afin de réduire la masse de travail sans trop perdre sur la précision, l'échantillonnage analysé a été réduit à trois arbres bien répartis. Il était constitué du 1^{er}, 3^e et 5^e des cinq arbres choisis, et classés par ordre de grosseur décroissante (cf. annexe 3). La moyenne de ces trois hauteurs pourra ainsi être assimilée à la hauteur dominante de la placette.

L'un ou l'autre de ces trois arbres peut être remplacé exceptionnellement par le deuxième ou le quatrième arbre lorsque la situation le justifie : doute sur l'origine de l'arbre (préexistant, empattement boursouflé indiquant qu'il s'agit probablement d'un rejet de souche), arbre à conserver pour sa qualité exceptionnelle (c'était le cas à Tronçais ou à Bellême par exemple), ou arbre à éviter pour des raisons diverses (bris de cime, bordure de chemin ou de fossé,...).

Abattage – découpe

Une fois que les trois arbres échantillons sont retenus et martelés, on marque au pied, un repère 0,30 m et le Nord avant de les abattre. Ce niveau 0,30 m servira de référence pour l'âge de l'arbre lors de l'analyse de tige. Le Nord servira pour les mesures de largeurs de cerne, que je n'utiliserai pas dans mon rapport.

L'analyse de tige est une technique utilisée pour reconstituer la croissance de l'arbre. Elle consiste à prélever, à différentes hauteurs, des rondelles pour en déterminer l'âge et quelquefois mesurer les largeurs de cerne. On peut ainsi reconstituer tout l'historique de l'arbre : croissance en hauteur et croissance en diamètre à différents niveaux.

Le plus souvent, nous avons procédé aux abattages nous-mêmes, mais il nous est arrivé de faire appel à des bûcherons professionnels lorsque l'arbre était de grande qualité

² Echantillonnage sans biais = échantillonnage sans erreur, car la notion de dominance a une valeur locale. Un arbre peut être dominant au niveau de la placette sans appartenir aux 100 plus gros à l'hectare. Ainsi, l'estimateur "n-1 arbre" limite les risques de prendre un arbre co-dominant sur une placette de n ares.

(en F.D. de Tronçais, certains arbres ont une bille de pied d'une valeur de 4000) ou si l'abattage se montrait compliqué.

Remarque : dans un des vieux peuplements assez dense et avec des billes de grande valeur, il a fallu qu'un éhouppeur intervienne sur un arbre pour éviter que ce dernier ne blesse ou casse d'autres arbres lors de sa chute.

Bien sûr toutes ces interventions ont un coût :

- un bûcheron professionnel, à Tronçais, demande 300 par jour pour l'abattage et la découpe de rondelles.
- un éhouppeur facture 45 par arbre grimpé.

Le montant de ces prestations s'est élevé à environ 2500 pour l'ensemble de l'étude.

Il arrive parfois lors de l'abattage des arbres âgés que le houppier se casse. Il est alors nécessaire de reconstituer l'axe principal jusqu'à la cime avant de tracer les découpes.

Sur chacun des arbres abattus, on repère et on prélève ensuite les rondelles destinées à l'analyse de tige. Le repérage de la hauteur de découpe de chaque rondelle se fait à l'aide d'un décimètre que l'on fixe au pied de l'arbre et que l'on déroule jusqu'au bourgeon terminal. Le décimètre est tendu sans tenir compte des sinuosités de l'axe principal afin d'avoir une hauteur réelle et non pas une longueur.

On note ensuite la hauteur totale de l'arbre en indiquant la présence ou non du bourgeon terminal. Puis on marque par un coup de griffe les rondelles à prélever, en notant leur hauteur. Le nombre de rondelles échantillons par arbre varie de 10 à 15 selon sa hauteur totale.

On s'est efforcé de respecter une proportionnalité approximative des écarts entre les rondelles : de deux à trois mètres selon les arbres. Un billon de quatre mètres a cependant été préservé pour la vente³ dans les billes de pied de très bonne qualité.

L'étape suivante est la découpe des rondelles à partir de 0,30 m (hauteur repérée à la peinture sur l'arbre avant abattage), jusqu'à la dernière rondelle située deux mètres environ, avant le bourgeon terminal

Pour éviter tout mélange de rondelles entre les arbres d'une même placette, une personne découpe les rondelles et une autre la suit pour la numéroter : nom de la forêt, numéro de parcelle, numéro d'arbre et hauteur de prélèvement.

Exemple ci-contre :

T = Tronçais (nom de la forêt)
131 = n° de parcelle
105 = n° d'arbre
7,30 = hauteur de prélèvement

³ ces billons sont vendus par l'ONF.

Ensuite, toujours par cette même personne, les plus petites rondelles de chaque arbre sont mises en sac plastique au fur et à mesure pour ne pas en égarer et éviter leur dessèchement.

Deux rondelles sont prélevées systématiquement à hauteur fixe sur chaque arbre : celle à 0,30 m qui est la hauteur de référence pour l'âge de l'arbre et celle à 4,30 m pour la mesure des largeurs de cerne. Cette hauteur de 4m30 a été fixée par le protocole de l'ONF pour préserver les billes de pied de qualité.

Reconstitution de la hauteur de chaque arbre

Une fois les rondelles découpées, elles sont stockées à l'INRA de Champenoux, à l'abri de la pluie et sous bâche pour éviter qu'elles ne se dessèchent trop vite et qu'elles ne se fendent. Elles sont mesurées dès que possible pour éviter la prolifération de moisissures qui peuvent nuire au comptage de cernes et pour éviter l'éclatement après dessèchement.

Le fait d'exploiter au plus vite les rondelles après découpe permet aussi une meilleure et plus facile préparation des rayons de comptage des cernes.

Ce travail de comptage en laboratoire se fait à l'aide d'une loupe binoculaire. Il se réalise en plusieurs phases :

- préparation des rondelles : les rondelles sont dans un premier temps rabotées sur une largeur de 10 cm sur leur diamètre moyen afin d'aplanir une première fois la surface à travailler. Puis, en laboratoire, deux rayons sont soigneusement préparés au scalpel (largeur d'environ 1,5 cm) pour éviter les risques de confusion entre un cerne et un cran de rabot ou tout autre défaut. Cette préparation au scalpel permet de faire une coupe franche et soignée des fibres du bois et d'obtenir un excellent état de surface. Enfin, de la craie blanche est appliquée sur les rayons préparés pour faire ressortir les limites de cerne.

- comptage de cernes : dans le cas du chêne, il peut y avoir des cernes de quelques dixièmes de millimètre (près de la moelle notamment). Ainsi, le comptage s'effectue toujours sous une loupe binoculaire afin d'avoir la certitude de ne pas en oublier. L'opérateur fait une marque au crayon, tous les dix cernes en guise de contrôle. Le comptage se réalise du cerne le plus en périphérie de la rondelle vers la moelle pour repérer plus facilement les années caractéristiques (sécheresse 1976 : 28^e cerne en 2003), ce qui est aussi un moyen de contrôle puisque les cernes ont le même numéro sur toutes les rondelles coupées une année donnée.

- mesure des largeurs de cernes : cette phase ne concerne que les rondelles 4,30 m ; elle consiste à mesurer, à l'aide d'un banc spécialisé, la largeur de chaque cerne sur quatre rayons bien définis, Nord, Sud, Est et Ouest, afin de comparer la vitesse de croissance radiale des deux peuplements des différents couples. Mais ces mesures, longues et complexes à analyser (interférence de la sylviculture), ne seront pas utilisées dans mon rapport, qui se limite à l'étude de l'évolution de la croissance en hauteur dominante.

IV Calcul des hauteurs dominantes

Une fois les âges des rondelles comptés, les données sont saisies sur fichiers informatiques (cf. annexe 4) qui peuvent déjà servir à faire les courbes individuelles, par placette, pour avoir une première idée de leur allure et des différences entre les deux générations.

Mais l'objectif est d'établir graphiquement une courbe de croissance de la hauteur dominante par placette. Obtenir cette courbe est une opération complexe et très importante qui se fait en plusieurs étapes.

Datation des rondelles

La datation des rondelles (hauteurs mesurées) s'effectue par la soustraction de l'année du dernier cerne (2003) et du nombre de cernes comptés sur la rondelle concernée.

On établit la date de référence pour l'âge de l'arbre en faisant de même avec la rondelle référence 0,30 m.

Ex : $2003 - 170$ (nombre de cernes sur rondelle 0,30m) = 1833 (date origine de référence de l'arbre).

Cette datation de rondelle permettra par la suite d'établir des graphiques de la croissance en hauteur en fonction de la date.

On considère qu'en moyenne les rondelles ont été prélevées dans le milieu de la pousse de végétation. En revanche, la hauteur finale a été prise au sommet de la dernière pousse annuelle. C'est pourquoi une correction de 0,5 année a été apportée à la date de la dernière valeur de hauteur (Hf).

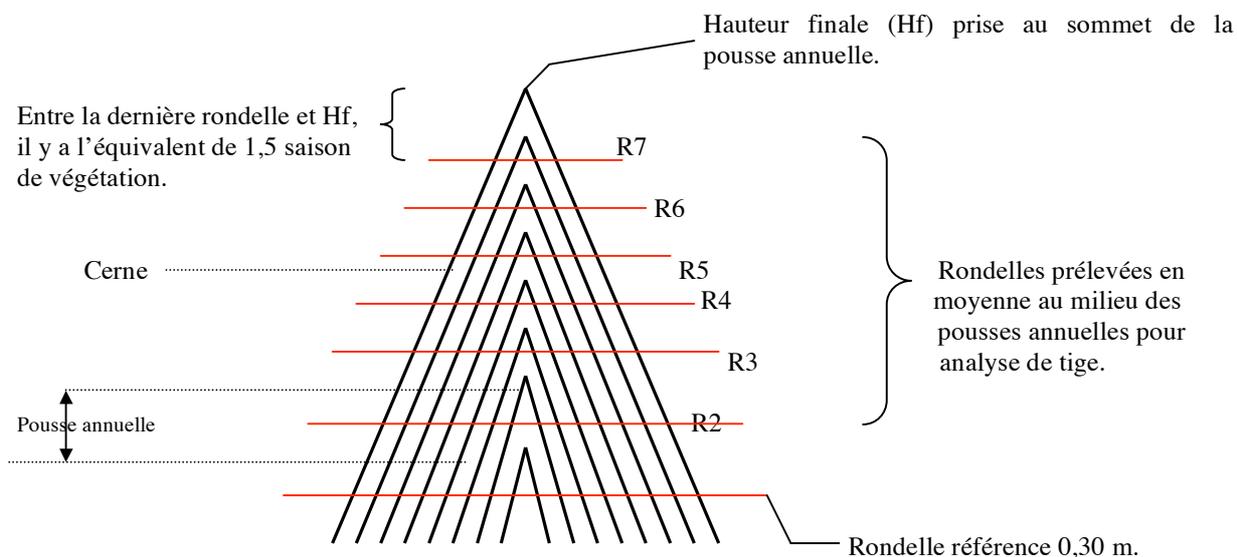


Figure 6 : schéma de l'accroissement d'un arbre

Choix des dates pour les courbes moyennes par placette

Pour chaque placette de trois arbres, les rondelles datées sont inscrites dans un tableau récapitulatif (cf. tableau 3 ci-dessous).

▼ Tableau 3 : *récapitulatif des hauteurs mesurées* (placette 2)

date	arbre 1	arbre 2	arbre 3
1908	0,30		
1911			0,30
1913		0,30	
1920		2,30	
1922			2,30
1926		4,30	
1928	4,30		
1929			4,30
1931		6,30	
1936	6,30		
1937		8,30	6,30
1939			8,30
1943	8,30		
1944		10,30	
1946			10,30
1950			12,30
1951	10,30	12,30	
1956			14,30
1957	12,30		
1959		14,20	
1963	14,30		
1965		16,00	16,30
1973	16,30	18,00	
1974			18,40
1980	18,30		
1982			20,40
1983		20,00	
1987	20,30		
1993			22,40
1994		21,90	
1995	22,20		
2003,5	24,10	23,80	24,40

▼ Tableau 4 : *récapitulatif avec hauteurs interpolées* (placette 2)

date	arbre 1	arbre 2	arbre 3
1908	0,30		
1911	0,90	0,00	0,30
1913		0,30	
1920	2,70	2,30	1,94
1922			2,30
1926		4,30	
1928	4,30		
1929	4,55	5,50	4,30
1931		6,30	
1936	6,30		
1937	6,59	8,30	6,30
1939			8,30
1943	8,30		
1944	8,55	10,30	9,73
1946			10,30
1950			12,30
1951	10,30	12,30	12,63
1956			14,30
1957	12,30		
1959	12,97	14,20	14,97
1963	14,30		
1965	14,70	16,00	16,30
1973	16,30	18,00	18,17
1974			18,40
1980	18,30		
1982			20,40
1983	19,16	20,00	20,58
1987	20,30		
1993			22,40
1994	21,96	21,90	22,60
1995	22,20		
2003,5	24,10	23,80	24,40

- dates retenues systématiquement
- dates complémentaires
- dates retenues définitivement
- xxxx hauteurs interpolées

Pour l'âge de référence à 0,30 m, on retient l'arbre médian, c'est-à-dire ni le plus âgé, ni le plus jeune. On retient ensuite systématiquement toutes les dates pour lesquelles on dispose d'au moins deux hauteurs mesurées parmi les trois arbres.

Puis on complète la série de dates par des années ayant au moins une mesure de hauteur, de façon à obtenir 10 à 15 points au total, espacés, selon l'âge moyen des placettes, de cinq à dix ans. Cet écart de cinq à dix ans entre les points permet de n'exclure aucune période de la croissance des arbres : aussi bien chute de croissance que bonne croissance.

A ce stade, on a donc identifié toutes les dates qui vont servir pour établir la courbe moyenne de la placette.

Interpolation des valeurs

On vient de voir que pour chaque date retenue pour la courbe moyenne, on a une, deux et rarement trois hauteurs mesurées, des trois arbres de la placette, correspondant à une même date (ex. tableau 3 : des rondelles ont été prélevées sur les arbres 2 et 3 au niveau de la pousse annuelle 1937, respectivement à 8,30 m et 6,30 m de hauteur).

Pour le ou les arbres qui n'a ou n'ont pas eu de prélèvement dans cette pousse, il faudra faire une interpolation linéaire entre les deux rondelles qui encadrent cette date (ex. tableau 3 : interpolation entre la rondelle à 6,30 m prélevée dans la pousse de 1936 et celle à 8,30 m prélevée dans la pousse 1943).

Cette interpolation est effectuée par un règle de trois : $6,30 + 1 \times \frac{8,30 - 6,30}{1943 - 1936} = 6,59 \text{ m}$

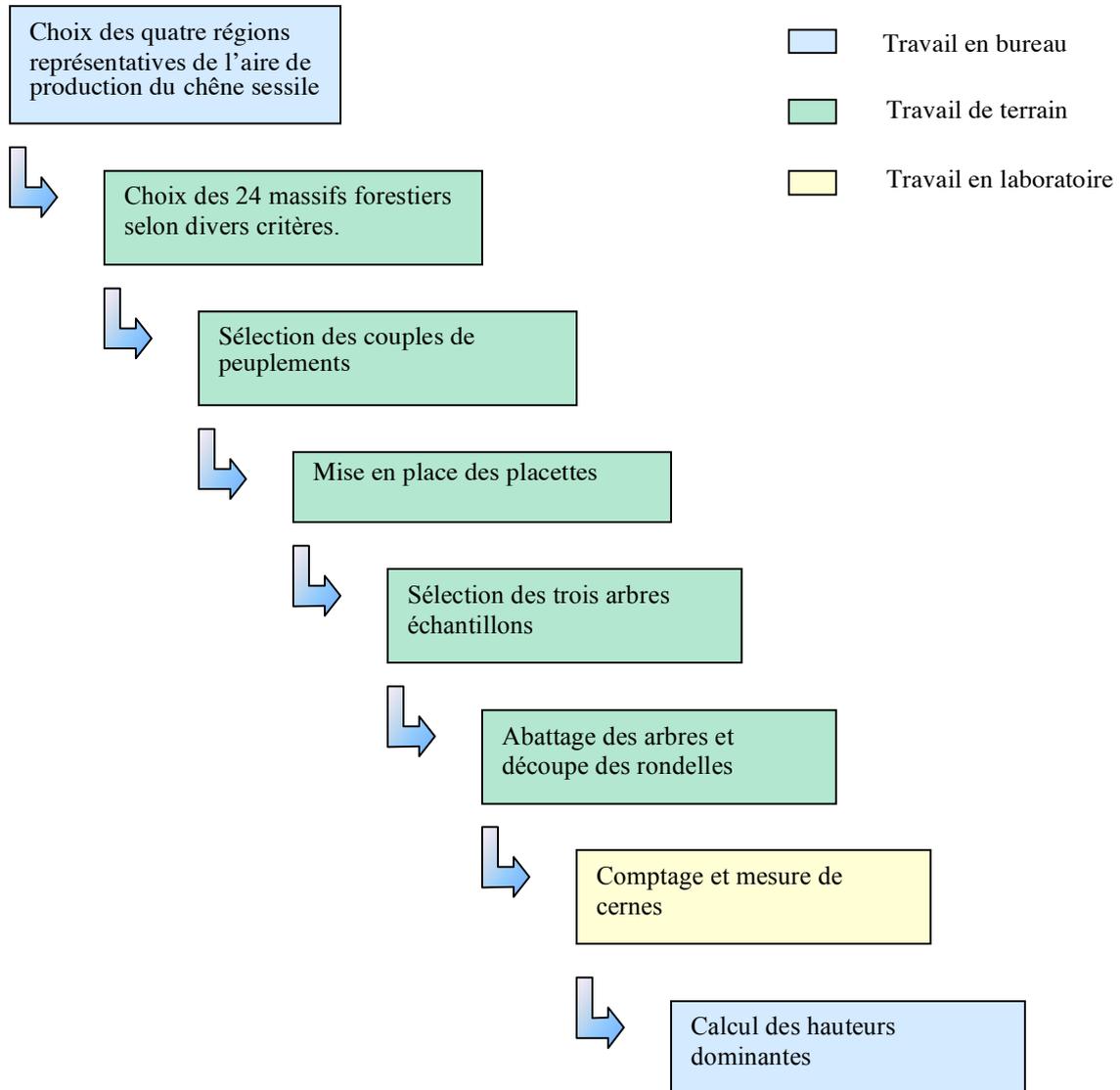
On obtient ainsi un tableau complété (cf. tableau 4 ci-dessus) où, pour chaque date retenue pour la courbe moyenne, on a trois valeurs de hauteur, qui ont été, soit réellement mesurées sur le terrain, soit interpolées à partir de deux hauteurs mesurées.

Toutes les données de terrain sont ainsi utilisées, soit directement comme valeur mesurée, soit indirectement pour l'interpolation d'une valeur.

A ce stade de l'étude, les hauteurs dominantes de chaque placette sont calculées et on peut établir par couple, les courbes permettant de bien visualiser la différence entre jeunes et vieux peuplements, et calculer des différences de hauteur dominantes et de vitesse de croissance par couple et par région. Ceci fera l'objet de la troisième partie du rapport.

Pour conclure cette deuxième partie, j'ai établi un schéma récapitulatif des différentes étapes de la récupération des données

Schéma de synthèse du travail effectué pour la collecte des données



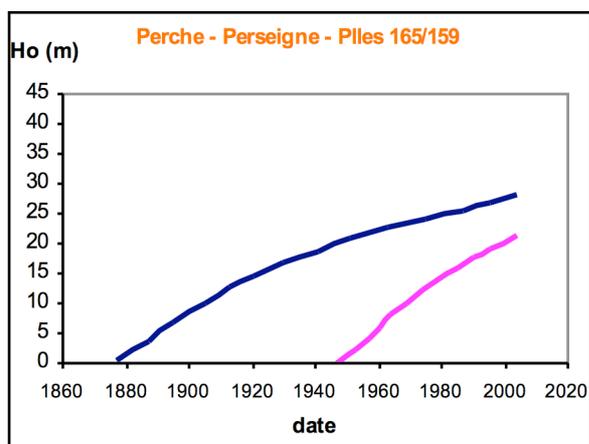
Dans le cadre de cette étude, les données obtenues concernent la croissance en hauteur dominante et la croissance radiale à 4,30 m. Je me limiterai dans mon rapport à faire une première analyse des données de croissance en hauteur dominante.

Une analyse plus complète de l'ensemble des données (hauteur et accroissement radial) sera réalisée dans le cadre d'une thèse, avec des outils statistiques complexes et dépassant largement le cadre d'un rapport BTS.

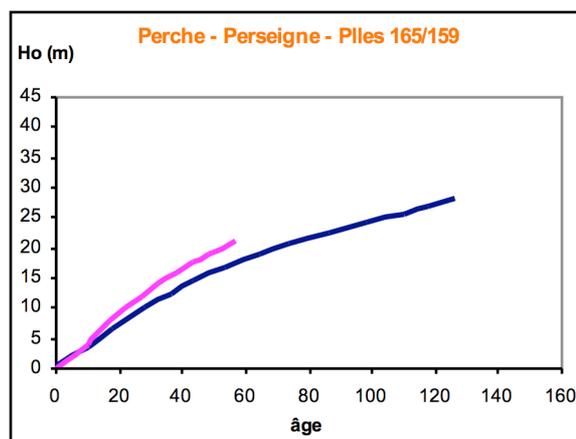
I Etablissement des courbes

Deux grands types de graphiques sont établis à partir des moyennes de hauteurs dominantes calculées à partir des fichiers de données (cf. fin de partie 2):

1- Les graphiques représentant l'évolution de la croissance en hauteur dominante, présentée soit en fonction de la date, soit en fonction de l'âge.



▲ Graphique 1 : évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de la date.



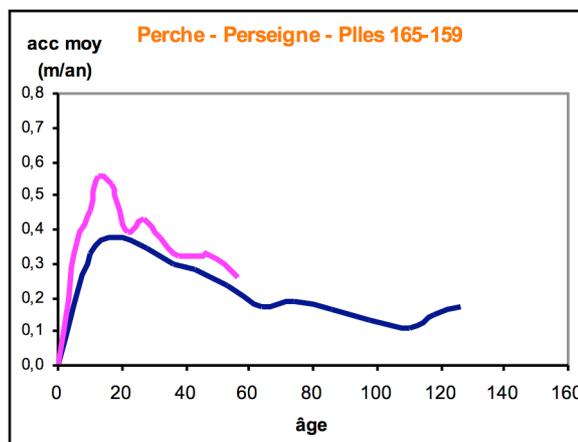
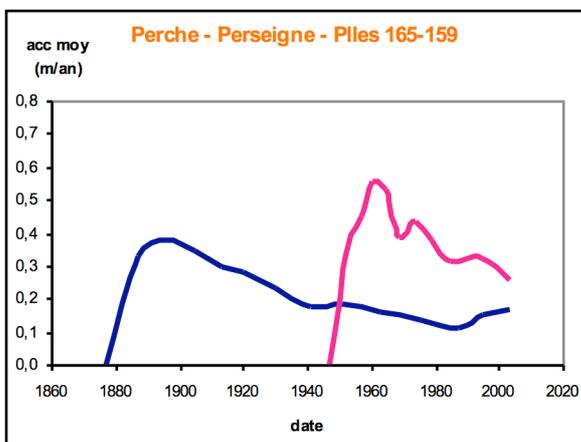
▲ Graphique 2 : évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge.

En observant les graphiques présentant le facteur "date", on peut comparer les deux peuplements sur les mêmes périodes historiques (accidents climatiques,...).

Quant aux graphiques intégrant le facteur "âge", ils permettent de mieux repérer et comparer, pour chaque génération la phase d'installation, la phase de croissance juvénile forte et la phase de croissance en hauteur plus ralentie (essentiellement peuplements âgés). Cependant, cette dernière ne marque pas le palier auquel on pourrait s'attendre : la croissance en hauteur se poursuit sans trop fléchir, même à un âge avancé (160-180 ans).

2- Les graphiques représentant l'évolution de l'accroissement en hauteur annuel moyen, soit en fonction de la date, soit en fonction de l'âge.

Il a été calculé au préalable selon la formule suivante : $\frac{\Delta H}{\Delta t}$ entre deux mesures, exprimé en m/an. Il s'agit en fait de longueurs moyennes de pousses annuelles.



▲ Graphique 3 : évolution de l'accroissement en hauteur moyen annuel en fonction de la date.

▲ Graphique 4 : évolution de l'accroissement en hauteur moyen annuel en fonction de l'âge.

L'intérêt d'établir de tels graphiques est de ne pas intégrer l'histoire de l'arbre en accumulant des événements particuliers (accident climatique, bris de cime, ...). Ces événements ne se répercutent que ponctuellement sur la courbe et non sur son allure générale comme c'est le cas avec le facteur "hauteur".

On retrouve les trois phases de développement précédemment décrites : dans cet exemple, l'accroissement en hauteur augmente progressivement durant une quinzaine d'années (phase d'installation), il reste fort pendant une trentaine d'années (deuxième phase), puis diminue lentement avec l'âge (troisième phase).

Ces deux types de graphiques permettent de visualiser rapidement les différences de croissance en hauteur dominante entre les deux générations.

L'ensemble des représentations graphiques est présenté en annexes 5 à 8.

Pour répondre à la problématique sur l'évolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile, j'ai choisi de ne travailler que sur les données de hauteur (graphiques âge/hauteur, calcul de différence de hauteur à un même âge, et de différence d'âge pour atteindre une hauteur donnée). L'intérêt des données d'accroissement en hauteur moyen annuel obtenues à partir de ces données de hauteurs, est principalement visuel : on repère mieux les périodes de bonne et mauvaise croissance, comme par exemple l'âge où l'accroissement est maximal.

Les résultats sont présentés par région, afin de voir si les différences de croissance en hauteur jeunes/vieux peuplements varient selon leur situation géographique. Des résultats récents (non publiés) sur le hêtre ont montré de fortes variations régionales.

II Résultats et interprétation

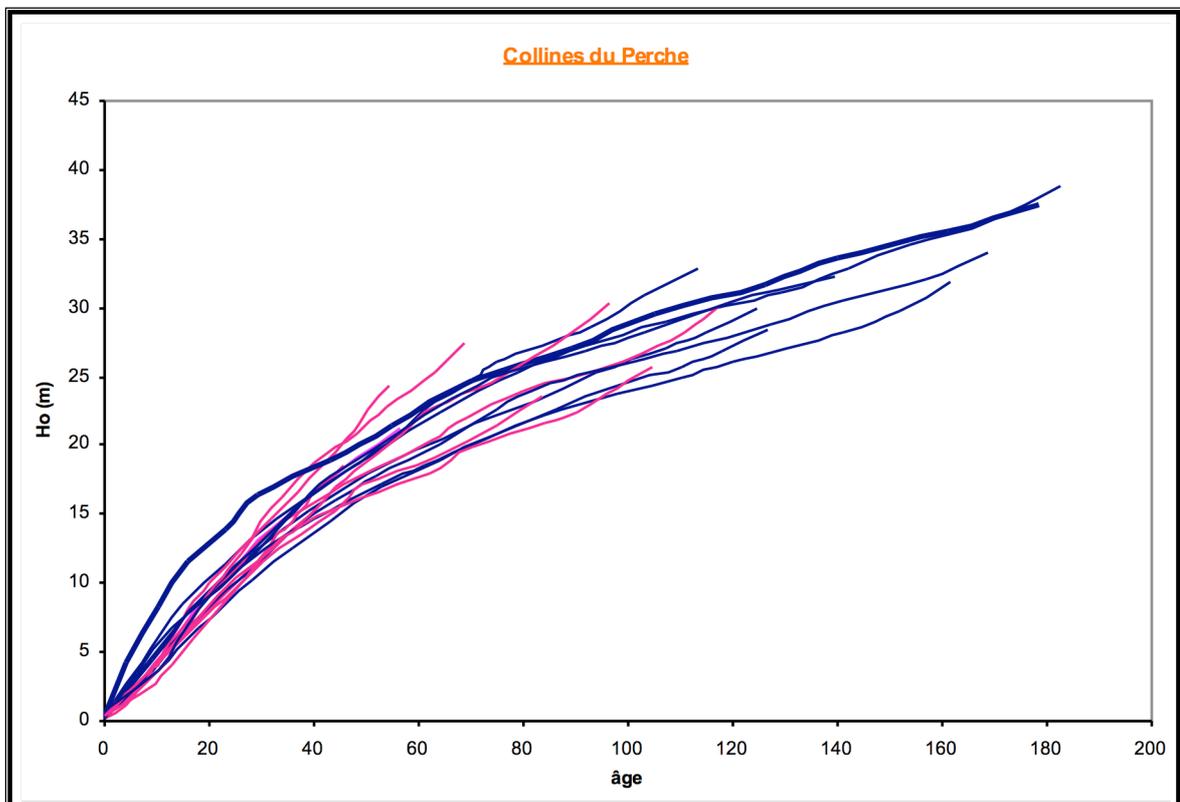
Afin de ne pas fausser les résultats, j'ai décidé d'écarter trois couples en plus du couple abandonné (C20) avant les mesures de terrain.

Pour deux d'entre eux, provenant du Perche (C1 et C8), les peuplements âgés ont subi un accident de croissance (probablement bris de cime), rendant la comparaison difficile avec les jeunes.

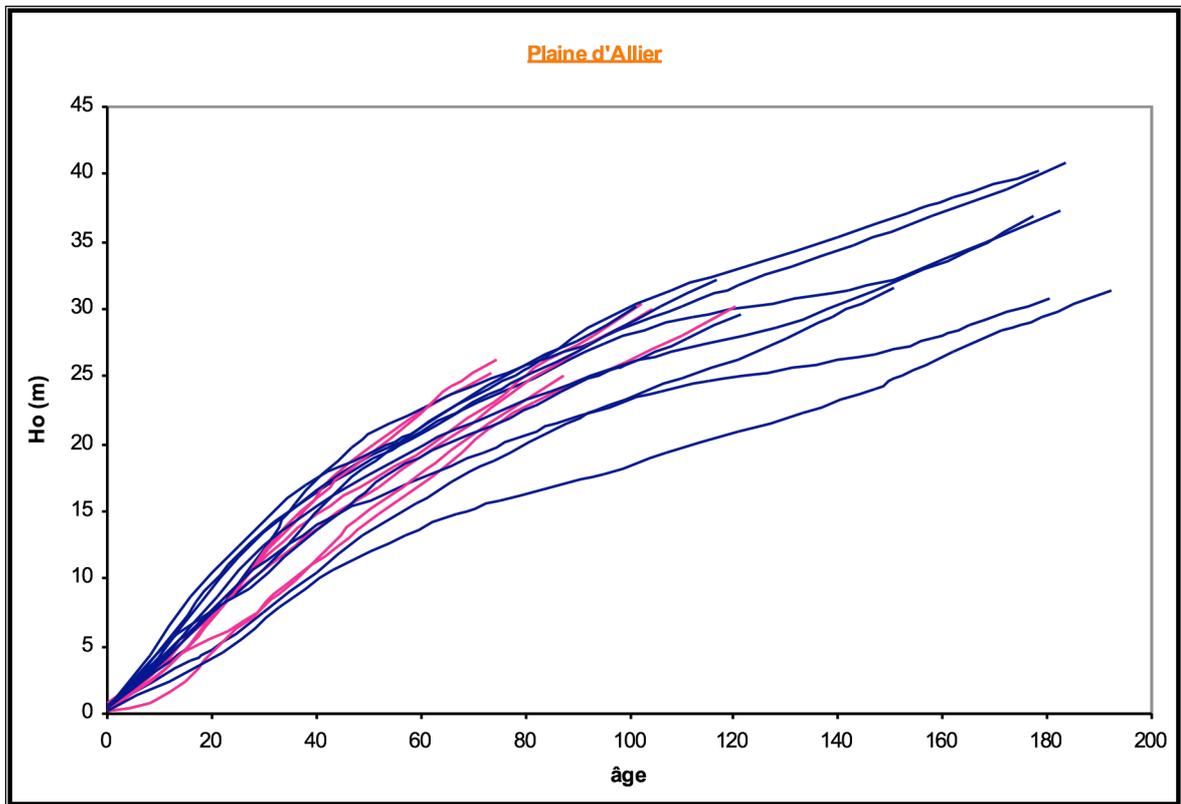
Le troisième couple (C16) écarté pour des problèmes de différences stationnelles entre les générations, concerne la forêt de Tronçais dans l'Allier.

Les graphiques et tableaux suivants sont ainsi réalisés avec les données de 36 couples de peuplements.

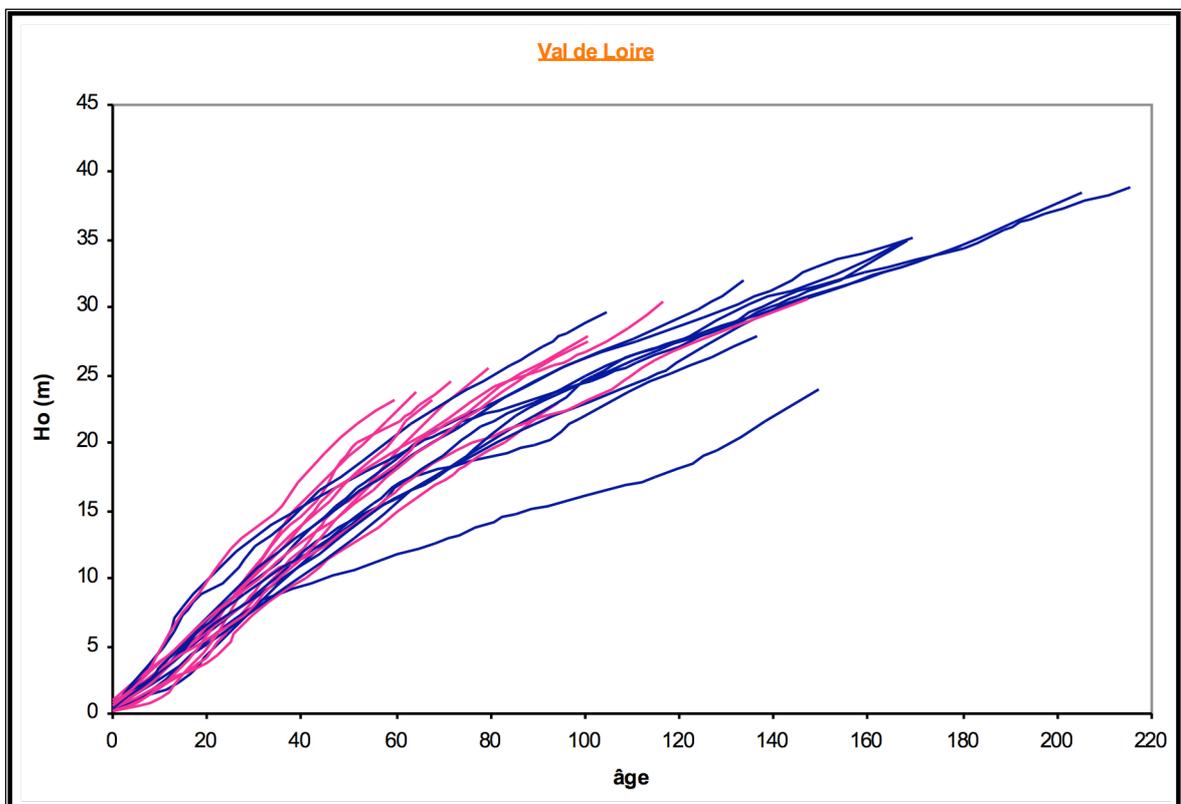
Interprétation graphique



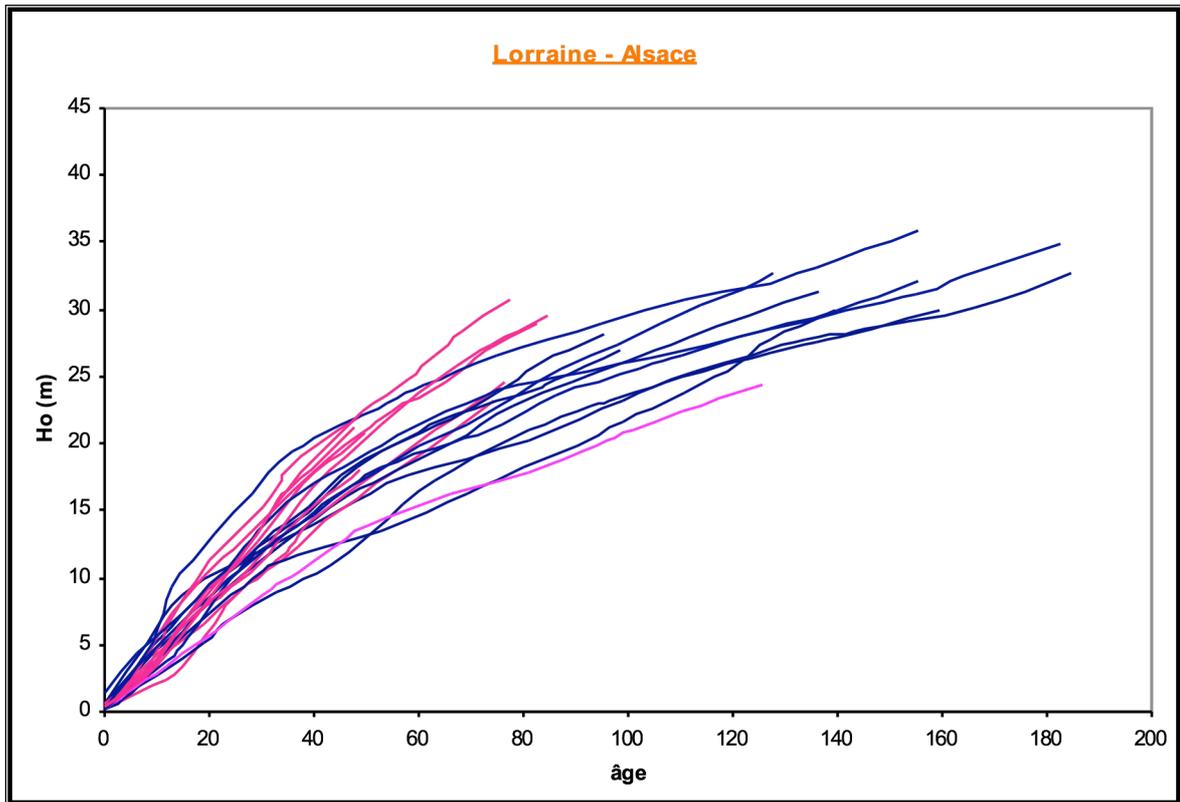
▲ Graphique 5 : évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements du Perche



▲ Graphique 6 : évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements de l'Allier



▲ Graphique 7 : évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements de la Loire



▲ Graphique 8 : évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements de Lorraine – Alsace.

On peut observer pour les quatre régions, que les courbes de croissance en hauteur dominante des jeunes peuplements sont plus tendues que celles des vieux peuplements. Vers 40 ans, alors que la croissance en hauteur des vieux peuplements s'atténue (inflexion des courbes), celle des jeunes peuplements reste relativement soutenue.

Sur le graphique cela se traduit par des croisements de courbes entre les deux générations de peuplements : le faisceau des courbes roses (jeunes peuplements) a nettement tendance à passer au dessus de celui des courbes bleues (vieux peuplements) après 40 ans.

Si on n'observe que la période de croissance juvénile des peuplements, c'est-à-dire les 20-30 premières années, on remarque que ce sont les courbes de croissance en hauteur dominante des peuplements âgés qui se trouvent au dessus de celles des jeunes peuplements dans trois régions : cela est nettement visible pour le Perche et l'Allier, et dans une moindre mesure pour l'Alsace-Lorraine.

L'hypothèse que certains peuplements âgés soient issus de souche pourrait expliquer cette différence de croissance initiale. Le risque d'avoir des peuplements issus de souche nous était connu et on l'a limité en écartant les peuplements qui paraissaient douteux lors de la prospection (présence de jumelles, d'arbres à fort empatement, indication des forestiers,...). Mais pour une placette au moins (Graphique 5, courbe bleue en gras), on a la certitude qu'il s'agit d'une futaie sur souche : les accroissements des premières années sont trop élevés pour des semis (cf. annexe 7 et 8, "Perche RV 6-7").

On peut remarquer aussi une autre tendance assez nette : plus les peuplements sont récents, plus leur courbe est redressée, et donc leur croissance en hauteur dominante plus rapide. Le graphique du Val de Loire le montre plus clairement que les autres.

Il est enfin intéressant de noter que pour l'ensemble des régions, les courbes de croissance en hauteur dominante des vieux peuplements ne faiblissent toujours pas vers 150 -

180 ans. La plupart ont même tendance à remonter légèrement au cours des dernières décennies, ce qui montre que même des vieux peuplements connaissent une accélération de leur croissance en hauteur dominante depuis quelques décennies.

Toutes ces interprétations graphiques vont dans le même sens : les changements de productivité du chêne sessile sont bien une réalité.

Je vais maintenant essayer de quantifier ces changements constatés.

Analyse des données de hauteur

Différences de hauteur à un même âge

Pour chaque couple, j'ai comparé la hauteur des deux générations à un même âge.

J'ai ainsi calculé la différence de hauteur entre jeunes et vieux peuplements (delta H) à cet âge de comparaison, et je l'ai exprimé en pourcentage de la hauteur dominante des vieux peuplements. La valeur obtenue donne le pourcentage d'augmentation de la croissance en hauteur dominante des jeunes peuplements par rapport aux vieux peuplements, à l'âge de comparaison.

Dans un premier temps, j'ai choisi de les comparer à l'âge des jeunes peuplements au moment de l'abattage.

Les résultats sont rassemblés en annexe 9 et synthétisés par région dans le tableau suivant :

Région	Age	Hf jn	H vx	delta H	%
Perche	78	25,13	23,01	2,13	9,2
Allier	98	28,37	25,20	3,17	12,6
Loire	90	26,00	22,01	3,99	18,1
Lorraine - Alsace	71	24,34	21,10	3,25	15,4
moyenne globale	84	25,96	22,83	3,14	13,8

▲ Tableau 5 : écart moyen, par région, des hauteurs dominantes entre les deux générations à l'âge moyen des jeunes peuplements au moment de l'abattage

La première remarque qui s'impose, et qui confirme bien les observations graphiques, est que les changements de productivité du chêne sessile sont bien réels dans les quatre régions.

Le tableau en annexe 9 montre que les valeurs sont positives pour près de 90% des couples. Seuls 4 couples sur 36 ont une différence de hauteur négative, liée peut-être pour certains d'entre eux à une origine sur souche du vieux peuplement (croissance initiale rapide). Il est possible aussi que les jeunes peuplements aient subi des accidents ralentissant leur croissance en hauteur.

Ces valeurs de pourcentage ne sont pas à prendre à la décimale près, car les âges moyens de comparaison varient selon les régions entre 70 et 100 ans. Mais on peut affirmer que en moyenne, les peuplements actuels d'un âge moyen de 84 ans, ont une hauteur dominante d'environ 14% supérieure (= 3,1 m) à celle qu'avaient les vieux peuplements au même âge.

Par ailleurs, il y a d'importantes différences entre régions : elles vont du simple au double, de 9% en moyenne d'augmentation de la hauteur dans le Perche à 18% dans les Pays de Loire. Les changements de productivité ne sont donc pas pour le chêne sessile un phénomène homogène à l'échelle de la France.

Il m'a paru intéressant, dans un second temps, de calculer les écarts de hauteurs entre les deux générations à un même âge pour l'ensemble des couples. J'ai choisi de retenir l'âge constant de 48 ans. Seuls 2 couples sont plus jeunes et l'analyse porte donc ici sur 34 couples.

Région	Ho moyennes		delta H	%
	vieux	jeunes		
Perche	18,00	18,63	0,63	3,5
Allier	16,48	16,64	0,16	1,0
Loire	13,69	15,97	2,28	16,7
Lorraine-Alsace	16,87	18,77	1,89	11,2
moyenne globale	16,26	17,50	1,24	8,1

▲ Tableau 6 : écarts moyens, par région, de hauteurs dominantes entre jeunes et vieux peuplements à âge constant de 48 ans.

En abaissant l'âge de comparaison, l'augmentation de la hauteur dominante des jeunes peuplements devient proportionnellement moins importante : elle n'est plus que de l'ordre de 8% en moyenne pour l'ensemble des régions à 48 ans ; le détail de ces résultats, par couple, est disponible en annexe 10.

Les changements de productivité sont donc moins importants si on recule dans le temps. En effet, fixer l'âge de comparaison à 48 ans revient à comparer les peuplements jeunes à une date d'autant plus reculée dans le temps qu'ils sont plus âgés en 2003/04.

Or les changements globaux des facteurs de l'environnement ont surtout eu lieu dans les dernières décennies du XXe siècle. Leur effet s'atténue donc au fur et à mesure que l'on remonte dans le temps. Le résultat du tableau 6 semble donc bien confirmer que les changements de productivité sont liés aux changements globaux.

Il faut noter aussi que les différences régionales se sont accentuées, tout en conservant à peu de choses près la même hiérarchie : moins d'évolution dans le Perche et l'Allier (risque de peuplements issus de souche ?), et plus en Lorraine/Alsace et en Val de Loire.

Évolution de la vitesse de croissance

Il s'agit ici de comparer l'âge des deux générations de peuplements à une hauteur de comparaison qui est la hauteur finale des jeunes peuplements au moment de l'abattage.

Cela revient à déterminer le temps qui leur est nécessaire pour atteindre cette hauteur. On aborde ici la notion de vitesse de croissance car on intègre le facteur "temps".

J'ai rassemblé dans le tableau ci-dessous, les écarts moyens d'âges (delta âge) par région entre les deux générations. Le détail de ces résultats, par couple, est disponible en annexe 11.

On obtient le pourcentage d'accélération de croissance des jeunes peuplements par rapport aux vieux peuplements avec la formule :

$$\frac{\Delta \text{âge}}{\text{âge}_{jn}} \times 100$$

région	Ho moyenne comparaison	âge jeunes	âge vieux	delta âge	accélération (en %)
Perche	25,13	78	91	13	17,0
Allier	28,37	98	122	24	24,9
Loire	26,00	90	114	24	26,5
Lorraine - Alsace	24,34	71	93	22	30,7
moyenne globale	25,96	84	105	21	24,8

▲ Tableau 7 : écart moyen, par région, des âges des deux générations à la hauteur finale des jeunes peuplements au moment de l'abattage.

On peut remarquer que les valeurs de pourcentage sont toutes nettement supérieures à celles du tableau 5. Cela est dû au caractère non linéaire de la croissance en hauteur d'un arbre.

La Lorraine/Alsace est la région où la vitesse de croissance en hauteur des arbres dominants a le plus évolué : des peuplements de 71 ans en moyenne ont augmenté leur vitesse de croissance en hauteur dominante de 31% (30,7 % exactement) .

Ainsi, le résultat moyen de 25% (24,8% exactement) obtenu dans cette étude pour l'ensemble des quatre régions peut être rendu plus explicite à travers un exemple :

un arbre dominant qui aurait mis 100 ans pour atteindre au début du siècle dernier 30 m de hauteur, n'en mettrait plus aujourd'hui que 80 ans pour atteindre la même hauteur de 30 m ($100 : 1,25 = 80$ ans) ; autrement dit, sa croissance en hauteur se fait maintenant 25 %, ou un quart, plus vite : $80 + 25 \% = 100$ ans.

Par ailleurs, on peut constater un gradient d'évolution de la vitesse de croissance d'Ouest en Est : de +17% en Normandie à +31% en Lorraine/Alsace, en passant par +25% dans l'intérieur du pays (Val de Loire + Allier).

En résumé la vitesse de croissance en hauteur dominante du chêne sessile a augmenté d'environ 25 % pour les peuplements étudiés de 84 ans en moyenne.

C O N C L U S I O N

Le chêne sessile est la principale essence forestière française par son importance économique (tranchage, merrain ...).

Dans le contexte des changements globaux des facteurs environnementaux, il était donc intéressant d'étudier les changements de productivité de cette essence.

L'étude expérimentale qui fait l'objet de ce rapport s'est déroulée sur deux années consécutives, de la prospection des massifs forestiers à l'analyse de tige en laboratoire. Elle a concerné 39 couples de peuplements jeunes/vieux de chêne sessile en futaie régulière.

Les données obtenues ont permis d'établir différentes courbes de croissance en hauteur dominante qui montrent la réalité des changements de productivité du chêne sessile, et de les quantifier :

- les couples étudiés ont montré une augmentation de la croissance en hauteur dominante des jeunes peuplements de l'ordre de 10 à 20 % selon les régions, pour des âges moyens par région allant de 70 à 100 ans. Le résultat moyen est de 14% pour l'ensemble des régions échantillonnées, à un âge moyen de comparaison de 84 ans.
- si on compare les 2 générations à un âge constant de 48 ans pour tous les couples, la différence de hauteur dominante n'est plus que de 8%, ce qui montre que l'effet des changements globaux sur la productivité s'atténue à mesure que l'on remonte dans le temps.
- si on analyse les données sous l'angle de la vitesse de croissance en hauteur dominante, on constate que celle-ci a augmenté de 25% en moyenne sur la zone étudiée, avec un gradient Ouest – Est allant de 17% dans le Perche à 31% en Lorraine/Alsace.

Une telle évolution de la productivité du chêne sessile peut avoir d'importantes conséquences pour la sylviculture.

Il serait intéressant de confirmer ces résultats sur le chêne par des études semblables sur d'autres essences.

R É F É R E N C E S

- ✓ BARY-LENGER Anne, NEBOUT Jean-Paul, 1993, *Le chêne*, gerfaut club, 604 pages.

- ✓ DUPLAT P., TRAN-HA M., 1997, *Modélisation de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile (Quercus petrea Liebl) en France/ Variabilité inter-régionale et effet de la période récente (1959-1993)*, article original, 4 pages.

- ✓ MARTIN H., GRELLIER V., EDEL F., 1984, Dossier de sylviculture : chênes communs, Brevet de Technicien Supérieur option Gestion Forestière, 23 pages.

- ✓ RAMEAU J-C., MANSION D., DUME G., 1994, Flore Forestière Française, tome 1, *plaines et collines*, Institut du Développement Forestier, 1785 pages.

Sites Internet apportant des informations :

<http://www.onf.fr>
<http://www.ifn.fr>
<http://www.ign.fr>
<http://www.inra.fr>

R É S U M É

La question des changements de productivité dus aux changements globaux environnementaux se pose depuis maintenant une bonne dizaine d'années dans le monde forestier.

Le présent rapport fait l'objet d'une première approche d'une étude expérimentale permettant de vérifier et quantifier l'évolution de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile en France au cours du XX^e siècle.

L'étude était ciblée sur des peuplements de chêne sessile en futaie régulière, répartis dans quatre régions : Collines du Perche, Val de Loire, Plaine d'Allier, Lorraine/Alsace.

Ce rapport comporte une présentation générale du chêne, suivie de la méthodologie de l'étude et d'une interprétation des résultats.

Ceux-ci font apparaître une augmentation moyenne de la vitesse de croissance en hauteur dominante du chêne sessile de l'ordre de 25 %, avec un gradient de 17 à 31 % d'Ouest en Est.

Annexes

Annexe 1 : Exemple type des interventions en futaie régulière de chêne

Annexe 2 : Analyse de sol

Annexe 3 : Exemple de feuille de terrain

Annexe 4 : Exemple de fichier informatique

Annexe 5 : Graphiques représentant l'évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de la date

Annexe 6 : Graphiques représentant l'évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements

Annexe 7 : Graphiques représentant l'évolution de l'accroissement moyen en fonction de la date

Annexe 8 : Graphiques représentant l'évolution de l'accroissement moyen en fonction de l'âge des peuplements

Annexe 9 : Ecart de hauteurs entre jeunes et vieux à la hauteur finale des jeunes peuplements

Annexe 10 : Ecart de hauteurs, par couple, entre les deux générations à l'âge constant de 48 ans

Annexe 11 : Ecart d'âges, par couple, entre les deux générations à la hauteur finale des jeunes peuplements au moment de l'abattage

ANNEXE 1

Exemple type des interventions en futaie régulière de chêne

Etat du développement du peuplement	Hauteur dominante	Age	Interventions sylvicoles
semis	0.5 m	n-1	<i>I. Installation des semis.</i> Extraction du sous étage : crochetage sur gland, coupe du taillis sur gland, assainissement, matérialisation du cloisonnement d'exploitation (abattage, vidange)
		n (levée)	Coupe d'ensemencement "à priori" prélevant 25% du volume sur pied.
		n+1	Dégagement des semis (ronces, fougères).
		n+3	1ere coupe secondaire prélevant 25% du volume sur pied.
		n+4	Dégagement des semis.
		n+5	2e coupe secondaire prélevant 25% du volume sur pied.
		n+6	
		n+7	Dégagement des fourrés.
		n+9	Cloisonnement des fourrés, dégagement.
		n+10	Coupe définitive prélevant 25% du volume sur pied. Complément de régénération dans les trouées (plantation).
fourré	3 m	n+12	Dégagement des fourrés.
		n+14	Dégagement des fourrés.
		n+15	
		n+17	1er nettoisement vers 4 m de hauteur de gaulis
		n+21	2e nettoisement vers 6 m.
bas gaulis	8 m	n+25	3e nettoisement vers 8 m.
haut gaulis	12 m	n+30	<i>II. Formation des arbres d'avenir</i> 1er nettoisement-dépressage vers 10 m.
		n+35	1er nettoisement-éclaircie vers 12 m.
		n+45	2e nettoisement-éclaircie vers 14 m.
bas perchis	18 m	50 - 55	<i>III. Accélération de la croissance en diamètre des arbres d'avenir.</i> 3e nettoisement-éclaircie ou 1ere éclaircie vers 17 m.
			Introduction d'un sous étage si nécessaire (hêtre).
Jeune futaie	20 m	55 - 60	Désignation des arbres-objectifs*
		n+80	Elagage artificiel.

*arbres-objectifs = arbres destinés à vivre jusqu'à la fin de la révolution, distants les uns des autres en moyenne de 10 à 12 m.

ANNEXE 2



LABORATOIRE
D'ANALYSES DES SOLS
D'ARRAS

ENVOI DES RESULTATS

Le:
25-NOV-04

Page: 1 / 1

RAPPORT D'ESSAI

IUMR INRA ENGREF
MR JEAN DANIEL BONTEMPS
EQUIPE DSR SR
14 RUE GIRARDET CS 4216
54042
NANCY CEDEX

Numero Echantillon: 200037408
Soumission: 100014880
Votre Reference: MO 136 H1

Date de Reception: 21/10/04
Date de mise en analyse: 08/11/04

Version:

SOL-0201 Humidité résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg	
Humidité	9 g/kg
SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg	
Argile (< 2 µm)	51 g/kg
Limons fins (2/20 µm)	62 g/kg
Limons grossiers (20/50 µm)	29 g/kg
Sables fins (50/200 µm)	115 g/kg
Sables grossiers (200/2000 µm)	743 g/kg
SOL-0405 Carbone (C) organique et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg	
Carbone (C) organique	30.5 g/kg
Azote (N) total	1.46 g/kg
C/N	20.9 -
Matière organique	52.8 g/kg
SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)	
pH	3.89 -
SOL-0603 Phosphore (P205) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg	
Phosphore (P205)	0.171 g/kg
SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexammine (titrimétrie) (méth. INRA) - cmol+/kg	
Protons (H+)	1.12 cmol+/kg
SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexammine (ICP-AES) (méth. INRA) - cmol+/kg	
Calcium (Ca)	0.364 cmol+/kg
Magnésium (Mg)	0.112 cmol+/kg
Sodium (Na)	0.0082 cmol+/kg
Potassium (K)	0.131 cmol+/kg
Fer (Fe)	0.0562 cmol+/kg
Manganèse (Mn)	0.146 cmol+/kg
Aluminium (Al)	1.17 cmol+/kg

Ciesielski Henri
Directeur du Laboratoire

Fin du Rapport Echantillon: 200037408

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai 62000 Arras

ANNEXE 3

Exemple de feuille de terrain

Forêt :

Parcelle :

Date :

Inventaire :

Arbre :		
Rondelle	Hauteur	Age
R 1		
R 2		
R 3		
R 4		
R 5		
R 6		
R 7		
R 8		
R 9		
R 10		
R 11		
R 12		
R 13		
R 14		
R 15		
R 16		
R 17		
R 18		
H totale		

Arbre :		
Rondelle	Hauteur	Age
R 1		
R 2		
R 3		
R 4		
R 5		
R 6		
R 7		
R 8		
R 9		
R 10		
R 11		
R 12		
R 13		
R 14		
R 15		
R 16		
R 17		
R 18		
H totale		

Arbre :		
Rondelle	Hauteur	Age
R 1		
R 2		
R 3		
R 4		
R 5		
R 6		
R 7		
R 8		
R 9		
R 10		
R 11		
R 12		
R 13		
R 14		
R 15		
R 16		
R 17		
R 18		
H totale		

ANNEXE 4

Exemple de fichier informatique

Placette	Arbre	Hauteur	Age	Remarques
Mouterhouse - Plle 137	2	0,30	83	
		2,30	78	
		4,30	75	
		6,50	72	
		8,70	69	
		10,90	64	
		13,10	57	
		15,30	51	
		17,50	44	
		19,70	38	
		21,90	30	
		24,10	18	
		26,20	11	
		28,30	0	
	3	0,30	86	
		2,30	79	
		4,30	76	
		6,50	73	
		8,70	68	
		10,90	59	
		13,00	53	
		15,10	47	
		17,20	41	
		19,30	35	
		21,40	28	
		23,50	18	
		25,60	10	
		27,80	0	
5	0,30	83		

ANNEXE 5

39 Graphiques représentant l'évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de la date

(trop volumineux pour être inclus dans ce fichier Word)

ANNEXE 6

39 Graphiques représentant l'évolution de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements

(trop volumineux pour être inclus dans ce fichier Word)

ANNEXE 7

39 Graphiques représentant l'évolution de l'accroissement moyen en fonction de la date

(trop volumineux pour être inclus dans ce fichier Word)

ANNEXE 8

39 Graphiques représentant l'évolution de l'accroissement moyen en fonction de l'âge des peuplements

(trop volumineux pour être inclus dans ce fichier Word)

ANNEXE 9

Écarts de hauteurs entre jeunes et vieux à la hauteur finale des jeunes peuplements

Région	couple	Age	Hf jn	H vx	delta H	%
Perche	2	56	21,30	17,40	3,90	22,4
	3	45	18,53	16,80	1,70	10,1
	4	117	30,12	29,90	0,20	0,7
	5	68	27,35	21,20	6,20	29,2
	6	54	24,35	20,10	4,30	21,4
	7	96	30,27	28,40	1,90	6,7
	9	104	25,60	24,40	1,20	4,9
	10	83	23,53	25,90	-2,40	-9,3
moyenne		78	25,13	23,01	2,13	9,2
Allier	11	102	30,30	28,30	2,00	7,1
	12	73	25,30	18,60	6,70	36,0
	13	120	30,15	32,90	-2,80	-8,5
	14	104	29,95	29,20	0,80	2,7
	15	74	26,27	24,00	2,30	9,6
	17	87	25,13	21,60	3,50	16,2
	18	121	29,70	20,90	8,80	42,1
	19	101	30,17	26,10	4,07	15,6
moyenne		98	28,37	25,20	3,17	12,6
Loire	21	79	25,63	19,04	6,59	34,6
	22	94	23,05	15,48	7,57	48,9
	23	64	23,78	16,77	7,01	41,8
	24	71	24,55	18,11	6,44	35,6
	25	147	30,63	31,39	-0,76	-2,4
	26	59	23,25	20,39	2,86	14,0
	27	67	23,25	20,56	2,69	13,1
	28	116	30,43	27,05	3,38	12,5
	29	100	27,85	24,98	2,87	11,5
	30	100	27,58	26,30	1,28	4,9
moyenne		90	26,00	22,01	3,99	18,1
Lorraine - Alsace	31	74	23,13	19,40	3,73	19,2
	32	76	24,58	22,30	2,28	10,2
	33	48	21,93	18,20	3,73	20,5
	34	48	18,10	13,00	5,10	39,2
	35	49	20,73	18,50	2,23	12,1
	36	125	24,35	26,80	-2,45	-9,1
	37	82	28,97	24,25	4,72	19,5
	38	84	29,62	27,67	1,95	7,0
	39	47	21,27	16,84	4,43	26,3
	40	77	30,73	23,99	6,74	28,1
moyenne		71	24,34	21,10	3,25	15,4

ANNEXE 10

Ecarts de hauteurs, par couple, entre les deux générations à l'âge constant de 48 ans

moyenne globale		16,26	17,50	1,24	8,1
Région	couple	générations		delta H	%
		1	2		
Perche	2	15,80	19,10	3,30	20,9
	4	18,60	17,70	-0,90	-4,8
	5	16,90	20,90	4,00	23,7
	6	18,70	21,50	2,80	15,0
	7	20,90	18,30	-2,60	-12,4
	9	16,20	16,00	-0,20	-1,2
	10	18,90	16,90	-2,00	-10,6
moyenne		18,00	18,63	0,63	3,5
Allier	11	18,40	16,70	-1,70	-9,2
	12	12,80	19,00	6,20	48,4
	13	18,50	13,60	-4,90	-26,5
	14	19,90	15,90	-4,00	-20,1
	15	17,90	18,70	0,80	4,5
	17	15,40	14,40	-1,00	-6,5
	18	11,60	15,90	4,30	37,1
19	17,30	18,90	1,60	9,2	
moyenne		16,48	16,64	0,16	1,0
Loire	21	8,88	15,34	6,46	72,7
	22	10,28	11,96	1,68	16,3
	23	12,22	18,29	6,07	49,7
	24	13,80	18,42	4,62	33,5
	25	16,94	13,09	-3,85	-22,7
	26	17,45	20,01	2,56	14,7
	27	15,61	16,50	0,89	5,7
	28	12,99	16,68	3,69	28,4
	29	13,49	14,71	1,22	9,0
	30	15,21	14,68	-0,53	-3,5
moyenne		13,69	15,97	2,28	16,7
Lorraine - Alsace	31	15,70	15,90	0,20	1,3
	32	16,50	17,10	0,60	3,6
	33	18,20	21,90	3,70	20,3
	34	13,00	18,10	5,10	39,2
	35	18,30	20,30	2,00	10,9
	36	12,53	13,45	0,92	7,3
	37	16,95	20,54	3,59	21,2
	38	21,84	19,61	-2,23	-10,2
	40	18,85	22,01	3,16	16,8
moyenne		16,87	18,77	1,89	11,2

ANNEXE 11

Écarts d'âges, par couple, entre les deux générations à la hauteur finale des jeunes peuplements au moment de l'abattage

région	couple	H comparaison	âge jn	âge vx	delta âge	%
Perche	2	21,30	56	77	21	37,5
	3	18,53	45	53	8	17,8
	4	30,12	117	119	2	1,7
	5	27,35	68	114	46	67,6
	6	24,35	54	68	14	25,9
	7	30,27	96	115	19	19,8
	9	25,60	104	116	12	11,5
	10	23,53	83	67	-16	-19,3
moyenne		25,13	78	91	13	17,0
Allier	11	30,30	102	125	23	22,5
	12	25,30	73	114	41	56,2
	13	30,15	120	100	-20	-16,7
	14	29,95	104	109	5	4,8
	15	26,27	74	86	12	16,2
	17	25,13	87	124	37	42,5
	18	29,70	121	180	59	48,8
	19	30,17	101	139	38	37,6
moyenne		28,37	98	122	24	24,9
Loire	21	25,63	79	122	43	54,4
	22	23,05	94	144	50	53,2
	23	23,78	64	97	33	51,6
	24	24,55	71	111	40	56,3
	25	30,63	147	140	-7	-4,8
	26	23,25	59	71	12	20,3
	27	23,25	67	82	15	22,4
	28	30,43	116	135	19	16,4
	29	27,85	100	122	22	22,0
	30	27,58	100	111	11	11,0
moyenne		26,00	90	114	24	26,5
Lorraine - Alsace	31	23,13	74	99	25	33,8
	32	24,58	76	88	12	15,8
	33	21,93	48	65	17	35,4
	34	18,10	48	79	31	64,6
	35	20,73	49	60	11	22,4
	36	24,35	125	105	-20	-16,0
	37	28,97	82	106	24	29,3
	38	29,62	84	100	16	19,0
	39	21,27	47	75	28	59,6
	40	30,73	77	151	74	96,1
moyenne		24,34	71	93	22	30,7
moyenne globale		25,96	84	105	21	24,8