

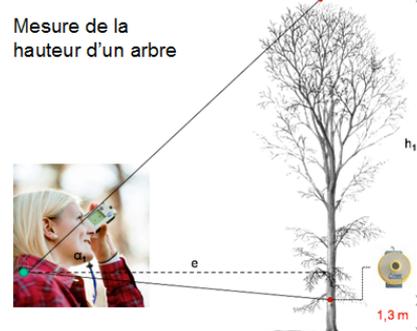
# La croissance des arbres et la production des peuplements forestiers : pourquoi et comment les évalue-t-on ?

De tous temps, la forêt, les arbres, le bois ont constitué une ressource pour l'Homme. Les fonctions des forêts sont en fait multiples : production d'une ressource renouvelable, protection des sols, de l'eau, et de la diversité biologique et génétique hébergée, rôle économique, social, récréatif, stockage du carbone ... Minoritaires en nombre d'espèces, les arbres jouent un rôle majeur dans la structure des écosystèmes forestiers parce qu'il s'agit, et de loin, des organismes les plus grands et les plus longévifs ; la strate arborée détermine fortement les conditions de vie (abri, lumière, microclimat) de toutes les autres espèces forestières, végétales et animales. ... Autant de raisons qui amènent à s'interroger sur les facteurs qui déterminent leurs dimensions, leur croissance, leur production, et sur les outils qui peuvent aider les forestiers à en assurer une gestion multifonctionnelle et durable, notamment dans un contexte de changements, climatiques, mais aussi technologiques, économiques et sociétaux ...

## Croissance des arbres et production des peuplements forestiers : comment les évaluer ?

Qui ne s'est jamais interrogé, devant un arbre majestueux ou de diamètre exceptionnel, sur ses dimensions précises, sur son âge, sur la vitesse à laquelle il a atteint une telle taille ? « *L'arbre, c'est le temps rendu visible* », disait Paul Valéry. Encore faut-il avoir les bonnes lunettes ...

La **dendrométrie** regroupe les connaissances scientifiques, techniques, statistiques développées pour mesurer les arbres et évaluer quantitativement le volume de bois ou la biomasse d'un peuplement forestier. Sur un arbre, on mesure classiquement le **diamètre** (à 1.30 m au-dessus du sol, par convention internationale) et la **hauteur** totale (jusqu'à la cime) : c'est ce qui est le moins difficile et c'est ce qui est le plus important pour estimer le volume de bois pour les usages traditionnels ; l'intérêt accru pour la biomasse (bois énergie, estimation du carbone stocké) conduit à des mesures qui concernent l'ensemble de la partie aérienne, parfois en incluant le feuillage, ou même les parties souterraines. En gestion, volume et biomasse d'un individu sont estimés de préférence à partir de relations statistiques (« tarifs de cubage ») établies sur des échantillons représentatifs de la gamme de variabilité rencontrée pour une espèce, et une région. Pour un peuplement, une forêt, l'estimation se fait généralement sur la base d'un inventaire statistique : typiquement, une grille de placettes sur chacune desquelles sont mesurés le diamètre des arbres et la hauteur de certains, ce qui permet de cumuler les estimations individuelles de volume ou biomasse. Au niveau national, la ressource est évaluée selon le même principe général par l'Inventaire forestier national (IGN, voir fiche 1.10). L'**âge** est connu dans le cas d'une plantation référencée, ou de peuplements renouvelés par une régénération naturelle par semis sur une période courte, ou encore par une coupe de taillis simple.



**Figure 1. Mesure de la hauteur d'un arbre par visées à la cime et sur une cible (pour la distance, par ultrasons)**



**Figure 2. Mesure de la croissance en rayon à l'aide de la tarière de Pressler**

Sinon, il peut être estimé à l'occasion d'une coupe par comptage des cernes sur les souches, ou par sondage du tronc (fig.2) à l'aide d'une tarière de Pressler (sous des climats et pour des essences pour lesquelles on observe un arrêt annuel de croissance). La **croissance** moyenne de l'arbre est bien sûr obtenue en divisant la dimension atteinte (diamètre, hauteur, volume, biomasse ...) par l'âge (total, mesuré à la souche, ou âge à 1,30 m du sol). La mesure des cernes sur une carotte de sondage dans le tronc permet de reconstituer l'évolution de la croissance radiale annuelle. La mesure directe de la production d'une forêt est plus difficile ; une méthode relativement précise consiste à l'estimer en couplant un inventaire statistique avec une mesure de l'accroissement radial des 5 ou 10 dernières années (sondage à la tarière) sur un sous-échantillon d'arbres des placettes inventoriées.

### Quels facteurs déterminent la croissance d'un arbre, la production d'un peuplement ? Comment quantifier, formaliser, modéliser leurs influences respectives ?

Dans un cadre scientifique, la croissance d'arbres-échantillons peut-être suivie en les mesurant à intervalle régulier (tous les cinq ans, par exemple) ; c'est de cette manière que l'on étudie **les facteurs qui déterminent croissance et production**, dans le cadre de dispositifs d'observation, ou d'expérimentations, d'interventions sylvicoles, dans des conditions de climat et de sol variées. Les connaissances ainsi acquises permettent en outre d'élaborer des **modèles** capables de représenter l'évolution des arbres et des peuplements, et permettant de **simuler les effets des interventions** humaines dans le but d'établir des guides pour la gestion opérationnelle. 70% des forêts publiques françaises sont ainsi gérées, par l'ONF, sur la base de **guides sylvicoles** appuyés sur des modèles de croissance établis par les scientifiques.

#### Les modèles de croissance en bref

Ces modèles permettent de formaliser le jeu des différents facteurs et de quantifier leur influence. Une formalisation classique consiste à décomposer la croissance d'un arbre comme le produit de plusieurs termes, l'un dénotant un potentiel de croissance, les autres étant des termes de réduction de cette croissance par rapport à ce potentiel. Outre l'espèce –plus généralement, le génotype- le **potentiel de croissance** est habituellement relié aux potentialités du milieu physique : sol, climat. Les forestiers parlent de « fertilité stationnelle » et de « classes de fertilité », la « station » étant définie par les écologues comme une étendue homogène en terme de relief, de géologie et de sol, et de climat local influencé par la topographie ; la composition floristique et la structure de la végétation, dont la composante « arbres », y sont également assez homogènes. Faute de pouvoir facilement évaluer tous les facteurs, les forestiers utilisent depuis fort longtemps (De Perthuis, dès 1788 !) la hauteur atteinte par les arbres, à un certain âge, comme indicateur de la potentialité stationnelle ; au fil du temps, cette idée a été précisée (hauteur des seuls arbres dominants, à un âge de référence précis, dans des peuplements où les arbres ont le même âge), formalisée mathématiquement (faisceaux de courbes délimitant des classes de fertilité) et modélisée à partir de données d'évolution de la hauteur d'arbres dominants, abattus puis analysés, sur des stations allant des plus pauvres aux plus fertiles.

Quant aux termes **réducteurs de la croissance**, ils sont reliés à la **compétition** qu'exercent les individus les uns vis-à-vis des autres : des indices de densité de peuplement (combinaisons du nombre d'arbres par unité de surface et de leur taille moyenne), des indices de « statut social » ou de statut compétitif de chaque individu (sa taille relative dans le peuplement, par exemple). La croissance en hauteur est modérément influencée par la concurrence, et y est même considérée comme insensible en ce qui concerne les arbres dominants (... d'où l'utilisation de la hauteur dominante comme indicateur stationnel, indépendant de la sylviculture hormis en peuplements très serrés, ou très clairsemés). En revanche, la croissance en diamètre est très sensible à la concurrence. La figure 3 montre le résultat d'une expérimentation comparant des densités de plantation. Pour obtenir de gros arbres, il faut maintenir la concurrence à un niveau faible, c'est-à-dire planter à faible densité ou opérer des coupes sylvicoles fortes ou fréquentes ... au risque, cependant, de réduire sensiblement la quantité totale de bois récoltable par hectare (« perte de production »).

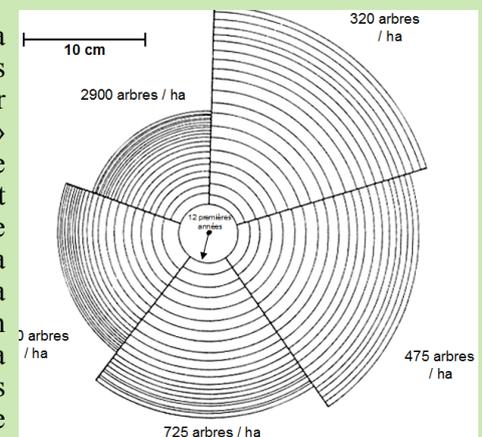
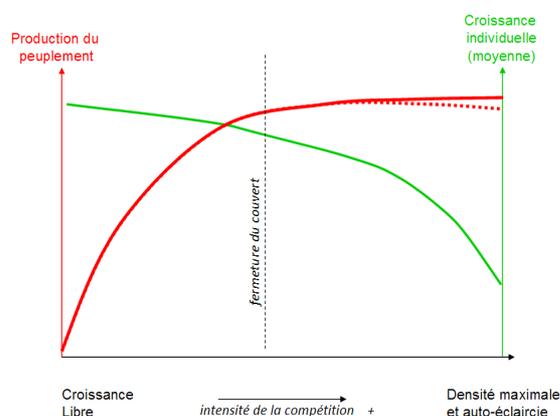


Figure 3. Effet de la densité initiale 32 ans après plantation sur le diamètre moyen et la largeur des cernes - Source : Savill et Sandels, 1983

## Concilier croissance et production : un exercice d'équilibriste ...

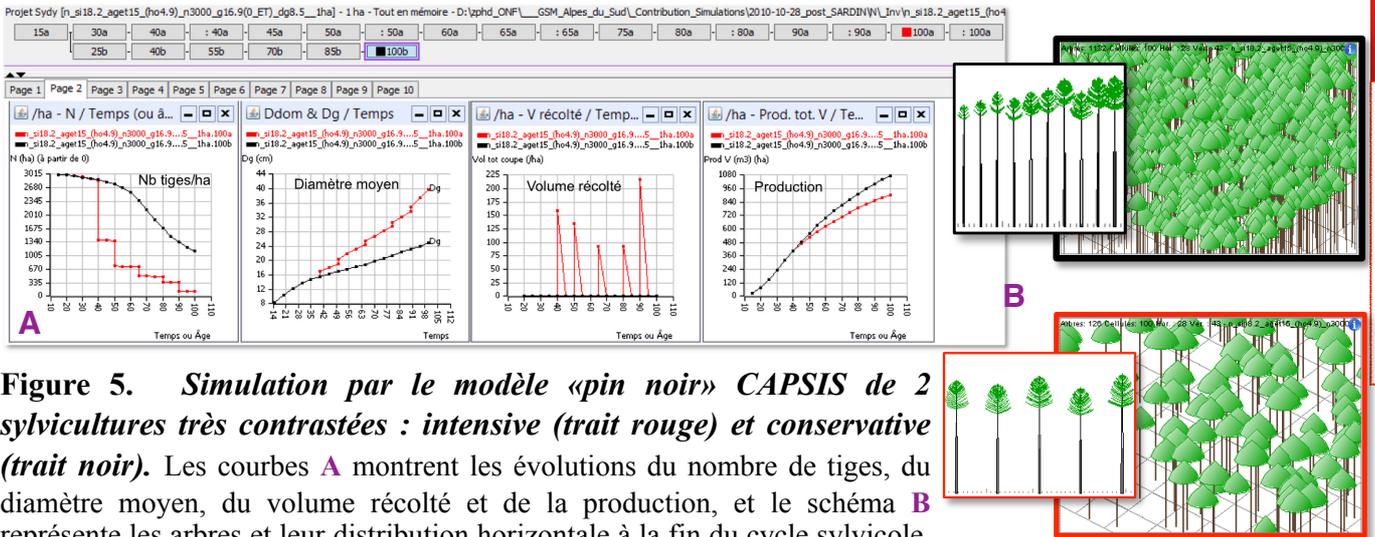
C'est bien là tout l'art du sylviculteur lorsqu'il s'agit de produire du matériau bois dans une futaie régulière : en réduisant la densité, à plusieurs reprises au cours de la vie du peuplement, trouver – et maintenir sur de nombreuses décennies – l'équilibre souhaité entre les dimensions des arbres (en fonction des produits escomptés, qui varient selon le stade de développement du peuplement et les besoins des utilisateurs) et la quantité totale récoltable sur l'ensemble de la vie du peuplement (fig. 4). Notons que la dimension temporelle de l'équilibre recherché par le forestier tient au fait qu'en réduisant la densité, donc la concurrence, on favorise la croissance ... ce qui, en retour, conduit à retrouver plus rapidement un fort niveau de concurrence ! Un équilibre dynamique ... Dans le cas de peuplements irréguliers, mélangés, inéquiennes, les phénomènes (croissance, compétition ...) sont fondamentalement les mêmes ; mais les équilibres à établir sont plus variés, et nécessitent souvent une prise en compte de la compétition à l'échelle du voisinage de chaque arbre considéré en s'appuyant sur un savoir-faire et sur des règles largement empiriques. Des indices de densité locale ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche dans les années 1980-90, mais leur mise en œuvre n'est pas directement envisageable dans le cadre de la gestion opérationnelle.

**Figure 4. Représentation schématique de l'opposition entre amélioration de la croissance individuelle et maximisation de la production à l'échelle du peuplement**, entre deux situations extrêmes : de la « croissance libre », où les arbres sont si espacés qu'ils ne se concurrencent jamais, à l'« auto-éclaircie », quand la concurrence est à son maximum, et que la croissance ne se poursuit qu'au prix de la mort – par concurrence- des arbres les plus faibles. Dans ce schéma, la croissance individuelle est représentée par la moyenne des individus, mais, même dans un peuplement homogène (arbres de même espèce, même âge, sur un sol homogène), le jeu des relations de compétition inter-individuelle conduit à une variabilité des dimensions : couramment dans un rapport de 1 à 5 pour le diamètre, de 1 à 20 pour le volume individuel.



## Quels outils pour les forestiers d'aujourd'hui... ?

Les techniques et outils dendrométriques permettent une évaluation directe de la croissance et de la production. Pour simuler, de manière prospective, les effets de la sylviculture, les gestionnaires peuvent s'appuyer sur des modèles de croissance, déjà évoqués, établis par des scientifiques. Il en existe de plusieurs types, de générations successives. Les tables de production sont les plus anciens : fondées sur l'observation des grandeurs dendrométriques sur des placettes de peuplements en gestion, elles présentent, sous forme de tableau, l'évolution de ces grandeurs en fonction de l'âge du peuplement ; pour plusieurs classes de fertilité mais un seul mode de gestion sylvicole (avec au mieux quelques variantes). Les modèles les plus utilisés en gestion, en France et dans le monde, sont des modèles dits « individué-centrés, sans spatialisation » ; établis le plus souvent sur la base de réseaux d'expérimentations, ils permettent de simuler des itinéraires sylvicoles variés, pour des peuplements réguliers, en tenant compte des potentialités stationnelles appréciées indirectement (hauteur dominante à un âge de référence). Il existe peu de modèles opérationnels pour la gestion des peuplements irréguliers, mélangés, sans doute parce qu'il est difficile de modéliser l'apparition, la croissance et la mortalité de la régénération naturelle. Des modèles plus complexes s'appuient sur la connaissance du fonctionnement écophysio-logique des arbres, parfois relié à leur architecture (modèles structure-fonction) ; ils prennent en compte explicitement les ressources offertes par le milieu : sol (eau, éléments minéraux, azote ...), climat (précipitations, énergie), atmosphère (CO<sub>2</sub> ...). Mais ils peinent à évoluer vers des outils opérationnels en gestion forestière, malgré des tentatives de convergence entre cette approche et les modèles actuellement utilisés.



**Figure 5. Simulation par le modèle « pin noir » CAPSIS de 2 sylvicultures très contrastées : intensive (trait rouge) et conservative (trait noir).** Les courbes **A** montrent les évolutions du nombre de tiges, du diamètre moyen, du volume récolté et de la production, et le schéma **B** représente les arbres et leur distribution horizontale à la fin du cycle sylvicole. - sur le simulateur CAPSIS, voir : [www.inra.fr/capsis](http://www.inra.fr/capsis)

### Quelles perspectives pour la gestion forestière de demain ... ?

En matière d'outils et techniques dendrométriques, les progrès sont étroitement liés aux avancées technologiques. Des applications sur smartphone sont apparues depuis quelques années et sont en cours de perfectionnement (mesure de hauteur, ou de densité de peuplement). Les technologies LiDAR, aéroporté ou terrestre, sont en plein développement (voir fiche 1.10). Les images satellitaires à très haute résolution et à haute fréquence (passage annuel) ouvrent des perspectives intéressantes : monitoring de l'état des forêts, ... et, peut-être un jour, estimation de la production annuelle réelle des peuplements ! Des avancées qui méritent encore d'être consolidées. Quant à l'approche « prédictive » des modèles, elle se heurte à un écueil de taille : si la tendance au réchauffement du climat est certaine, sa vitesse, son intensité restent inconnues ; dès lors, même un modèle qui tiendrait compte du climat de manière parfaite ne permet plus de prévoir l'évolution des forêts ... puisque la donnée d'entrée « climat » n'est pas connue. On en est réduit à simuler des scénarios d'évolution de la production, de la croissance - et d'abord de la survie !-, aussi nombreux que les scénarios climatiques et aussi divergents qu'eux à l'horizon 2100. Or, chaque décision de gestion prise aujourd'hui par un forestier engage l'avenir d'un arbre, d'une forêt pour de nombreuses décennies ; une situation bien plus inconfortable qu'en agriculture, où un changement d'espèce cultivée, ou de modalités culturales peut s'opérer presque d'une année sur l'autre. Hormis l'illustration d'un éventail des possibles – si large qu'il aide peu à décider -, les modèles gardent un grand intérêt – scientifique et pédagogique - pour la compréhension de l'influence des facteurs et du jeu des multiples processus et de leurs interactions. Les modèles de croissance actuels, fondés sur un climat stationnaire, gardent leur intérêt pour départager des options sylvicoles ; chaque peuplement est susceptible de changer de classe de fertilité au cours de sa vie du fait des changements climatiques, mais, sur 20 ans (durée habituelle des documents de planification de la gestion d'une forêt en France), les décisions sylvicoles peuvent le plus souvent en faire abstraction. Par contre, l'estimation de la croissance et de la production devra sans doute s'appuyer davantage sur le monitoring, d'autant que les évolutions climatiques peuvent induire indirectement des événements inattendus, dans le domaine sanitaire notamment (nouveaux ravageurs, pathologies inédites), ainsi que sur une meilleure connaissance cartographique des sols forestiers : quelle que soit l'intensité des changements climatiques, leurs conséquences seront plus lourdes sur les contextes géomorpho-pédologiques défavorables, où la vigilance et l'anticipation des mesures adaptatives devront être maximales.

### Ce qu'il faut retenir

- La dendrométrie regroupe les outils et techniques de mesure de la croissance des arbres (diamètre, hauteur, houppier...) et de la production des peuplements en volume de bois, biomasse, etc.
- La croissance dépend du sol et du climat, et de la concurrence entre arbres ou avec la végétation basse.
- Le sylviculteur maintient un compromis entre les meilleures dimensions unitaires (arbres) et la production globale (peuplement).
- Les modèles de croissance permettent de simuler, comparer et choisir des itinéraires pour les guides de gestion sylvicole.
- Face aux incertitudes climatiques, ces modèles aident, sinon à prévoir, au moins à comprendre, à imaginer des adaptations, en complément d'une vigilance renforcée par les avancées technologiques.