

LES RÉPONSES OBSERVÉES DES ARBRES AUX VARIATIONS DU CLIMAT (CROISSANCE, PHÉNOLOGIE FOLIAIRE ET FRUCTIFICATION)

François Lebourgeois

AgroParisTech, Laboratoire des ressources Forêts-Bois

Nicolas Delpierre

Université Paris Sud, Laboratoire Écologie Systématique et Évolution



Comme vient de l'indiquer Myriam Legay, la démarche générale est d'abord d'observer, pour comprendre les mécanismes puis simuler les effets des évolutions climatiques. Je vais donc vous parler des réponses observées des arbres aux variations du climat. Cet exposé a été préparé avec Nicolas Delpierre et d'autres contributeurs dont vous voyez ici les noms.

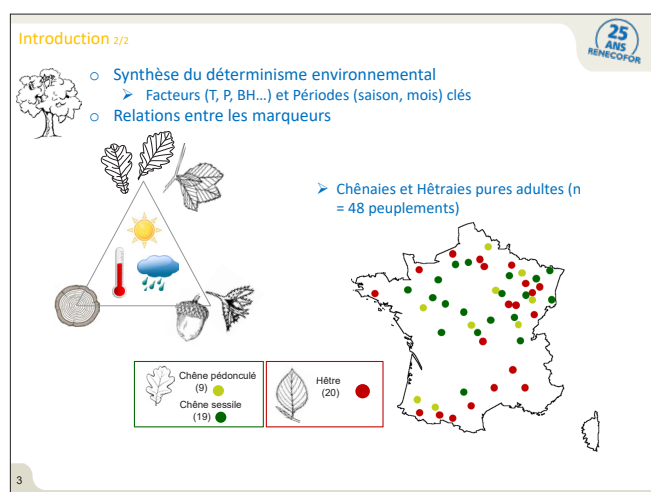
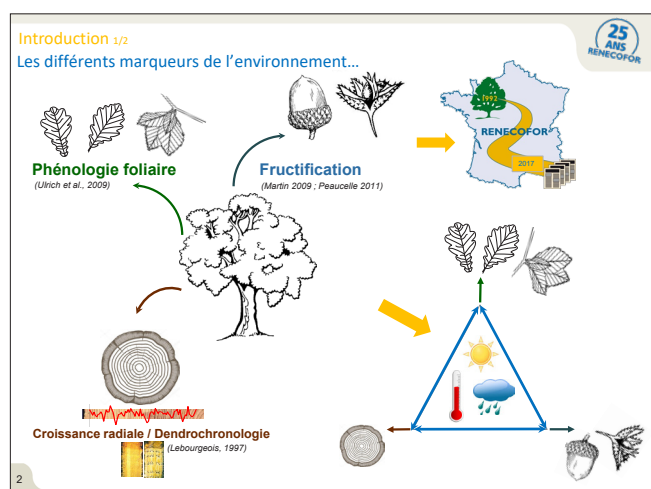
Évaluer et comparer les réponses au climat des différents aspects du fonctionnement des arbres

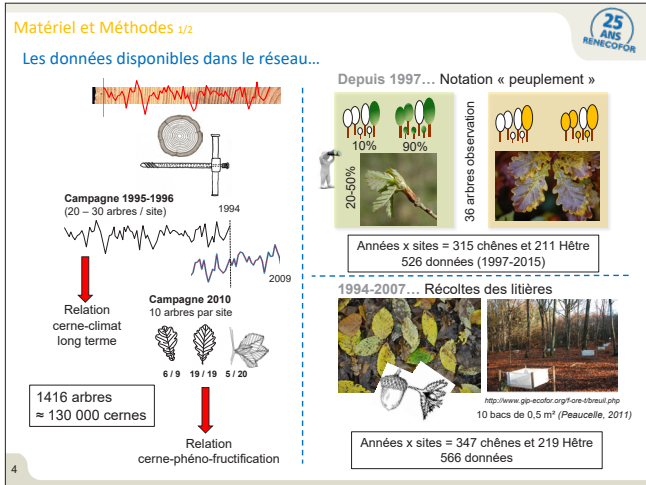
Quand on travaille sur les écosystèmes forestiers et les arbres, on a différents marqueurs des effets de l'environnement. Le premier, c'est la croissance radiale, le cerne annuel : le fonctionnement saisonnier des arbres est tel qu'en étudiant la croissance on peut étudier l'effet des paramètres environnementaux. Le deuxième marqueur, c'est la phénologie foliaire, à travers des dates de débournement et des dates de sénescence. Et le troisième marqueur dont on dispose c'est la fructification, exprimée en données de biomasse ou de quantité de fruits.

On a la chance extraordinaire, dans le réseau RENECOFOR, d'avoir l'ensemble de ces données depuis de nombreuses années, grâce à quoi on peut étudier le déterminisme environnemental de l'ensemble de ces marqueurs. On peut les étudier isolément (ils dépendent du climat, du temps qui fait, de la température, des pluies, etc.) et on peut aussi essayer de mettre en évidence les relations qu'il peut y avoir entre eux.

L'objectif de cette présentation, c'est de proposer une synthèse du déterminisme environnemental de ces différents marqueurs en essayant de dégager les facteurs-clés, les périodes-clés (la saisonnalité de ces variations) et de trouver des relations entre les différents facteurs.

Je me limiterai, faute de temps, aux résultats qui concernent les peuplements feuillus du réseau, hêtraies et chênaies, soit 20 peuplements de hêtre et 28 peuplements de chênes, donc 48 peuplements.



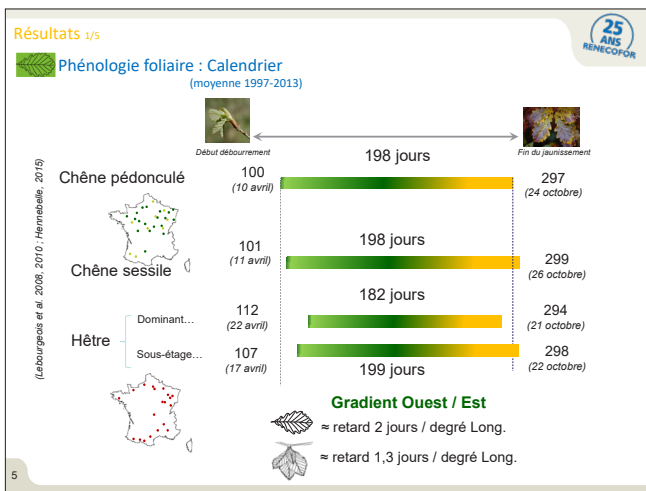


Les sources de données RENECOFOR

En ce qui concerne la croissance radiale, on dispose de deux jeux de mesures : une première campagne dans les années 90, qui a permis d'étudier les relations cerne-climat sur de larges échelles et une deuxième campagne de carottages en 2010 qui a permis plus précisément d'étudier les relations entre les cerne, la phénologie et les fructifications. Ce qui donne un pool de données d'à peu près 1 500 arbres et 130 000 cerne. L'analyse est donc basée sur un nombre important de données.

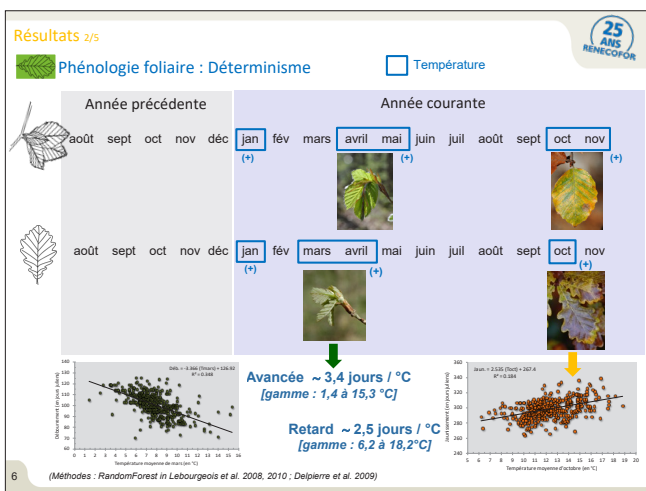
Pour la phénologie, les correspondants du réseau font depuis 1997 des notations de peuplements indiquant le stade observé et le pourcentage d'arbres présentant ce stade. Sont ainsi notés le débournement et le jaunissement. Donc si on associe les observations années et sites, on dispose d'environ 600 données, ce qui est déjà énorme par rapport à ce qu'on peut avoir dans d'autres types de réseaux. Enfin les données de fructification sont issues de la récolte des litières ; là encore, ça fait à peu près 600 données en couplant année et site.

C'est à partir de ces données que nous avons obtenu les résultats que je vais vous présenter ; mais je ne vais pas du tout parler de la méthodologie ni des types d'analyses.

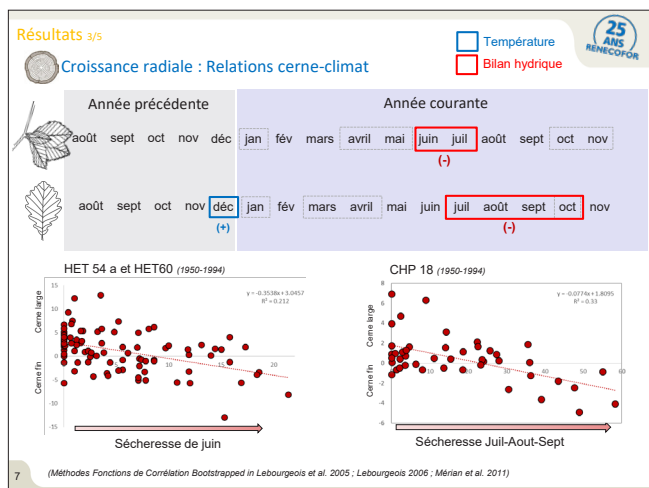


Que savons-nous maintenant de la variation et du déterminisme de ces marqueurs environnementaux ?

Commençons par ce qui concerne la **phénologie** foliaire : la variabilité et le calendrier phénologique. Globalement, en moyenne sur la période (1997-2013), la saison de végétation dans les chênaies dure environ 200 jours avec un débournement mi-avril et une sénescence (avec jaunissement complet) fin octobre. La saison de végétation des hêtraies est un peu plus courte, de l'ordre de 20 jours. Dans le détail, on observe aussi des gradients très marqués entre l'ouest et l'est de la France, avec des variations de l'ordre de 2 jours par degré de longitude pour les chênes et de 1,3 jour par degré de longitude pour les hêtres. Donc un débournement qui est d'autant plus retardé qu'on est dans l'Est de la France.



Essayons maintenant de comprendre le déterminisme environnemental de la phénologie, en examinant les conditions climatiques de l'année précédente et l'année courante. Il s'avère que la phénologie foliaire dépend très fortement du régime thermique. Pour les hêtres, les périodes clés sont centrées sur ce qui se passe en janvier, puis en avril-mai de l'année courante, avec un effet positif des températures ; pour la sénescence, c'est plutôt ce qui se passe en octobre-novembre (rien de très original). Chez les chênaies, on voit aussi un effet de ce qui se passe hors saison de végétation, au mois de janvier, mais le déterminisme du débournement est plutôt lié à ce qui se passe en mars-avril : si on fait une régression simple entre la température de mars et la date du débournement, on a globalement 3,4 jours d'avancée pour une augmentation de 1 °C. Concernant la sénescence, on a également un effet des températures d'octobre et là, si on fait la corrélation très simple entre la température d'octobre et la sénescence, on remarque qu'il y a un retard de 2,5 jours par degré.

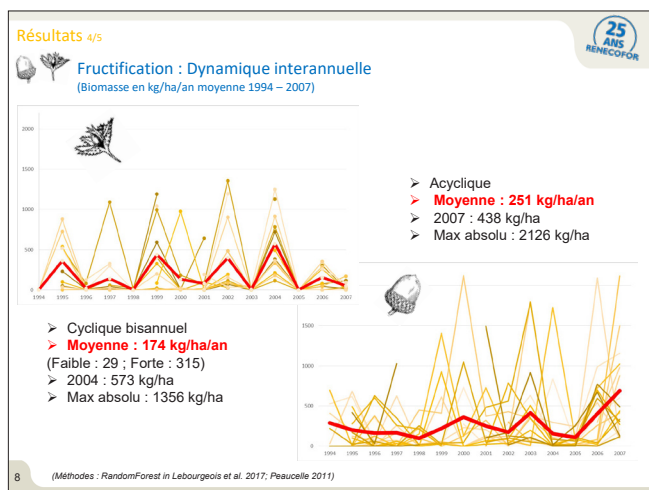


Passons aux résultats sur **la croissance radiale**...

J'ai laissé en grisé les périodes clés pour le marqueur précédent (la phénologie).

Pour le hêtre, c'est facile : la variabilité de la croissance radiale des hêtraies est essentiellement liée à la sécheresse et donc au bilan hydrique de début d'été, juin-juillet. C'est-à-dire que des sécheresses en juin et en juillet vont aboutir à la mise en place d'un cerne fin.

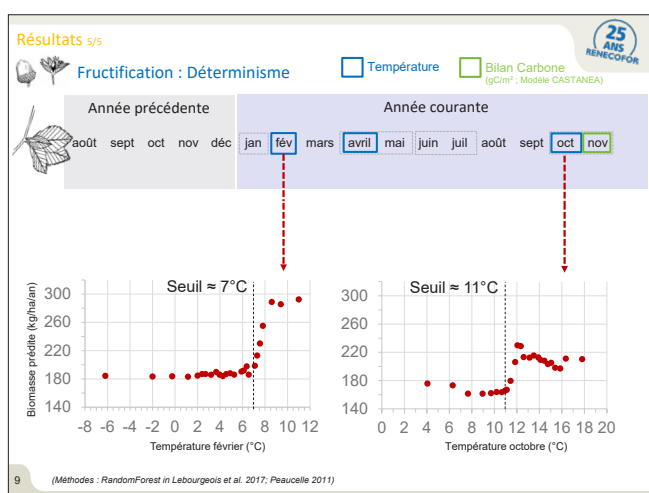
Pour les chênaies, les modèles sont plus compliqués, moins explicatifs et surtout on observe une plus grande variabilité du déterminisme des variations de croissance radiale. Globalement la variation de la croissance radiale est liée au déficit hydrique sur l'ensemble de la saison (juillet, août, septembre et jusqu'à octobre). Là encore, des sécheresses importantes en période estivale aboutissent à une réduction de croissance. On observe aussi très souvent en chênaie des effets thermiques hors saison de végétation, donc en période hivernale.



Venons-en à **la fructification**, avec des résultats assez originaux. Concernant la dynamique interannuelle, d'abord. On observe, sur la fructification des hêtraies du réseau RENECOFOR, un cycle bisannuel très net avec une forte fructification tous les 2 ans ; la production moyenne de faines est d'environ 180 kg par hectare et par an avec une très forte variabilité entre les années, et un maximum de presque 600 kg/ha en moyenne en 2004 (donc après la sécheresse de 2003). Le maximum absolu observé est de l'ordre de 1400 kg/ha.

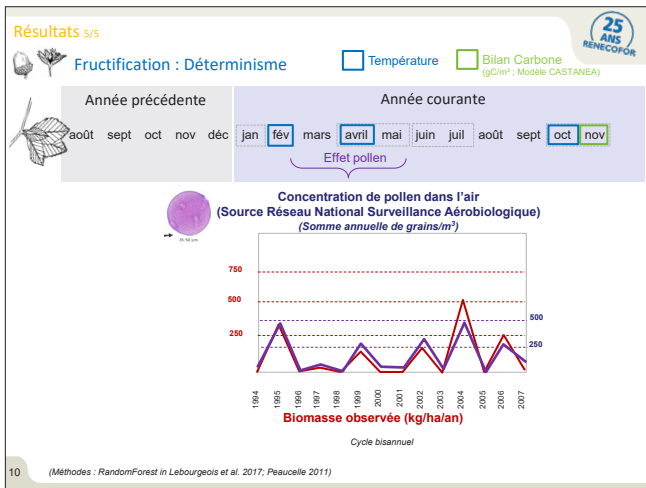
Chez le chêne, c'est totalement différent. La production de glands est très variable d'une année sur l'autre et d'un peuplement à l'autre ; aucune cyclicité n'est visible. En moyenne, la production de glands est à peu près de 250 kg par hectare et par an, mais là encore c'est très variable. On peut avoir une année où il n'y a quasiment pas de glands, suivie par des années de forte fructification. L'année record a été l'année 2007 : c'était une année avec un printemps extraordinaire caractérisé par des températures très élevées. Le maximum absolu est de 2 tonnes/ha.

En résumé pour la dynamique interannuelle de fructification, les deux espèces ont des traits très différents.



Pour ce qui est du déterminisme, je reviens à mon schéma global où j'ai laissé en grisé ce qu'on a observé précédemment. Le déterminisme de la fructification est essentiellement lié à la température. Dans les modèles on a aussi pris en compte des sorties de bilan carbone, c'est-à-dire des grammes de carbone fixé par m² de sol (issus d'un modèle spécifique), pour voir si ça jouait sur la biomasse ou la quantité de fruits récoltés.

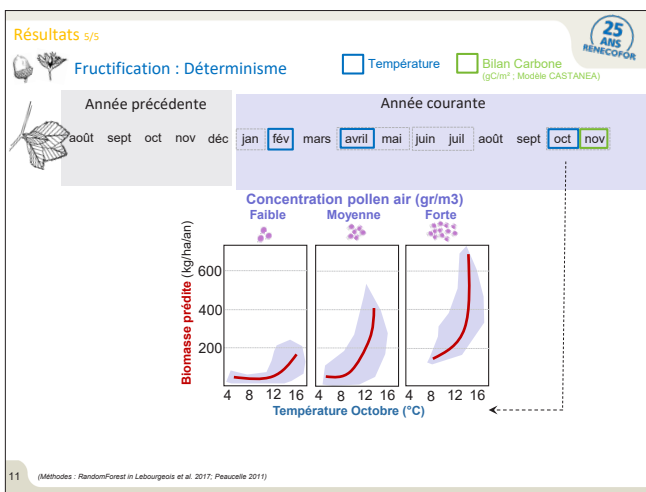
Sur les hêtraies, on observe que le déterminisme de la fructification est d'abord très lié aux conditions thermiques de 3 périodes : période hivernale (février) puis avril et octobre. Mais on voit aussi un effet important du bilan carbone pour le mois de novembre : plus la hêtraie fixe de carbone pendant cette période, plus la biomasse de fruits est importante. Les modèles utilisés permettent de mettre en évidence des effets-seuil ; c'est-à-dire qu'on est capable de dire à partir de quand le paramètre joue très fortement. Prenons comme exemple la température de février : on observe que, quand la température de février est supérieure à 7 °C, la capacité prédictive des modèles est fortement augmentée, avec un saut très important de qualité de prédiction. Même chose pour la température d'octobre, avec un seuil autour de 11 °C. Sur les graphiques, avec en abscisse la température et en ordonnée la biomasse prédite par les modèles, on voit bien ces effets seuil sur la prédiction de ces paramètres environnementaux.



Par ailleurs, Nicolas Delpierre s'est dit que la fructification doit dépendre aussi un peu du pollen. Comme on a la chance d'avoir en France un réseau national de surveillance aérobiologique qui récolte des grains de pollen, nous avons introduit dans nos modèles une variable quantité de pollen. Je passe sur les détails, et je vous montre ici la courbe de concentration de pollen de hêtre observée dans l'air pour les années correspondant aux données de fructification (en violet). On y voit le même rythme bisannuel que pour la fructification, avec des variations, et si on superpose avec la biomasse observée (en rouge), on a un parallélisme frappant entre la quantité de pollen observée et la fructification (biomasse ou quantité). C'est donc un paramètre qui marche très bien et qui s'avère être le paramètre essentiel pour expliquer le déterminisme de la fructification.

Et là aussi on peut mettre en évidence des effets seuil. Ce graphique représente en ordonnée la biomasse prédite par le modèle et en abscisse la température du mois d'octobre, en fonction de la concentration observée en pollen dans l'air (faible, moyenne ou forte). Pour les faibles concentrations, quelles que soient les conditions d'octobre, la biomasse prédite par le modèle sera faible. Pour des concentrations de pollen moyennes (graphique du milieu), l'effet seuil de la température d'octobre (11°) sur la fructification s'exprime nettement : plus il y a de pollen, plus l'effet seuil de la température est important. Pour les fortes concentrations de pollen et les températures d'octobre élevées, on aura des fructifications très importantes.

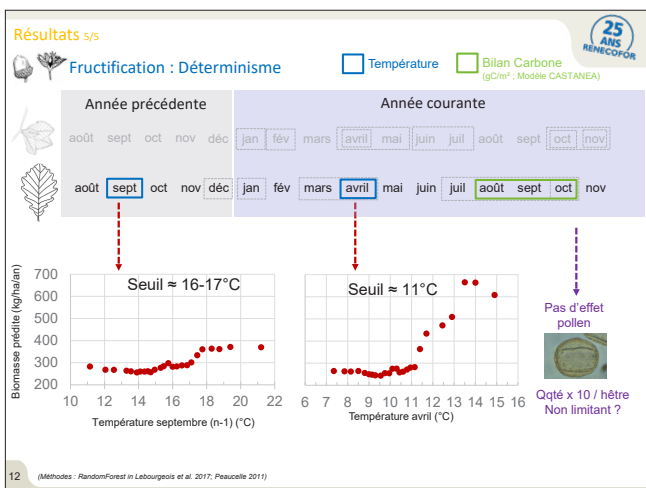
Il y a donc une relation étroite entre les différents paramètres et le type d'analyse qu'on a fait permet de mettre en évidence ce genre de chose.

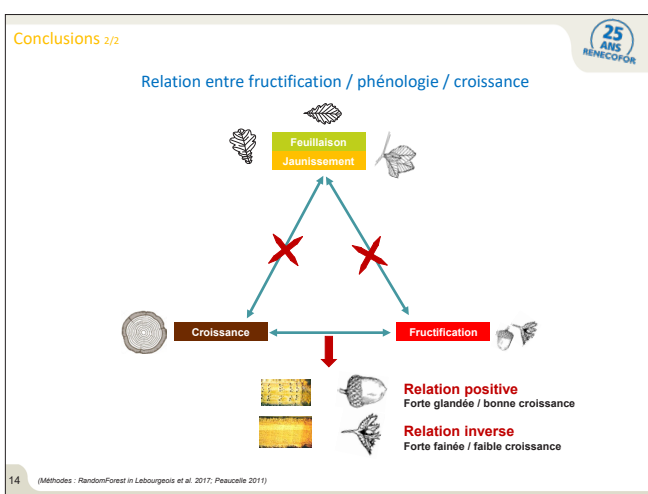
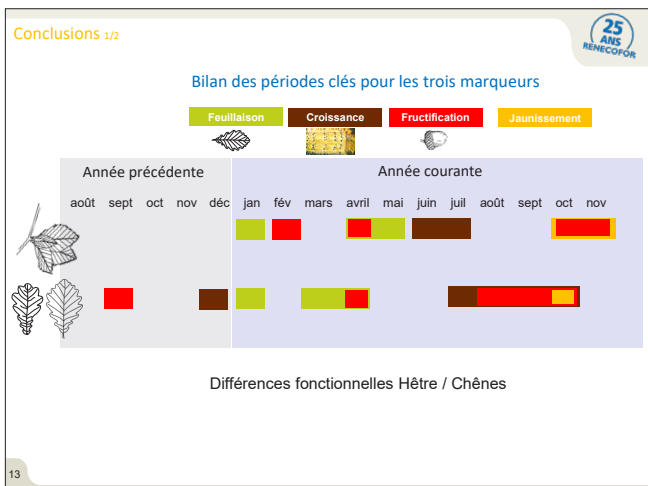


Dans le cas des chênaies, on retrouve, comme pour la croissance, un effet des paramètres de l'année précédente (septembre) et des conditions du mois d'avril sur la fructification. On voit aussi que le bilan carbone de fin de saison interagit fortement sur la biomasse ou la quantité de glands produits.

Pour la température du mois de septembre de l'année précédente on observe un seuil autour de 16-17 °C, avec un effet qui n'est pas énorme mais tout de même très significatif. Par contre, pour la température d'avril de l'année courante, on a un seuil autour de 11 °C avec un effet très fort sur la production de glands. C'est-à-dire que les années de printemps chaud vont donner des glandées abondantes.

Nous avons aussi exploré l'effet du pollen mais, contrairement au cas du hêtre, nous n'avons pu mettre en évidence aucun effet pollen chez le chêne. Il se trouve que la quantité de pollen récoltée au niveau du suivi aérobiologique est beaucoup plus importante (x10) pour le chêne que pour le hêtre ; nous émettons donc l'hypothèse que le pollen ne serait pas limitant pour le chêne. Mais ça reste à discuter ; peut-être y a-t-il d'autres explications, peut-être que nos modèles ne sont pas bons sur cet aspect.





Perspectives et remerciements

- Analyses sur les autres espèces avec des approches intégratives des différents marqueurs
- Maintenir le réseau qui fournit des données uniques !
- Un immense merci aux collaborateurs sans qui rien ne pourrait être réalisé

15

Faisons le bilan

J'ai récapitulé en vert ce qui agit sur la feuillaison, en marron ce qui agit sur la croissance, en rouge sur la fructification et en jaune sur le jaunissement : le schéma qui en ressort est assez différent entre les hêtraies et les chênaies. Pour les hêtraies, le déterminisme lié à l'ensemble de ces facteurs environnementaux réside essentiellement dans l'année en cours, alors que pour les chênaies il y a un certain nombre d'arrière-effets de l'année précédente qui vont jouer sur la croissance ou la fructification. Donc on a un déterminisme assez différent, avec des périodes-clés différentes. Ces deux espèces vont donc fonctionner différemment, c'est à peu près clair maintenant.

Pour finir, parlons des relations entre fructification, phénologie et croissance. Nous n'avons pas réussi à mettre en évidence de relation entre croissance phénologie foliaire, ni entre phénologie foliaire et fructification. Par contre, nous constatons une relation entre croissance et biomasse des fruits. Cette relation est positive dans les chênaies, c'est-à-dire que les années à forte glandée sont aussi des années à forte croissance. Mais dans les hêtraies la relation est inverse, c'est-à-dire que les années à forte croissance sont des années de faible fainée et, inversement, quand la fainée est importante, la croissance est faible.

Il me reste dire ce que je pense du réseau RENECOFOR

J'étais là presque au début du réseau et, en un mot, RENECOFOR m'a permis de faire ma carrière scientifique : 90% de mes travaux de recherche depuis 25 ans, je les ai faits dans le cadre du réseau RENECOFOR, et je l'en remercie. Au-delà de mon cas personnel, il est pour moi essentiel de maintenir ce réseau qui marche bien, depuis très longtemps, et qui fournit des données uniques. J'ajoute, comme je le dis souvent à mes étudiants, que « tout seul on va plus vite, mais ensemble on va plus loin » : je pense très sincèrement que sans vous, les observateurs, nous les scientifiques ne pourrions pas avancer. Beaucoup de scientifiques et moi en particulier. Je tenais donc à vous en remercier.



Photo : INRA

Les débuts de F. Lebourgeois avec RENECOFOR (étude dendrochronologique, 1996)