



HAL
open science

Dendrochronologie

Vincent V. Badeau

► **To cite this version:**

Vincent V. Badeau. Dendrochronologie. Guide de l'expérimentation forestière.Principes de base.Prise en compte du changement climatique, CNPF/IDF, 224 p., 2011, 978-2-916525-01-3. hal-02803407

HAL Id: hal-02803407

<https://hal.inrae.fr/hal-02803407>

Submitted on 5 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.

Principe

La dendrochronologie a pour objet l'étude des cernes d'accroissement des arbres.

Elle donne accès, *a posteriori*, à un grand nombre de caractéristiques essentielles pour connaître et comprendre la croissance des arbres et des peuplements :

- le simple décompte des cernes permet de déterminer l'âge des tiges ; facteur important de la croissance ;
- la mesure des largeurs de cernes permet d'affiner l'analyse des relations entre croissance radiale et facteurs de l'environnement (climat, fertilité stationnelle, sylviculture, attaques parasitaires, etc.), notamment dans les expérimentations où les mesures ne sont pas annuelles. Cette mesure permet également de retracer la croissance passée d'un peuplement (avant l'installation d'un essai par exemple) ;
- des mesures encore plus poussées permettent d'obtenir des informations sur la densité, la composition chimique du bois, le retrait, la durabilité, etc., notamment pour les essences dont les propriétés mécaniques sont méconnues.

Déterminisme de la largeur des cernes

L'arbre agit comme un intégrateur complexe des conditions de son environnement. Les nombreux facteurs influençant la largeur d'un cerne annuel peuvent être résumés par un modèle théorique du type :

$$\text{Largeur cerne} = A + C + PL + PR + E$$

A symbolise les facteurs biologiques, l'âge en particulier. L'évolution de la largeur des cernes se fait en deux phases : une augmentation dans le jeune âge, puis une diminution, suivie ou non d'une stabilisation jusqu'à la mort de l'arbre. Attention, cette évolution est différente si on considère les surfaces de cernes : une diminution de la largeur des cernes en fonction du temps (et donc du diamètre) correspond souvent à une augmentation globale de leur surface. La régulation de la croissance est difficilement interprétable par la largeur de cerne mais plutôt par la surface de cerne, qui détermine une surface conductrice. La composante biologique A intègre donc les contraintes géométriques d'accroissement en même temps que les variations liées à l'augmentation de l'âge. Cet « effet âge » rend donc impossible la comparaison directe du niveau de croissance moyen, à une date donnée, de cernes d'âges différents.

Nombre de visites : la périodicité et le nombre de passages par événement observé (débourrement ou sénescence des feuilles) dépendra des objectifs et des moyens alloués au suivi ; - un passage permet de classer des unités génétiques selon leur précocité. L'imprécision devient de plus en plus grande vers les comportements phénologiques extrêmes ;

- trois passages permettent un classement, avec une bonne précision, des unités génétiques ; - cinq à sept passages sont nécessaires pour repérer précisément la date d'un événement phénologique (débourrement, sénescence des feuilles).

Nombre d'années : si une campagne de mesure suffit pour obtenir des classements entre unités génétiques, la répétition des campagnes est indispensable pour étudier l'évolution dans le temps des phénomènes et pour les mettre en relation avec les caractéristiques climatiques. La répétition de la mesure permet de gagner en précision et, si le nombre de répétitions est suffisant (7 années contrastées), le suivi permet d'isoler les facteurs climatiques de déclenchement d'un événement phénologique (exemple : une somme des températures provoquant le débourrement).

Un échantillon minimum de 30 arbres est suivi, constitué systématiquement comme l'échantillon du suivi précis.

Temps de mesure indicatif : moins d'une minute par arbre les premières années après plantation, puis plusieurs minutes lorsque les arbres dépassent 3 m. Le temps de mesure s'accroît avec la hauteur des arbres. Au-delà de 8 m, il faut prévoir de bonnes jumelles.

Des méthodes de suivi automatique, par la mesure en continu du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) intercepté par la partie aérienne des arbres (un capteur PAR est posé au sol sous les arbres et un autre est placé au-dessus des arbres), sont en cours de développement à l'INRA. Ces dispositifs devraient permettre de dater précisément le débourrement ou la sénescence des feuilles, en limitant les déplacements sur site (stockage des données sur carte mémoire). Leurs coûts deviendront sans doute de plus en plus abordables¹.

L'observation de la phénologie permet de corrélater le cycle du végétal aux variables météorologiques. Elle peut cependant devenir fastidieuse et très coûteuse, selon le niveau de précision retenu. Elle sera réservée à certains dispositifs choisis pour leur bonne représentativité ou la facilité de réalisation (accessibilité, par exemple)

1 Fin 2011 : environ 100 € l'ensemble capteur + carte mémoire, sans le coût de la pose et du petit matériel (piqueurs, grillage...).

C est la **composante climatique**. Elle est commune à l'ensemble des arbres d'une même région, mais des variations microclimatiques peuvent se superposer à la composante climatique générale.

PL représente les **perturbations locales**, c'est-à-dire qui ne concernent pas l'ensemble des arbres de la placette ou du peuplement d'un même site. Diverses causes peuvent affecter la croissance radiale : compétition inter-arbres (densité variable dans le peuplement), accidents locaux (chablis), sylviculture (éclaircies sélectives), micro-variations stationnelles (fertilité, obstacles à l'enracinement, disponibilité en eau), incendies, inondations, glissements de terrain...

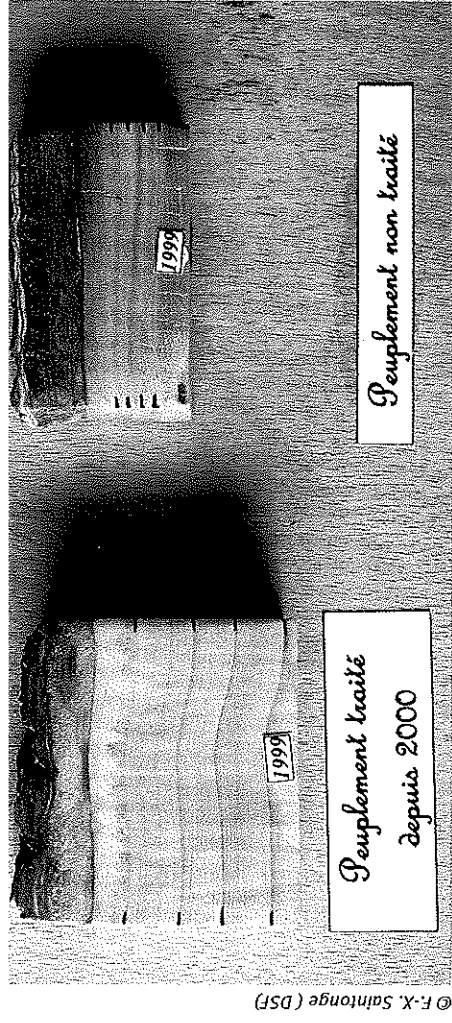
PR intègre les **perturbations régionales**, qui affectent l'ensemble des arbres d'une placette, d'un peuplement ou d'une région. Il peut s'agir de perturbations climatiques à long terme (variation du régime des pluies, augmentation des températures), de l'action bénéfique ou néfaste de composés divers (CO_2 , dépôts azotés, soufre, ozone, etc.), de l'évolution globale des pratiques sylvicoles, des attaques épidémiques d'insectes ou de pathogènes...

E est la **part aléatoire** de la croissance, non explicable. Elle représente la variance qui reste lorsque tous les autres facteurs identifiés ont été pris en considération. Elle inclut les erreurs de mesure, le potentiel génétique, etc.

À tous ces « effets simples » s'ajoutent bien sûr quantités d'interactions complexes (l'effet du climat sur un cerne d'âge i ne sera pas le même que sur un cerne d'âge j , par exemple) et des **arrière-effets** (le niveau de croissance observé l'année n dépend fortement du niveau de croissance de l'année $n-1$, voire bien au-delà).

Tous ces facteurs agissent sur la croissance radiale à différentes échelles de temps. Trois « fréquences » sont classiquement reconnues et étudiées en dendrochronologie :

- la **haute fréquence** intègre les variations de croissance à l'échelle de l'année (climat, feu, défoliation parasitaire...);
- la **moyenne fréquence** intègre les variations à l'échelle de quelques années (crise climatique sur une décennie, réaction à une éclaircie) et des arrière-effets (conséquences différées d'une sécheresse exceptionnelle);
- la **basse fréquence** intègre les variations de croissance de l'échelle de la décennie à celle du siècle (pollutions, dérives climatiques, changements globaux, etc.).



© F.-X. Saintonge (DSF)

Influence sur la largeur de cernes d'attaques annuelles de rouille sur peuplier (perturbation régionale) et effet positif d'un traitement phytosanitaire.

Les prélèvements

• Choix de la méthode de prélèvement

Deux méthodes sont possibles, le carottage et le prélèvement de rondelles :

- le **carottage** à la tarière, non destructif, a l'avantage de permettre le choix des arbres échantillons sans être dépendant de leur exploitation. Ce type de prélèvement sera donc retenu dans le cadre d'une analyse déclenchée bien avant la récolte des tiges et ciblant un échantillon représentatif de tout le peuplement. Le propriétaire ou le gestionnaire doit avoir préalablement donné son accord;

- le **prélèvement de rondelles** est certes destructif, mais il offre plusieurs avantages : on dispose toujours du cœur de l'arbre ; il est possible de choisir le rayon où seront faites les mesures ; plusieurs rayons peuvent être mesurés car la croissance radiale n'est pas forcément homogène sur toute la section (cas des cèdres par exemple) ; les analyses de tiges (reconstitution de la croissance en hauteur) sont possibles. Le prélèvement de rondelles sera privilégié lors d'études « opportunistes », à l'occasion d'éclaircies, ou lors de la coupe finale pour faire le bilan d'un dispositif.

• Hauteur de prélèvement

Qu'il s'agisse de carottes ou de rondelles, les échantillons seront la plupart du temps prélevés à 1,30 m du sol, hauteur de référence en foresterie.

Des prélèvements à d'autres niveaux peuvent être envisagés pour préserver la bille de pied :

- prélèvements par carottage à un niveau supérieur. Cette opération est cependant malaisée (utilisation d'échelles). Par ailleurs, plus la hauteur est grande, plus on perd de cerne « juveniles » (on s'éloigne alors de l'âge réel de l'arbre), et plus les cerne peuvent être déformés par l'influence mécanique des premières branches ;

- prélèvements en dessous de 1,30 m. Ils ne sont envisageables que si l'on souhaite déterminer l'âge de la tige. Cependant, plus la hauteur de prélèvement est basse, plus les cerne proches de l'aubier sont déformés par l'emparlement et l'élargissement des cerne vient perturber le signal environnemental que l'on souhaite mettre en évidence. Par ailleurs, les cerne de cœur sont affectés par des phénomènes de concurrence initiale (cas des régénérations naturelles ou des plantations mal entretenues).

Il est de toute façon nécessaire de déterminer une hauteur de prélèvement de référence, identique pour tous les arbres du peuplement car, pour une année donnée, la largeur d'un cerne n'est pas constante du bas en haut de la tige. Par ailleurs, en situation contraignante, lors d'un épisode de sécheresse par exemple, le cambium est mieux alimenté en haut des tiges (plus proche de la couronne et donc des ressources carbonées) qu'à la base du tronc. Ainsi, plus les prélèvements sont effectués haut, plus le signal climatique est amoorti.

Dans le cas de prélèvement de rondelles, celui-ci peut aussi être effectué tout au long de la tige abattue pour permettre des « analyses de tiges » (reconstitution de la croissance en hauteur...).

* Nombre d'arbres échantillonnés

L'objectif visé conditionne la dimension de l'échantillon et les méthodes d'analyse, afin de maximiser le signal recherché par rapport au bruit de fond :

- si l'on souhaite caractériser finement la croissance d'un arbre en particulier, on a tout intérêt à y prélever plusieurs carottes pour mesurer les accroissements sur plusieurs rayons ;
- si l'on souhaite caractériser la croissance d'un peuplement, il convient de multiplier le nombre d'arbres échantillonnés (voire de statuts sociaux) pour intégrer les perturbations locales ;
- si l'on souhaite caractériser la croissance d'une espèce en fonction du climat, il est préférable d'échantillonner peu d'arbres par placette, mais sur un grand nombre de placettes ;
- si l'on souhaite étudier l'effet à long terme des changements climatiques, il faut de surcroît multiplier les gammes d'âge.

De manière générale, pour une placette expérimentale, on retiendra que :

- un échantillon de 10 à 30 arbres est suffisant pour caractériser une « croissance moyenne » (carottes ou rondelles) ;
- ces arbres doivent être bien répartis dans la placette afin de contrôler l'hétérogénéité stationnelle. Il est en effet préférable de ne pas carotter des arbres voisins pour minimiser l'impact des perturbations locales. La règle est la même pour un prélèvement de rondelles après coupe rase ;

- il vaut mieux prélever une carotte par arbre (à cœur) et multiplier les arbres échantillonnés plutôt que l'inverse, tout en contrôlant bien entendu la qualité de la carotte ;
- les arbres à carotter sont choisis, selon l'objectif, soit parmi les arbres dominants si l'on souhaite connaître l'évolution de peuplement dominant, soit parmi un échantillon construit de la même manière que pour la mesure de la hauteur moyenne (voir chapitre 1, page 56) afin d'étudier l'évolution de toutes les strates du peuplement.

* Récolte et traitement des échantillons

- Carottes

Le prélèvement de carottes est réalisé au moyen d'une tarière de Pressler qui permet l'extraction d'échantillons de 5 mm de diamètre. Une tarière standard de 40 cm de long est le plus souvent suffisante. Pour les bois tendres, on préconise des tarières à trois filets, et pour les bois durs des tarières à deux filets qui, contrairement aux premières, doivent être affûtées avant chaque utilisation.

Les tarières doivent être en parfait état, régulièrement affûtées. Le prélèvement peut être fait manuellement ou à l'aide d'une chignole à moteur thermique ou encore d'une perceuse sans fil pour les arbres à bois tendre.

Une attention particulière doit être portée du côté de l'écorce, afin de ne pas perdre le dernier cerne de croissance. Les carottes doivent être identifiées sur le terrain à l'aide d'un crayon gras (numéro d'identification, date de carottage, etc.). Elles peuvent être stockées dès l'extraction dans des boîtiers plastiques (type polycarbonate alvéolé).



© L. Bunnell (INRA)

Carottage à la tarière de Pressler.



© L. Bunnell (INRA)

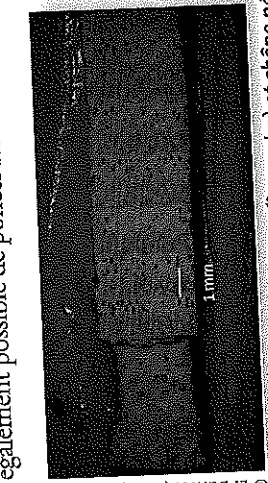
Carottes après extraction.

Chaque arbre doit être carotté à cœur à une hauteur de 1,30 m en évitant les éventuelles anomalies du tronc (méplat, empattement trop prononcé, cicatrice, etc.). Le carottage peut s'effectuer selon un azimut quelconque (qui sera noté) en situation plane, mais parallèlement aux courbes de niveau en situation de pente, pour éviter d'échantillonner le bois de compression ou de tension.

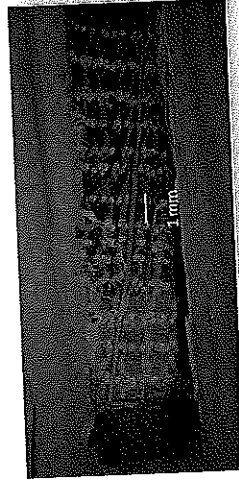
Le trou du sondage, rebouché ou non par un tourillon de bois traité (avec du mercurothiolate de sodium) et recouvert par un mastic horticoles, cicatrise aisément.

Les échantillons sont ensuite stockés en chambre froide (pour limiter le développement des moisissures) ou séchés à l'air libre (les carottes pourront être réhydratées par la suite par simple trempage).

La lecture des largeurs de cernes n'est possible que lorsqu'une surface de mesure a été préparée par « planage » : les carottes de sondage sont rasées à l'aide d'un cutter, selon un plan strictement perpendiculaire au fil du bois pour bien faire apparaître les structures anatomiques. Il est préférable de réaliser le planage sur des carottes fraîchement extraites, mais il est également possible de planer des carottes sèches après les avoir fait tremper une heure dans de l'eau tiède. Le planage au cutter présente l'avantage de ne pas patiner le bois et de ne pas boucher les orifices des vaisseaux. Ceci est important dans le cas des essences feuillues à bois homogène (pores diffus, nombreux et de petit diamètre), les cernes étant seulement soulignés par la présence d'une zone de fibres aplaties et à parois épaisses sur le bord extérieur du bois final. Pour les conifères, il est également possible de poncer les échantillons en utilisant un papier abrasif très fin.



© L. Bunnel (INRA)

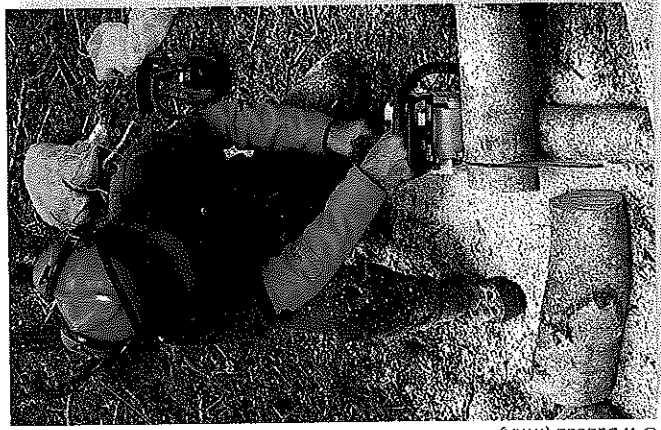


© L. Bunnel (INRA)

Carottes planées sur frêne (à gauche) et chêne pédonculé (à droite).

- Rondelles

Dans le cas de prélèvement de rondelles à 1,30 m ou tout au long de la tige, il est important de réaliser une coupe bien perpendiculaire au fil du bois et nette, afin d'éviter une seconde coupe à l'atelier ou un gros travail de rattrapage par ponçage en utilisant des grains de plus en plus fins. Une épaisseur de l'ordre de 5 à 6 cm est suffisante. Comme pour les carottes, les rondelles doivent être préparées avant la lecture des cernes par ponçage ou au cutter pour dégager un ou plusieurs rayons ou « chemins de lecture ». Dans le cas des arbres de gros diamètre, on peut recouper des « barreaux » d'une largeur de 5 à 8 cm selon un diamètre



© V. Bodeau (INRA)

Prélèvement de rondelle.

Lecture des cernes

La mesure des largeurs de cernes peut se faire sur le terrain à l'aide d'une forte loupe (méthode IFN pour mesurer les accroissements des 5 et 10 dernières années), ou au laboratoire avec, le plus souvent, une chaîne de saisie dédiée à cet usage qui permet d'obtenir des mesures précises¹.

Depuis quelques années, des outils plus conviviaux et moins chers sont disponibles. Les carottes et les rondelles peuvent être scannées, le choix de la résolution dépendant de la taille des cernes et de la précision souhaitée (de 800 à 2 400 pixels/pouce). Les images peuvent alors être traitées très simplement, mais avec rigueur et précision, à l'aide de logiciels² qui mesurent la largeur du cerne complet ou distinguent le bois initial et le bois final. Les données sont ensuite reprises par des logiciels de traitement d'information (interdatation par exemple) fournissant des courbes de croissance³.

- 1 Systèmes vidéo-informatisés (par exemple outils WinDendro : www.regentinstruments.com/products/dendro/DENDRO.html).
- 2 Par exemple: CooRecorder (<http://www.cybis.se/indexe.htm>). La version 7 de ce logiciel est vendue au prix de 54 € HT fin 2011 et une version d'essai gratuite est disponible (www.cybis.se/fortun/dendrobuy_SWREG/cdendrotrialver7.php).
- 3 Logiciel CDendro (vendu avec CooRecorder). À noter qu'un logiciel d'interdatation est distribué gratuitement par l'UMR 1137 INRA-UHP Écologie & Écophysiologie Forestières de l'INRA Nancy (contacter Jean-Luc Dupouey : dupouey@nancy.inra.fr).

moyen, pour faciliter la manipulation, le séchage et le stockage des échantillons. Si une marque d'orientation a été faite avant l'abatrage, elle doit être bien visible sur la rondelle. L'identité de la rondelle sera reportée sur sa face inférieure, avec un crayon indélébile ou une craie forestière et doit être très lisible.

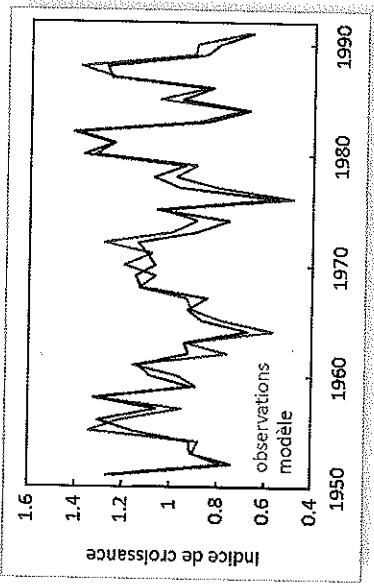
L'analyse de rondelles à différents niveaux permet de mieux caractériser la variabilité de croissance intra-arbre, mais c'est en général au détriment du nombre d'arbres échantillonnés (d'un point de vue statistique, il est préférable de mesurer 100 arbres différents que 10 arbres à 10 niveaux). La chronologie de croissance moyenne d'un arbre sera obtenue par le calcul de la moyenne quadratique (= racine carrée de la moyenne des carrés) des largeurs de cernes mesurées sur différents rayons.

Analyses

À l'aide des outils présentés ci-dessus et d'un tableur, il est possible de mettre en évidence quelques indicateurs de la croissance passée des arbres (évolution de la surface terrière par exemple) et de détecter des « années caractéristiques », c'est-à-dire des années où la majorité des arbres (classiquement 80 %) présentent des différences de croissance synchrones par rapport à l'année précédente (classiquement $\pm 10\%$). Ces années caractéristiques marquent généralement des conditions climatiques particulières (mais aussi d'autres phénomènes comme par exemple les éclaircies ou des attaques d'insectes).

Pour des analyses plus poussées, notamment dendroclimatiques, d'autres logiciels plus sophistiqués sont nécessaires¹. À ce niveau d'investigation, il est très fortement conseillé d'établir un partenariat avec une structure de recherche ou un bureau d'étude privé maîtrisant les outils et méthodes de la dendrochronologie. De telles analyses ne se font pas sur des largeurs de cernes brutes mais sur des indices de croissance calculés selon des procédures propres aux questions posées et à la nature de l'échantillon.

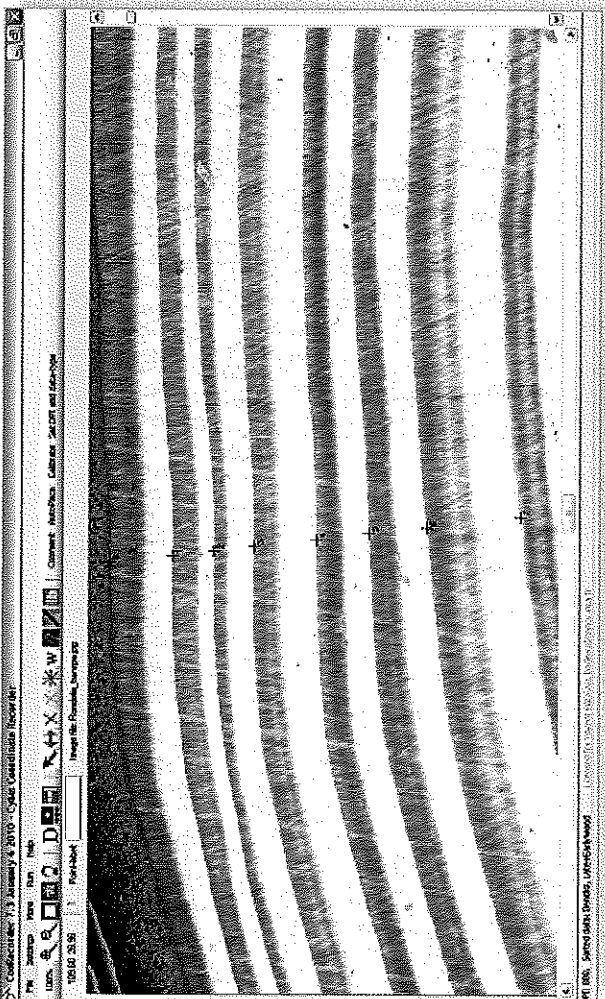
Croissance radiale du hêtre sur les plateaux calcaires de Lorraine (Badeau, 1995). La courbe rouge présente les variations interannuelles de croissance, la courbe bleue correspond au modèle dendroclimatique. Le modèle utilise les déficits hydriques (calculés avec Biljou©) de l'année en cours et de l'année précédente ; il permet d'expliquer plus de 70 % des variations interannuelles de croissance (au lieu de 20 %, si on utilise uniquement les précipitations et 30-40 %, si on utilise les différences P-ETP).



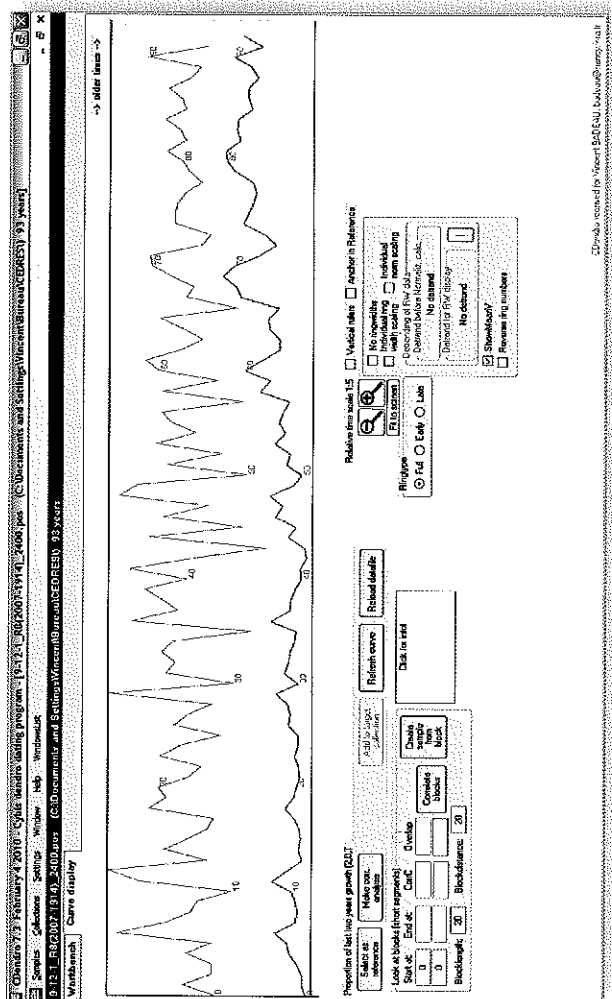
Source : V. Badeau (INRA)

La dendrochronologie permet d'obtenir rétrospectivement des données très précises sur les croissances passées des arbres, puis de les mettre en relation avec les variables météorologiques. Elle peut être appliquée soit sur peuplement sur pied après carottage, soit lors d'éclaircies ou de la coupe rase, après prélevement de rondelles.

1 Par exemple le logiciel DendroClim2002 ou les suites logicielles téléchargeables sur le site du laboratoire de dendrochronologie de Tucson : www.ideo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html.



Capture d'écran du logiciel de traitement d'images CoolRecorder.



Capture d'écran du logiciel CDendro traduisant les largeurs de cernes en courbes de croissance : en rouge une chronologie de référence, en vert un arbre en cours d'interdatation (recalage des années climatiques par rapport aux années calendaires).