



**HAL**  
open science

# Les forêts et la filière forêt-bois dans la lutte contre les changements climatiques

Christine Deleuze, Jean-François Dhôte

► **To cite this version:**

Christine Deleuze, Jean-François Dhôte. Les forêts et la filière forêt-bois dans la lutte contre les changements climatiques. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2019, 61-62, pp.22-32. hal-03183650

**HAL Id: hal-03183650**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03183650>**

Submitted on 11 Jul 2024

**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.

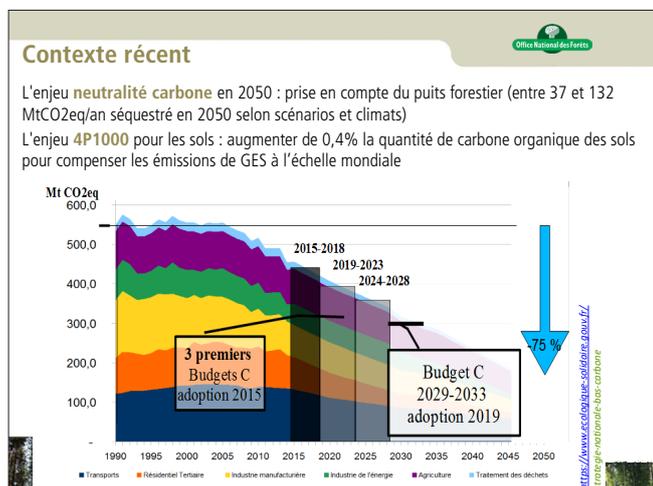
# LES FORÊTS ET LA FILIÈRE FORÊT-BOIS DANS LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

**Christine Deleuze**

ONF, cheffe du pôle RDI de Dole

**Jean-François Dhôte**

Chercheur à l'INRA, UR AGPF



**Il est question ici du bilan qu'on peut faire du rôle de la filière forêt-bois dans l'atténuation du changement climatique. On parle bien de filière forêt-bois et pas seulement de forêt ; nous allons voir pourquoi c'est important.**

La première partie de cet exposé s'attache à expliquer un ensemble de notions nécessaires à la compréhension de la façon dont la forêt, la sylviculture et l'utilisation du bois peuvent agir sur le bilan carbone, sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Dans la deuxième partie, Jean-François Dhôte présente les enseignements marquants d'une étude prospective conduite par l'INRA et l'IGN à la demande du ministère de l'Agriculture.

## Éléments de contexte et enjeux

Rappelons d'abord les ordres de grandeur actuels des trois leviers d'action pour l'atténuation, les « 3 S » :

- la **séquestration en forêt** représente environ 15 % de nos émissions de GES ; ça correspond à l'augmentation de la biomasse forestière, au CO<sub>2</sub> additionnel ainsi puisé dans l'atmosphère et fixé par la photosynthèse ;
- le flux de **stockage dans les produits bois** est considéré comme nul, car le CO<sub>2</sub> immobilisé dans les charpentes, parquets et autres usages est à peu près stable dans le temps, en régime permanent ;
- par contre, l'utilisation de **produits bois en substitution** d'autres matériaux génère un flux d'émissions évitées dont l'ordre de grandeur correspond à 5 à 9 % de nos émissions effectives.

On voit d'emblée que si la forêt française se stabilise en surface, le flux de séquestration va s'amenuiser à mesure qu'elle progressera en capital sur pied. À terme, cette forêt sera globalement à l'équilibre et la séquestration s'annulera. Il faut donc vraiment réfléchir aux produits.

Abordons maintenant les éléments de cadrage politique, très liés aux conventions internationales, pour bien comprendre comment se présentent les enjeux de l'atténuation. Ce graphique montre l'évolution des émissions françaises de GES, mesurées depuis les années 90 (protocole de Kyoto) par grand secteur économique.

À partir de 1990, on voit d'abord que la prise de conscience permet de stabiliser les émissions alors que l'activité générale continue d'augmenter ; mais ça ne suffit pas, les quantités restent énormes. Au début des années 2000, les pays occidentaux s'en sont alarmés et se sont dit qu'il fallait faire beaucoup plus. Ils ont lancé le principe du « facteur 4 » : diviser par 4 les émissions de GES à l'horizon 2050 par rapport au niveau de 1990, soit une réduction de 75 % (c'est la flèche turquoise). La France se donne cet objectif, et c'est le tout début de l'inflexion de ses émissions, mais on voit que la projection est drastique, qu'il va falloir faire de très gros efforts.

En 2015, à l'occasion de la COP 21 à Paris, la France met en place sa « Stratégie nationale bas carbone », avec des objectifs un peu plus ciblés, des priorités d'action, etc. C'est ce que représentent les rectangles noir et gris pour les 3 premières périodes.

En juillet 2017, le ministre Nicolas Hulot déclare qu'il faut être bien plus volontaire et que l'ambition pour 2050 n'est pas de réduire de 75 % mais de 100 % : c'est la neutralité carbone. Or ce n'était déjà pas très bien parti pour -75%... la tâche est donc ardue. Cependant il libère un peu les contraintes en annonçant qu'on prendra désormais en compte les flux négatifs, c'est-à-dire la séquestration. Actuellement, la séquestration en forêt compense environ 15 % de nos émissions, ce qui va permettre de tamponner un peu les 25 % manquants. Mais l'important pour nous est de savoir que la contribution de la forêt (séquestration et émissions

évitée par substitution), qui était ignorée jusqu'ici, sera désormais prise en compte dans le bilan, selon un compromis qu'il faut imaginer et discuter dans un ensemble cohérent séquestration/substitution.

Enfin vous avez peut-être entendu parler de ce qu'on appelle le « 4 pour 1000 » (4P1000). C'est une initiative politique proposée par Stéphane Le Foll au niveau international lors de la COP 21 : si tous les pays faisaient un effort pour augmenter de 0,4 % par an la quantité de carbone dans tous les sols, ça permettrait de compenser complètement les émissions de GES au niveau mondial. L'initiative vise d'abord à promouvoir les bonnes pratiques qui permettent, grâce à la matière organique, de restaurer ou maintenir une certaine fertilité dans les sols agricoles et de soutenir les productions (et la sécurité) alimentaires ; mais elle concerne tous les sols, dont les sols forestiers.

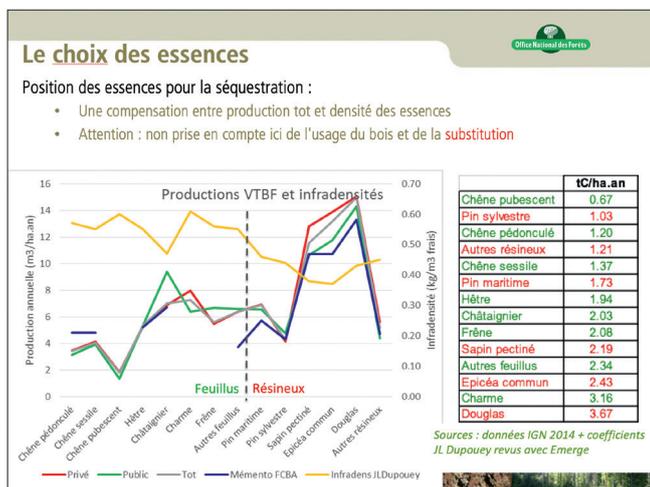
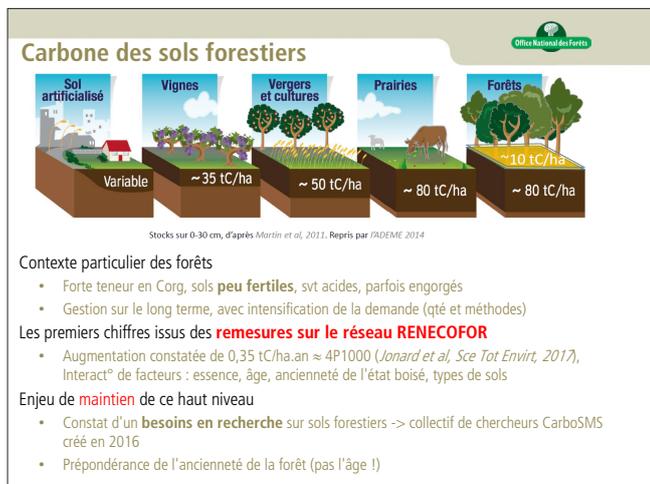
## Quelques éléments de compréhension

Concernant cette **séquestration dans les sols forestiers**, on a encore très peu d'éléments ; les travaux dans ce domaine sont très récents. On sait tout de même que les sols forestiers contiennent bien plus de carbone que les autres sols : environ 90 tonnes de carbone à l'hectare soit 2 à 3 fois plus que les grandes cultures et les vignes et beaucoup plus que les sols urbains. Et encore cette estimation ne tient-elle compte que des 30 premiers centimètres. Ces sols sont souvent fragiles ; s'ils ont beaucoup de carbone c'est aussi parce qu'ils sont acides et parfois engorgés. Or les enjeux de l'atténuation conduisent à une intensification de la demande de biomasse (bois énergie ou matériau de substitution) et des méthodes pour la récolter. Il faut donc veiller à la protection des sols, à la fois pour l'adaptation des forêts et au titre des mesures d'atténuation (biomasse, carbone du sol) ; il faut faire attention au tassement et aux exportations minérales.

Le réseau RENECOFOR a été le premier à apporter des éléments chiffrés sur l'évolution des stocks de carbone dans les sols forestiers au niveau national. Grâce à ses remesures (2<sup>e</sup> campagne « sols » environ 15 ans après la 1<sup>re</sup>) on a démontré que, sur l'ensemble des 100 sites, ce stock de carbone a augmenté en moyenne de 0,35 tonnes par hectare et par an ; ce qui équivaut quasiment, mais c'est une coïncidence, à +0,4 %/ha/an (4P1000). Même si le réseau n'est pas représentatif de l'ensemble de la forêt française, c'est un résultat significatif. Cependant il reste à comprendre comment les sols forestiers, qui contiennent déjà beaucoup de carbone, continuent d'en absorber. Un énorme effort de recherche est lancé sur ces questions depuis 2016. Pour l'instant, le facteur explicatif prépondérant serait l'ancienneté de la forêt (à ne pas confondre avec l'âge du peuplement) ; les sols de reconquête forestière après un passé agricole plus ou moins lointain ne seraient pas encore à l'équilibre pour le carbone.

Passons à la **séquestration dans la biomasse** avec pour commencer la question du **choix des essences** : quelles sont celles qui séquestrent le plus de carbone ?

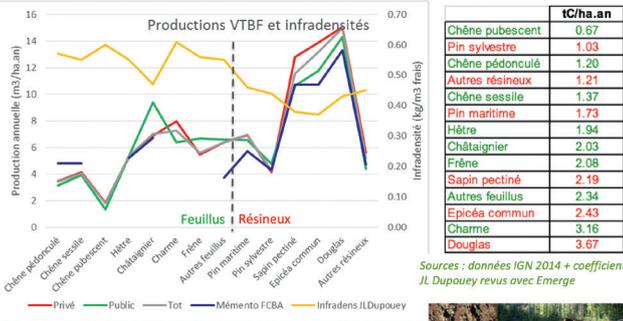
Je propose de comparer les essences sur la base des quantités de carbone fixé par hectare et par an. Sur ce graphique, j'ai reporté les informations de croissance annuelle (en m<sup>3</sup>/ha/an) pour les différentes essences indiquées « en abscisses » : les informations de l'inventaire forestier (extraction 2014), pour l'ensemble des forêts (en gris) ou en séparant forêt publique (en vert) et forêt privée (en rouge), et les chiffres du mémento FCBA 2017 (en bleu). On voit qu'il y a des différences tranchées de productivité entre les feuillus (à gauche) et les résineux (à droite), et puis entre certains résineux et certains feuillus.



**Le choix des essences**

Position des essences pour la séquestration :

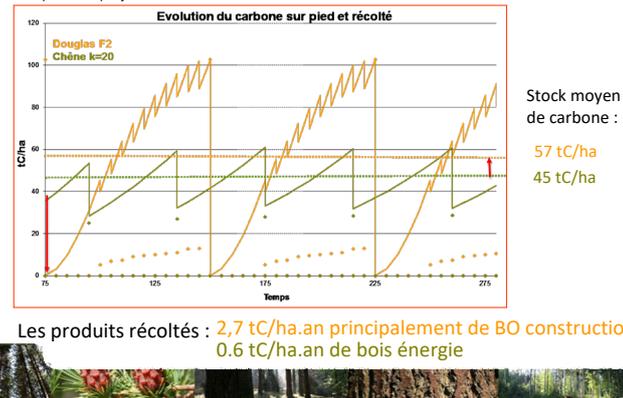
- Une compensation entre production tot et densité des essences
- Attention : non prise en compte ici de l'usage du bois et de la substitution



Pour finir j'ai confronté ces données de production à la densité, ou plus exactement à l'infradensité en kg sec par m<sup>3</sup> frais (courbe jaune, échelle de droite), selon les données de la base EMERGE moyennées pour la France. On voit bien que la densité contrebalance la production en volume ; que la biomasse sèche – et par conséquent la masse de carbone - est effectivement un compromis entre les deux. Mais plus précisément ? Quand on fait le bilan en tonnes de carbone par ha et par an en prenant tout en compte (branches comprises), on aboutit à une ordination des essences assez drastique. Les chênes sont assez mal classés ; je n'ai pas fait le calcul pour la chênaie ligérienne en futaie, qui est assez particulière, mais je ne pense pas que ça changerait grand-chose. Les pins sont à peu près au même niveau que le chêne : ils poussent un peu plus vite mais ils ont une densité bien plus faible. En revanche, les résineux de structure (sapin, épicéa, et surtout Douglas) ont une densité encore plus faible mais une croissance si forte qu'ils sont intéressants en termes de carbone séquestré potentiellement par hectare et par an. Noter enfin le cas du charme, dont la croissance est forte pour un feuillu et qui est très dense : il a un potentiel carbone très important.

**Le temps forestier sur une parcelle**

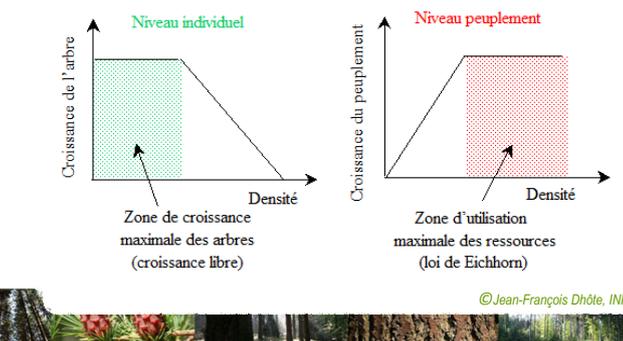
Exemple d'un projet "carbone" : "dette" ou "investissement" C



Se pose ensuite la question du **choix des cycles et itinéraires de production**. L'idée est ici de donner des éléments de réflexion qui vont vous aider dans l'interprétation carbone des différentes options de gestion. Voici l'exemple très concret d'un *projet carbone* imaginant ce que donnerait l'installation de Douglas (en orange) par rapport à un taillis-sous-futaie (TSF) appauvri de chêne (en vert) : un peuplement peu productif qui a été géré de façon extensive. On a modélisé l'évolution du stock de carbone sur pied au fil du temps sur plusieurs cycles. Dans l'option poursuite du TSF, la 1<sup>re</sup> coupe sera réduite, histoire d'en tirer par la suite un meilleur parti (bilan carbone) ; la biomasse sur pied reste relativement constante (45 tC/ha en moyenne), les produits sont modestes (0,6 tC/ha.an). L'autre option est beaucoup plus active : on rase le TSF pour planter du Douglas, puis on voit la croissance du peuplement, les éclaircies, une grosse récolte finale à 75 ans et ainsi de suite. En phase de croissance, le stock de carbone atteint des niveaux élevés, mais quel est le bilan ? Au départ, la suppression du TSF induit ce qu'on appelle une « dette carbone » (le terme est mal choisi) ; mais au bout d'un moment, et sur une durée assez longue, le stock de carbone dépasse largement ce qu'il serait en TSF. Ramené à la révolution, ou pour une forêt à l'équilibre, ça donne un stock moyen de 57 tC/ha, soit un gain de plus de 25 %. La transformation du peuplement est donc plutôt un « investissement carbone » qu'on pourrait envisager de faire coïncider avec une échéance normale de coupe de TSF, pour minimiser la perte de départ. En outre, la récolte moyenne est bien plus forte (2,7 tC/ha.an), avec surtout des bois de structure, donc une valeur d'utilisation et de substitution (économie d'acier, de béton) plus importante que les produits du TSF.

**Arbre vs. peuplement ?**

Les vieux arbres continuent à séquestrer, mais le bilan est à faire au niveau du peuplement !



Par ailleurs, on entend beaucoup dire que les gros arbres continuent à produire et à absorber du carbone, et qu'il vaut mieux les garder, allonger le cycle de production, parce que les jeunes en absorbent moins. Au niveau individuel, effectivement, les gros arbres absorbent plus de carbone que les petits. Mais c'est à l'échelle du peuplement qu'il faut faire le bilan. Dans une première phase, le peuplement s'installe et la croissance est assez libre et proportionnelle à la taille des arbres (croissance exponentielle) ; puis les arbres entrent en compétition et la croissance individuelle est ralentie tandis qu'au niveau du peuplement on arrive à l'utilisation maximale des ressources. Pour réfléchir au carbone forestier, c'est l'hectare de forêt qui est intéressant : sur un hectare, capter le plus possible de CO<sub>2</sub> c'est arriver au maximum de la production.

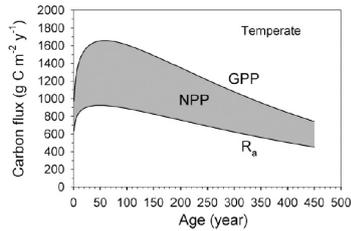
## Arbre vs. peuplement ?

À l'échelle du peuplement, la productivité photosynthétique nette passe par un maximum (Wang et al. 2011, J. Envir. Manag.)

- autour de 50-55 ans pour des feuillus
- autour de 35-40 ans pour des conifères

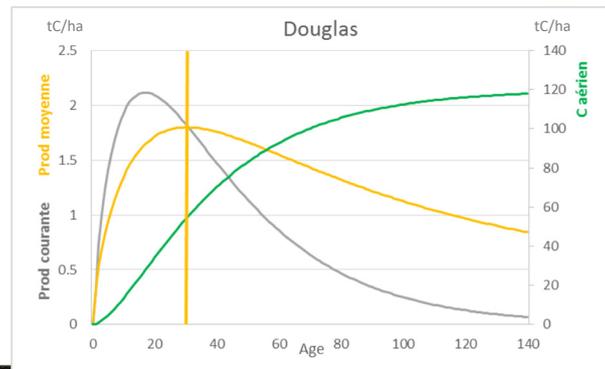
Attention à certaines études biaisées sur la croissance des vieilles forêts

- "oubli" des sites détruits
- effet fertilisant des dépôts azotés et du CO<sub>2</sub>



Tang et al., 2014, PNAS

## Maximum de production et GdS



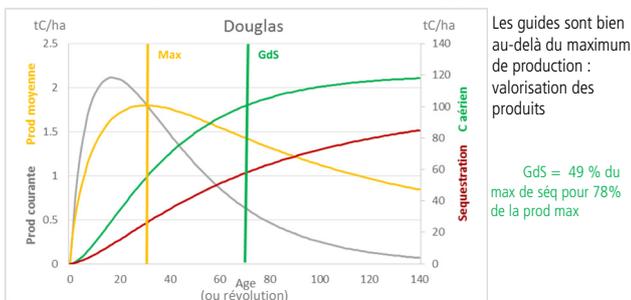
À l'échelle peuplement, la productivité potentielle évolue avec l'âge. C'est quelque chose qui se mesure sur les sites de suivi intensif très instrumentés. La productivité primaire brute (GPP), c'est-à-dire la masse de carbone assimilée par unité de temps, passe par un maximum puis décline progressivement. Pour la productivité primaire nette (NPP), il faut défalquer la respiration, qui diminue dans cet exemple mais qui est souvent stable ou peut augmenter ; dans tous les cas, la productivité nette passe aussi par un maximum. Et ce maximum est autour de 50-55 ans pour les feuillus, 35-40 ans pour les conifères. J'ajoute sur ce point que certaines études sur la croissance des vieilles forêts concluent que les peuplements vieillissent continueraient à séquestrer, que ce soit en France ou en Allemagne ; mais il y a de gros problèmes méthodologiques ou biais dans ces études, qui ne prennent en compte ni les dépôts azotés, ni l'effet « fertilisant » du CO<sub>2</sub>, et qui n'incluent pas dans les analyses les sites détruits par les tempêtes, etc.

Je continue sur la notion de productivité pour aborder la question de l'âge d'exploitabilité, avec ces courbes de dendrométrie classique bien connues des forestiers ; ce sont en l'occurrence les courbes du Douglas, exprimées non pas en volume mais en carbone. En vert, c'est la courbe de croissance du peuplement (échelle de droite). En gris, c'est la courbe de l'accroissement courant, qui passe assez tôt par un maximum. Et en jaune, c'est l'accroissement moyen du peuplement, avec un maximum au moment où les deux courbes se croisent.

Rappelons d'abord que l'âge d'exploitabilité fixé dans les guides de sylviculture (GdS) est bien au-delà de ce qui correspondrait au maximum de production, car il s'agit surtout d'optimiser la valorisation des produits bois. Valorisation au sens économique, mais qui est essentielle aussi du point de vue du bilan carbone, en ce sens qu'elle intègre la valeur de substitution : dans le cas du Douglas, on vise les produits de structure, qui ont une forte valeur de substitution.

J'ai ajouté ici, en rouge, la courbe « séquestration », qui représente le stock moyen de carbone sur pied, en fonction de la durée de révolution, pour une forêt à l'équilibre. Pour une révolution de 40 ans, par exemple, ce stock moyen sur pied est d'environ 40 tC/ha ; pour une révolution beaucoup plus longue, de l'ordre de 70 ans, il avoisine 60 tC/ha. Cela permet une nouvelle lecture du compromis sur l'âge d'exploitabilité, dans le contexte de l'atténuation : en allongeant encore la révolution on augmente la séquestration sur pied, mais on perd en flux vers les produits, vers la substitution. Ici, la décision du guide (70 ans) correspond à environ 50 % du maximum de séquestration moyenne (le maximum, c'est si on ne fait plus rien sur la forêt) et à 80 % de la production maximale. Ce compromis est par définition modulable, mais il ne faut pas perdre de vue qu'en augmentant la révolution, on va avoir un capital sur pied très important et une plus grande difficulté à réagir à toute l'instabilité dont a parlé Myriam Legay.

## Maximum de production et GdS



Les guides sont bien au-delà du maximum de production : valorisation des produits

GdS = 49 % du max de séq pour 78 % de la prod max

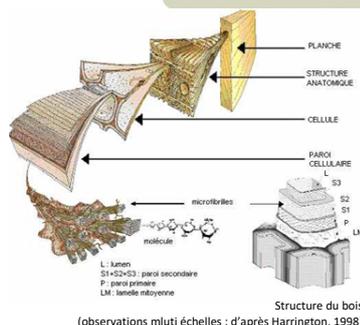
Compromis entre un haut niveau de séquestration et une production forte  
Diminuer la production réduit le stockage et la substitution  
Réfléchir la production en terme d'effets de substitution des produits  
Accroître la séquestration augmente l'exposition des peuplements et diminue leur résilience

## L'enjeu de substitution

Le bois, un matériau polyvalent

- Construction, aménagement
- Tonnellerie, menuiserie,
- Caisserie, emballage
- Fibres cellululosiques, celluloses
- Produits chimiques, pharmaceutiques

Substitution BO > BI > BE mais...



Structure du bois  
(observations multi échelles : d'après Harrington, 1998)

Pour terminer, je voudrais insister sur l'enjeu de substitution. Pour l'atténuation du changement climatique, le bois est un matériau de substitution qui a beaucoup d'atouts parce qu'il est polyvalent. On peut utiliser le bois brut ou le déstructurer plus ou moins et aller jusqu'aux molécules. Le bois peut donc déjà répondre à des besoins actuels ou émergents très divers : construction, tonnellerie et menuiserie, caisserie, fibres, pétrochimie, usages pharmaceutiques etc.

L'enjeu de substitution

Substitution BO > BI > BE mais...

Enjeu de la bioéconomie :

le bois comme usine à molécules carbonées longues

- extractibles, lignine pour les phénols
- nano-cristaux et nano-fibrilles de cellulose
- polyamides et polyesters d'hémicellulose pour la chimie des plastiques

Des enjeux de masse :

énergie (chaleur & électricité), papeteries, fibres pour les biocomposites, biocarburants

-> enjeu de récolte durable



INNOVER POUR LA CHIMIE DU BOIS

<https://www6.inra.fr/extraforest>



L'enjeu de substitution

Un matériau réutilisable : l'usage en cascade

- BE lié au BO et pertes sciages
- Distribution d'usages et durées de vie variables des produits
- Recyclages
- Fin de vie : en décomposition ou combustion

Un gain dans la durée de vie en utilisation

Un cumul des effets de substitution

"structure puis panneau puis énergie"

Des quantités de C dans les produits du même ordre de grandeur qu'en forêt pour certains résineux

La substitution cumulative et définitive

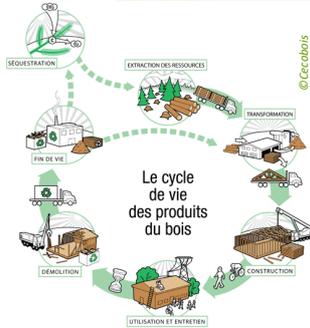


Photo : INRA (2018) F.D. Bellème (Orne)

**Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?**

Coord. Roux A., Dhôte J.-F., Schmitt B.

Étude INRA-IGN réalisée pour le MAA

Docs FR et EN + vidéo restitution sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article876>  
<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Forets-filiere-foret-bois-francaises-et-attenuation-du-changement-climatique>

Photo : FCBA (2015) Mathons (Aube)

**Commande MAA : leviers d'atténuation via BO-BI-BE, sols, adaptation au CC et risques**

Aujourd'hui l'effet de substitution est globalement plus favorable pour les usages en bois d'œuvre que pour le bois d'industrie ou l'énergie. Mais les enjeux de la bioéconomie pourraient perturber cette hiérarchie. Les travaux qui foisonnent dans ce domaine voient l'arbre comme une usine à fabriquer des molécules carbonées d'un immense intérêt, en particulier les « extractibles » (molécules d'intérêt comme les terpènes ou polyphénols, que l'on trouve dans l'écorce ou les nœuds et que l'on sait extraire industriellement).

Et puis il y a les enjeux de masse, comme la production d'énergie, les fibres (papier, biocomposites) ou les biocarburants en remplacement des matériaux fossiles, et qui sont pour nous une affaire majeure de gestion durable (préservation des sols et de la fertilité minérale, notamment).

Ceci étant, comme les intérêts du bois sont très divers, il est souvent possible de le réutiliser, de concevoir des usages en cascade. Le bois de charpente, par exemple, peut être récupéré à la démolition pour être déchiqueté et entrer dans la composition de panneaux qui, en fin de vie, pourront alimenter des chaudières. Or à chaque réemploi ou recyclage du bois s'ajoute un nouvel effet de substitution. De plus, les émissions qu'on a évitées par la substitution le sont pour toujours. La substitution est donc cumulative et définitive. C'est fondamental de bien comprendre cette incidence de l'utilisation des différents produits bois, et d'y réfléchir collectivement pour raisonner les prélèvements et orienter la production forestière sur ces différentes utilisations de substitution.

L'étude INRA-IGN sur le rôle de la filière forêt-bois française dans l'atténuation du changement climatique

Maintenant que le contexte et les notions fondamentales sont bien précisés, je vais présenter les grandes lignes d'une étude commandée par le ministère de l'Agriculture (MAA) à l'INRA et l'IGN : une étude prospective sur le potentiel d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre par la filière forêt-bois française à l'horizon 2050. Elle a été réalisée par un groupe d'une vingtaine d'experts de l'INRA et l'IGN mais aussi d'AgroParisTech et FCBA, sous l'égide d'un comité de pilotage qui réunissait des représentants du MAA et autres instances concernées, ainsi que des professionnels.

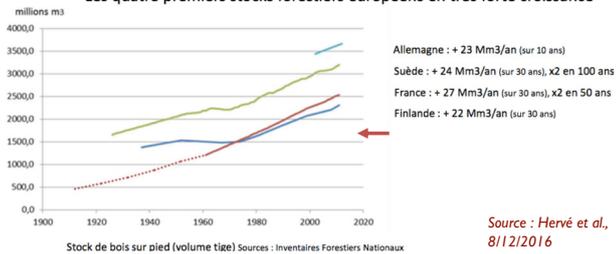
Le rapport complet est disponible sur les sites de l'IGN et de l'INRA.

Le ministère nous a passé **une commande difficile**. Il nous a demandé de préciser les leviers d'atténuation sur lesquels on pourrait jouer, à travers différents type de produits. Il nous a également demandé d'essayer de chiffrer la contribution des sols (en utilisant les résultats de RENECOFOR), ce qui jusque-là n'était pas fait dans les exercices de ce type. Et surtout il nous a demandé de bien appréhender le fait que toute décision d'usage des ressources forestières est par nature une décision intégrée qui considère d'autres objectifs, notamment des objectifs de production, de la multifonctionnalité etc., et qui est soumise aux autres facettes du problème climatique. À savoir : le besoin de s'adapter au changement climatique qui adviendra (même s'il y a beaucoup d'incertitudes sur la façon dont il se manifestera), et le fait que le déploiement de ce changement climatique dans le temps ne sera pas forcément régulier, mais plutôt avec des événements peu prévisibles et assez brutaux, de grande amplitude.

## Ce que disent les inventaires : les forêts européennes ont de fortes marges de récolte

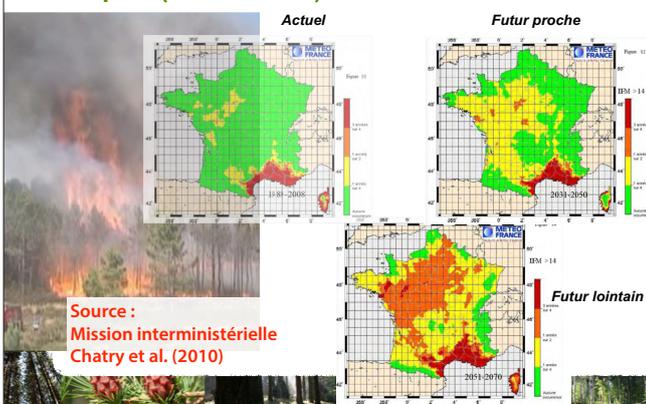
Office National des Forêts

Les quatre premiers stocks forestiers européens en très forte croissance



## Émergence, extension & aggravation des risques (cf incendies)

Office National des Forêts



## Des comportements de gestion très variés



PORTRAIT DES FORÊTS PRIVÉES  
AVEC OU SANS PLAN SIMPLE DE GESTION

Taux de prélèvement selon le groupe d'essences et le type de propriété, sur la période 2005-2014

TYPE DE PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE	PRÉLÈVEMENTS (en millions de m³/an)			TAUX DE PRÉLÈVEMENT		
	FEUILLUS	RESINEUX	TOTAL	FEUILLUS	RESINEUX	TOTAL
Forêts privées avec PSG	4,1 ± 0,5	6,6 ± 0,9	10,7 ± 1,0	53 %	84 %	69 %
Forêts privées sans PSG	8,1 ± 0,9	10,0 ± 1,4	18,0 ± 1,7	30 %	67 %	43 %
Forêts publiques	7,7 ± 0,6	5,9 ± 0,8	13,6 ± 1,0	64 %	61 %	63 %
<b>TOTAL</b>	<b>19,8 ± 1,1</b>	<b>22,5 ± 1,7</b>	<b>42,3 ± 2,0</b>	<b>43 %</b>	<b>69 %</b>	<b>53 %</b>

## Étapes et dispositif de l'étude

Office National des Forêts



- ◆ Horizon 2050
- ◆ Simuler des niveaux très # d'intensité de gestion
- ◆ Effets du changement climatique sur ressource/disponibilité
- ◆ Imaginer des crises multiformes (abiotiques/biotiques) de très grande ampleur

Je tiens à préciser **quelques éléments importants pour cette étude**. D'abord il faut savoir, malgré ce qui se dit (parfois jusque chez les scientifiques), que **les forêts d'Europe sont loin d'être surexploitées**. Il y a assez longtemps que le niveau de récolte a baissé par rapport à ce qui serait utilisable dans ces forêts. On voit sur cette figure que la France est, parmi les pays européens, celui qui stocke du bois dans ses forêts avec le rythme le plus élevé : le volume sur pied a doublé en 50 ans et il a probablement été multiplié par 5 depuis la statistique Daubrée de 1908. Il y a donc un potentiel qui est très largement sous-exploité. Je le dis ici à un auditoire ONF qui n'est sûrement pas le principal responsable de cette sous-exploitation, mais c'est important quand même d'en avoir conscience, car il y a à l'ONF un savoir-faire qui pourrait être utilement investi ailleurs.

Pour ce qui est de la **dimension « risques forestiers »** de cette prospective sur le 21<sup>e</sup> siècle, il est important de signaler qu'il y a d'une part l'émergence de risques, et d'autre part une extension du domaine des risques et une aggravation. L'émergence, c'est l'apparition de risques à un niveau qui devient significatif. C'est ce qui est illustré ici avec le cas incendies en secteur ligérien, zone de production du chêne. Mais ça concerne aussi les maladies nouvelles qui viennent d'ailleurs, pas forcément sous un déterminisme climatique, et qui peuvent *de facto* devenir des moteurs majeurs d'évolution des ressources forestières, on le voit bien avec la chalarose pour le frêne...

Dans ce travail de portée nationale, enfin, on se devait de considérer les **comportements de gestion variés**. Ne serait-ce qu'en observant globalement le taux de récolte selon le groupe d'essences (feuillus ou résineux) et le type de propriété (forêts privées, avec ou sans PSG, et forêts publiques) on voit déjà se dessiner des comportements de gestion différents. Et bien sûr cette moyenne nationale recouvre des différences très fortes de comportements locaux. C'est ce qui fait que la plupart des modèles dynamiques existant dans les laboratoires de recherche sont incapables de simuler la complexité de ces situations. La complexité n'est pas uniquement liée à l'impact du climat et à ses incidences écologiques sur l'évolution des forêts, elle est aussi liée à la complexité microgéographique et socio-économique du comportement des acteurs.

## Dispositif de l'étude et résultats essentiels

L'IGN a eu un rôle fondamental dans ce travail, toute l'ingénierie est là : le modèle de ressource MARGOT (voir encadré) et la capacité à faire fonctionner des modèles qui marchent à tous points de vue. Il serait trop long d'expliquer ce que j'entends par « qui marchent » mais c'est fondamental dans la confiance qu'on lui a accordé.

Le travail a été organisé comme indiqué sur ce schéma, que je ne vais pas commenter en détail. Je veux surtout présenter l'aspect de scénarisation, au début de la chaîne.

Nous avons initialement le projet de combiner les scénarios de gestion/mobilisation des ressources forestières avec les scénarios climatiques. Cela n'a pas été facile et nous avons travaillé finalement avec deux niveaux de scénarios climatiques et trois niveaux de gestion/mobilisation ; l'indication cernée de vert (plan de reboisement de 500 000 ha), c'est un élément d'un de ces scénarios. Nous nous sommes surtout rendu compte que la prise en compte des risques forestiers nous obligeait quasiment à faire une troisième couche de scénarisation, celle des crises majeures, vu la complexité des phénomènes concernés ; c'est pourquoi j'ai donné quelques indications là-dessus en préambule.

LES OUTILS DE SIMULATION

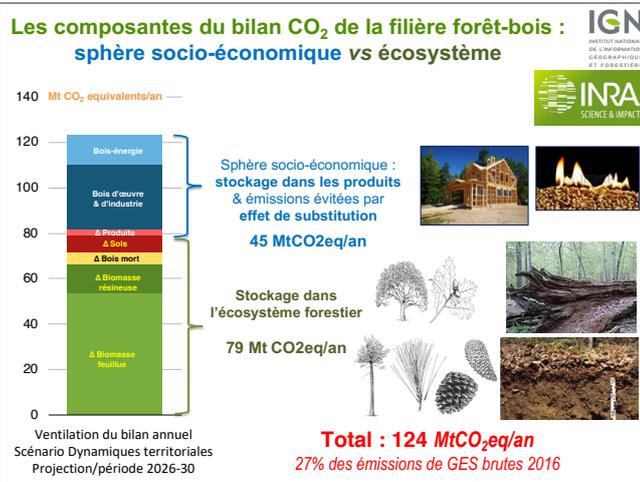
**MARGOT (MAtrix model of forest Resource Growth and dynamics On the Territory scale)** : placé au cœur du dispositif, ce modèle de ressource de l'IGN permet d'obtenir, par période quinquennale (de 2016 à 2050), l'évolution des stocks sur pied, les volumes annuels de bois mort ainsi que les volumes récoltés selon leurs usages, fixés de façon exogène au(x) modèle(s) sauf dans le cas où le scénario prévoit une poursuite du trend actuel. C'est sur cette base qu'a pu être réalisé, par période, un bilan carbone des différents compartiments de la filière forêt-bois française : stockage dans l'écosystème forestier (sur pied, bois mort et sols) ; stockage dans les produits bois ; émissions de GES évitées par effets de substitution dans les secteurs énergie et matériaux.

**FFSM (French Forest Sector Model)** : modèle économique de la filière mobilisé pour examiner les conditions dans lesquelles peuvent se mettre en place les options de gestion envisagées et pour permettre l'analyse économique des conséquences de certaines des options retenues.

**GO+** est un modèle de croissance représentant les principaux processus biophysiques et biogéochimiques d'un écosystème forestier géré ; il permet au modèle de ressource MARGOT de prendre en compte l'impact du climat sur la croissance et la production des peuplements.

Quand on combine 3 couches de scénarisation de ce genre, cela fait vite une explosion du nombre des possibles, et tout ça est à décliner sur la France entière, avec une multiplicité d'espèces, de catégories de propriétaires, etc. Cela représente un travail de titans, que nous avons dû faire en 2 ans, et certains d'entre nous y ont d'ailleurs laissé des plumes. Ce que je vais vous montrer maintenant n'en est qu'une partie, c'est celle que je considère comme la plus fiable. Mais tout ça est sujet à beaucoup de controverses et à prendre, bien entendu, avec un peu de distance.

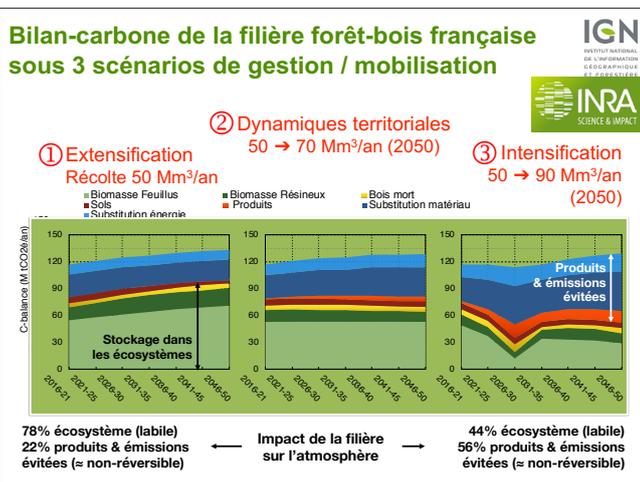
Voyons d'abord le mode d'emploi des résultats qui vont suivre, la façon de **représenter le bilan CO<sub>2</sub> complet de la filière forêt-bois**. En bas, c'est le stockage de carbone dans l'écosystème forestier (la séquestration), qui comprend bien sûr la biomasse feuillue et la biomasse résineuse (en vert clair et foncé), mais aussi les compartiments rarement renseignés que sont le bois mort et les sols (respectivement en jaune et rouge). Dans la partie haute, c'est ce qui relève de la sphère socio-économique : les phénomènes de stockage « produits » (orange) et de substitution (bleu). La distinction est importante parce que la vulnérabilité de ces deux grandes composantes du bilan CO<sub>2</sub> n'est pas du tout la même. Du côté des produits, on est soumis à des effets de vulnérabilité socio-économique mais on a les moyens de se protéger contre la disparition du carbone stocké. Par exemple, pour tout ce qui est construction bois, on sait aujourd'hui se protéger contre l'incendie de façon bien plus efficace qu'à la fin du moyen âge. En revanche, pour tout ce qui concerne le stockage dans l'écosystème, on est beaucoup plus dépendant des aléas. Les chiffres indiqués sont juste un rappel des ordres de grandeur actuels.



Venons-en au **résultat principal, qui résume l'étude**. Il y a là beaucoup d'informations importantes, je vais être un peu long...

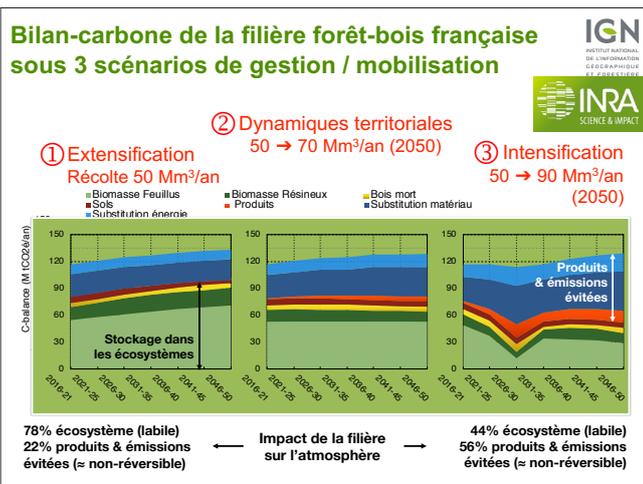
De gauche à droite, on a les trois scénarios de gestion/mobilisation de la ressource, et je dois donner d'emblée une précision sur le scénario 3 que nous avons appelé « intensification », car le terme est ambigu et génère beaucoup de malentendus et controverses.

Ce scénario 3 correspond à une remise en gestion durable généralisée des forêts françaises y compris en montagne. Il concerne donc les forêts peu ou pas gérées actuellement et suppose de se remettre à y faire des coupes, des travaux, de la chasse pour pouvoir régénérer, etc. C'est pourquoi nous avons utilisé le mot « intensification », mais il vaudrait mieux dire « remise en gestion généralisée du territoire forestier ». Quoiqu'il en soit, ce scénario se traduit numériquement par une forte augmentation de la récolte annuelle : elle passe de 50 Mm<sup>3</sup>/an à 90 Mm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2050, ce qui est un changement de monde complet. Au centre, le scénario 2 appelé « dynamiques territoriales » consiste à reproduire les comportements de gestion actuels des différentes petites régions et catégories de propriétaires forestiers. Comme il applique les mêmes taux de récolte à une ressource française en expansion, il se traduit par une nette augmentation du niveau absolu de la récolte.



À gauche, le scénario 1 dit « extensification » se caractérise par le maintien du niveau absolu de récolte actuel : 50 Mm<sup>3</sup>/an ; cela correspond à un allègement du taux de récolte puisque le volume disponible, lui, continue d'augmenter.

Dans le détail, la définition des scénarios intègre des hypothèses très contrastées sur les priorités d'actions, qui gère effectivement et qui ne gère pas, ce qu'on fait comme investissement, comme effort de renouvellement, comme maîtrise de populations d'ongulés, etc.

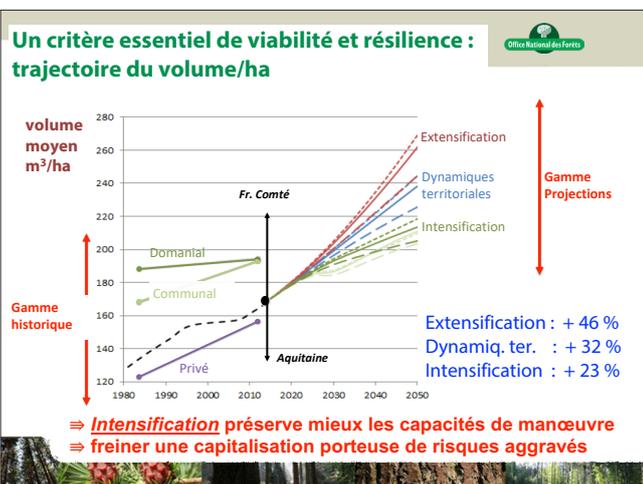


[NDLR : (i) le bilan est présenté ici à climat constant ; l'effet des scénarios climatiques sur la disponibilité en bois est évoqué plus loin ; (ii) la réduction du stockage forestier jusqu'en 2030 dans le scénario 3 correspond aux coupes rases du plan de reboisement de 500 000 ha associé à ce scénario]



© France Bois Régions - France Bois Forêt - Plan Rapproché

Importance de l'effet de substitution dans le bilan : dans cette étude, le coefficient de substitution du matériau inclut la valorisation énergétique des co-produits (chutes et autres "connexes")



On s'intéresse à l'évolution du bilan carbone au cours du temps pour chaque scénario, de 2016 à 2050 ; bilan ventilé comme indiqué précédemment avec, en partant du bas, le stockage dans l'écosystème (biomasse feuillue et résineuse, bois mort et sol) puis la sphère socio-économique. On voit apparaître dans les scénarios 2 et 3 un liseré orange qui représente le stockage dans les produits bois, dont Christine a dit qu'il est nul en régime permanent. C'est que, dans ces deux scénarios, on sort du régime permanent parce qu'on mobilise beaucoup plus de bois et qu'on en injecte bien plus dans la sphère socio-économique qu'il n'en sort par destruction de bâti existant. La différence donne donc un flux net de stockage dans le compartiment des produits bois, qui reste assez ténu en ordre de grandeur.

En revanche, on voit l'importance des phénomènes de substitution. Cependant ils sont sujets à caution et à controverse – notre groupe d'experts assume la vivacité de ces controverses – car l'évaluation est très sensible à la valeur du coefficient de substitution retenu. Nous avons choisi le coefficient 1,6 après une analyse complète de la bibliographie, mais si on passe à 1 ou à 3, ça change un peu le panorama d'ensemble... Ce qu'on peut en dire, c'est que la substitution (c'est-à-dire les émissions de CO<sub>2</sub> évitées) liée aux utilisations en bois matériau ou en bois d'industrie est systématiquement plus forte que celle de l'usage énergétique. C'est lié à ce dont a parlé Christine avec les aspects d'efficacité du processus et le recyclage, y compris le recyclage énergétique lié à l'usage « produit ». Je m'explique : dans notre étude, le coefficient de substitution du matériau inclut le bénéfice lié à la valorisation énergétique des co-produits (sciures, délignures, etc.) liés à l'usage du matériau. Je tiens à cette convention de calcul (il peut y en avoir d'autres) parce qu'il y a une liaison industrielle entre ces deux valorisations : si on ne sort pas le produit bois, on n'aura pas la valorisation énergétique associée.

Globalement, la contribution de la forêt est de plus en plus prépondérante dans le scénario 1, à travers le stockage dans les écosystèmes ; *a contrario*, lorsqu'on valorise beaucoup la forêt avec une récolte soutenue de produits qu'on injecte dans l'industrie, le stockage dans l'écosystème ralentit mais il y a une compensation qui se fait par l'ensemble des contributions (scénarios 2 et 3). Il faut surtout voir que, quand on introduit les risques dans la réflexion, la partie labile du bilan, c'est-à-dire la partie exposée au risque de relarguer du carbone dans l'atmosphère massivement et de manière incontrôlée, est beaucoup plus faible en proportion dans le scénario 3 que dans le scénario 1. Autrement dit, en maintenant le niveau actuel de récolte nationale, on expose massivement la ressource forestière à des grands événements de dommages généralisés comme on a pu en connaître dans les décennies précédentes. Alors qu'en généralisant la gestion (scénario 3), on sécurise tout le carbone accumulé lors des décennies précédentes en le transformant en produits qui créent de la valeur et évitent des émissions par effet de substitution.

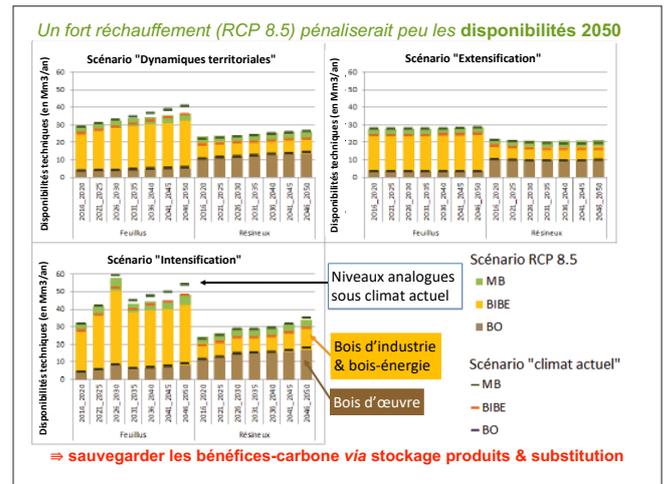
Un autre aperçu important : l'évolution du volume par hectare, toutes propriétés confondues, dans les différents scénarios. Nous avons ici les scénarios 1, 2 et 3 respectivement en rouge, bleu et vert, avec pour chacun plusieurs courbes liées aux différentes versions du modèle MARGOT ; la version qui rend le mieux compte des variations du stock sur pied est celle dite « avec densité-dépendance », qui correspond chaque fois à la courbe la plus basse.

On voit qu'à l'échéance de 2050, dans les trois hypothèses (scénarios), on sort de la gamme historique de volume sur pied que nous avons connue depuis 50 ans en moyenne nationale. Cette moyenne couvre des variations entre régions, dont on voit l'ampleur actuelle entre les deux « extrêmes », Aquitaine et Franche-Comté. Et le groupe d'expert considère

que cette évolution attendue du stock moyen par hectare correspond dans une large mesure à un saut dans l'inconnu et à une prise de risque systémique par rapport à tout ce qui est lié à l'excès d'accumulation de volume sur pied. C'est-à-dire (cf. exposé précédent) : le vent (lié à la hauteur), l'incendie, les insectes et la sécheresse.

Je passe rapidement sur cette autre illustration, juste pour dire que la simulation du climat très réchauffé RCP 8.5 a déjà des effets détectables à l'échéance 2050, ce qui n'était pas garanti au départ, mais que pour autant, les disponibilités en bois sont peu pénalisées.

Pour chacun des scénarios de gestion/mobilisation, on voit ici l'évolution de la récolte de 5 ans en 5 ans ventilée par produits ; à gauche pour les feuillus, à droite pour les résineux. Dans ce climat déjà assez dégradé en 2020, le niveau de récolte reste préservé au minimum à son niveau actuel, et même le niveau le plus exigeant, donc le scénario « intensification », peut être conservé.



Ce que je veux aborder plus en détail, c'est la **simulation de crise « d'une ampleur sans précédent »**. C'était notre commande aux spécialistes de la sécheresse, des insectes, des maladies, etc. : concevoir des histoires de crises très impactantes pour la forêt, en allant au-delà des précédents historiques connus.

Premier type de crise : l'incendie après sécheresse. On a pu simuler un événement déjà considérable : 175 000 ha brûlés en une saison (sous hypothèse climat RCP 8.5). C'est très au-delà de ce à quoi on est accoutumé en France, mais c'est 2 fois moins de surface incendiée qu'en 2017 au Portugal. Disons que c'est la grande crise majeure la plus « modérée » de nos simulations, avec un effet sur le bilan national de -30 millions de m³.

Le deuxième type est une crise déclenchée par une tempête. La tempête a été configurée avec une trajectoire visant à impacter un maximum d'essences productives (épicéa, chêne, etc.), et le scénario inclut les risques secondaires qui s'enchaînent ensuite. L'événement a 2 fois la taille de Lothar (1999) et à peu près 5 fois la taille complète de Klaus (2009) sur la totalité du syndrome. Là ça devient vraiment important : ça représente 330 millions de m³ et ça commence à se « voir » dans notre rapportage annuel à la commission des Nations unies sur le changement climatique.

La troisième histoire de crise est celle qui est globalement la plus impactante pour le bilan national et particulièrement dans le secteur ligérien. Ce sont des scénarios d'invasion biologique par des pathogènes émergents, sur le modèle de la chalarose en termes de diffusion et dynamique de mortalité. Ce modèle est celui qui *a priori* pose le plus de problème du point de vue de l'aménagement, de la sylviculture et de la programmation des ressources forestières. On a une crise chêne, avec un pathogène qui frapperait d'abord dans le nord-est de la France avant de se propager à travers le pays. Et à l'inverse on a une crise pin qui partirait du sud-ouest. Avec pour chacune 2 hypothèses de sévérité : le seul chêne pédonculé ou tous les grands chênes, d'une part, le pin maritime ou l'ensemble des 5 pins, d'autre part.



Cela aboutit à des impacts assez différents et qui s'échelonnent de 130 à 800 Mm³ de dégâts pour l'ensemble de la crise jusqu'en 2050. Les flux annuels correspondants pendant la crise vont de 3 à 23 Mm³/an : il s'agit de récolte de sauvetage, réalisée de façon plus ou moins complète selon le degré de performance industrielle de la filière que nous avons adopté. En ordre de grandeur, avec 800 Mm³ on s'approche de la taille de la crise du dendroctone en Amérique du Nord, qui a dégagé 1 milliard de m³ de pins. Cela a représenté au pire 2,5 fois la possibilité de provinces comme la Colombie Britannique, sans compter qu'il fallait bien entendu continuer les coupes dans les Douglas, etc. Ce troisième type de crise correspond à des hypothèses qu'on peut qualifier de disruptives, et qu'il me paraît important de considérer dans le panorama de la réflexion stratégique : cela fait partie du paysage du possible, même si on a du mal à y croire quand on voit des éléments de résilience des écosystèmes. J'ajoute que, dans l'ensemble de notre travail, c'est ce type de risque qui a eu les impacts les plus forts de dégradation du bilan carbone national. Il faut le prendre au sérieux dans la programmation, dans l'aménagement des massifs et la diversification des massifs.

**Quels leviers forestiers d'atténuation**



❓ Le puits forestier devrait se maintenir à moyen-terme, puis diminuer (> 2050) ▼ le scénario climatique :

- tendances : diminution de la productivité, crises + fréquentes/graves
- la forêt publique est globalement plus mature et vers l'équilibre, mais aussi plus vulnérable (capital sur pied, dominance chêne)

❖ Comment raisonner l'atténuation via la gestion forestière :

- raisonner à l'échelle du massif, diversifier les choix à adapter selon les zones
- protéger / augmenter le stockage dans les sols ?
- articuler ≠ horizons temporels : ne pas handicaper les possibilités de substitution de demain par la séquestration d'aujourd'hui
- amont-aval liés : soutenir les capacités de la filière industrielle nationale à écouler de grandes quantités de produits accidentels
- Quel soutien de la filière pour diversifier et enrichir nos peuplements ?

❖ Pour contribuer à la décarbonation rapide de l'économie :

- raisonner les itinéraires pour des produits à plus forte valeur de substitution
- massification, gestion groupée et gestion multi-échelle des forêts



## Que peut-on conclure sur les leviers forestiers d'atténuation ?

Tout d'abord, **la forêt est un joueur majeur de la politique climatique du pays**. Cela implique, de la part des forestiers et des acteurs de la filière forêt-bois, de monter en gamme dans leurs interventions vis-à-vis de la société. Commencer à discuter avec les secteurs de l'énergie et du BTP, et plus seulement entre acteurs de la filière forêt-bois. Nous représentons une valeur en tant que filière et nous devons être capables de parler à Bouygues, à Vinci et à Total. C'est un vrai choc culturel.

**Quid de l'évolution du puits forestier français ?** Il y aura probablement des situations d'augmentation de la productivité dans certaines régions, notamment en montagne ; mais en plaine on peut s'attendre à une diminution de la productivité, surtout vers le sud. La forêt publique est globalement plus mûre et proche de l'équilibre que la moyenne française ; la récolte y atteint un pourcentage très important de l'accroissement, et on voit bien qu'elle commence à se réguler par les grandes crises. La forêt domaniale, notamment, en est actuellement à 190 m<sup>3</sup>/ha et il n'est pas évident qu'il y ait beaucoup de marge de progression vers le haut. Je le dis avec force, parce qu'on entend certains acteurs du débat forestier dire qu'on peut faire comme les Allemands, aller jusqu'à 300 m<sup>3</sup>/ha... Cela n'a pas de sens ; 190 m<sup>3</sup>/ha c'est déjà beaucoup, et il faut se préoccuper de la sécurisation de ce stock forestier très important. La dominance du chêne rajoute à la nécessité et l'urgence de sécuriser ces stocks et de penser à leur trajectoire d'évolution. Pourquoi ? Parce que le chêne concentre énormément de valeur : valeur d'usage (valeur économique, valeur financière) mais aussi valeur de tous les services écosystémiques associés. C'est, dans une large mesure, la performance sylvicole du bassin ligérien qui soutient la multifonctionnalité des forêts publiques et les services écosystémiques dans la France entière. Les forestiers peuvent le dire haut et fort, et c'est important que la société l'apprenne et le comprenne.

**Comment raisonner l'atténuation par la gestion ?** Christine a montré que le minimum pour raisonner carbone, c'est l'échelle parcelle ou peuplement, dans le cadre de projets. Mais plus généralement, il faut **raisonner au niveau du massif** parce que c'est celui de l'aménagement forestier ; c'est à cette échelle que se font les compensations entre peuplements jeunes et adultes, et qu'on recherche une certaine régularité (même si elle peut être mise en défaut par des déséquilibres momentanés). C'est à cette échelle aussi qu'il faut penser la diversification des choix, notamment dans les massifs feuillus de plaine : les hêtraies bien sûr mais aussi les chênaies. On peut imaginer par exemple de diversifier soit avec des peuplements mélangés (utiliser les pins comme *nursing* pour améliorer l'installation de chêne là où c'est difficile...), soit par alternance de peuplements : là où la régénération a échoué, on peut planter dans certains cas du Douglas ou du pin maritime, etc. Cependant il est utile aujourd'hui de considérer un panel beaucoup plus large d'options de diversification : des transferts de provenances, de la plantation de chênes apparentés qui peuvent s'hybrider avec les chênes locaux, de la plantation d'autres espèces performantes sous climat plus sec (le robinier par exemple, le pin maritime et autres), qui sont déjà dans le paysage et qui peuvent être utilisées sous des formes nouvelles comme essences subsidiaires à objectif bois d'œuvre.

**Les sols forestiers contribuent aussi au bilan carbone**, sachant qu'ils sont actuellement, comme la biomasse, dans une période d'accumulation. Cette situation permet d'imaginer des stratégies où on s'autoriserait des réductions locales de stock, dûment raisonnées et compensées par les sites où le stock s'accumule, le bilan consolidé étant au minimum stable tandis qu'en moyenne le carbone des sols continue à augmenter. On a tout intérêt à avoir une approche stratégique de l'usage des sols et de la biomasse, de façon à garder une séquestration totale dans les forêts qui soit significative, mais sans compromettre leur viabilité à l'avenir et en permettant d'utiliser une fraction plus élevée de l'accroissement.

Par ailleurs l'amont et l'aval sont liés. Il est important, notamment, de **soutenir la capacité des industries du bois à absorber de grosses masses de produits accidentels** (il y en aura forcément) pour sécuriser l'avenir. Ne pas compter *a priori* sur le commerce international pour écouler nos produits accidentels car on a vu en 1999 les risques de profonde déstabilisation des chaînes de valeur associés aux grandes crises sanitaires forestières. Il est donc important pour nous, en tant que forestiers, d'aider à se structurer un tissu industriel sain qui soit capable de valoriser tous les produits (pas seulement le merrain) pour solidifier ce qu'on pourrait appeler l'écosystème forêt-industries du bois locales. *A contrario*, les industriels doivent comprendre que les forestiers ne pourront pas produire indéfiniment les mêmes mix d'espèces qu'aujourd'hui si le climat se dégrade très fortement. Cela veut dire que **l'industrie du bois devra mieux utiliser les pins, en particulier**, et mieux les rémunérer qu'aujourd'hui. Nous savons que c'est possible : on commence à parler du pin d'Alep qui devient une espèce un peu mieux reconnue, on sait qu'il y a de la marge aussi pour le pin sylvestre. Il va falloir dépasser les phénomènes de marché qui font qu'actuellement les industriels préfèrent l'épicéa ; nous devons accepter le fait qu'il y a du sapin à transformer, et même du gros sapin, et qu'il y aura de plus en plus de pins sur le marché. Enfin nous devons apprendre à faire la bio-économie avec des pins, parce que si nous subissons un réchauffement de 3 °C, ce seront forcément des essences incontournables.

### Quelques messages « à rapporter à la maison » pour faire face au changement climatique

- ❖ La forêt doit et **va changer** sous incertitude :
  - ❖ **espèces/situations comptent** : tempérament, besoins écolo.
  - ❖ **les connaissances évoluent** : R&D, formation, experts/climat
  - ❖ un **levier essentiel** : choix des ressources génétiques
  - ❖ une **opportunité** : essor de la bioéconomie
- ❖ Les points forts d'une **transformation pro-active des forêts** :
  - ❖ **choix** des essences et **du matériel végétal** (diversification)
  - ❖ **réduire** les âges et dimensions d'exploitabilité + **capital/pied**
  - ❖ **concentrer** le travail sur : organisation, logistique, anticipation-crisis, évaluation & retour d'expérience, interaction gestion/R&D
  - ❖ **solidifier le modèle économique** : maîtrise des coûts, contrats d'appro., mix-produits, taxe-carbone, fiscalité, rémunération des aménités



Pépinière expérimentale de Guéméné Penfao : se préparer à une adaptation pro-active des forêts (essences diversifiées, plantations réussies...)



### Quelques messages, pour finir

Je retiens que la forêt doit changer, qu'elle va changer, que le travail en forêt doit changer, et tout cela sous incertitude. L'incertitude est profonde mais ce n'est pas une raison pour ne pas prendre de décision. Au contraire, ces décisions doivent être bien raisonnées, transparentes pour les parties prenantes, et nettes ; et elles ont inévitablement **une dimension de prise de risque**. Jusqu'ici, lorsque vous régénérez du chêne avec un objectif 180 ans, vous prenez évidemment un risque : un risque un peu calculé et à peu près transparent. Maintenant, lorsque vous allez diversifier ces peuplements vous allez prendre aussi des risques. Toute la question est de savoir lesquels, de savoir si on est capable de les quantifier et si on est capable de les argumenter face à la société et face à tous les groupes qui fatalement vont contredire les choix qui auront été faits. Ce **besoin de pédagogie** va être un élément fondamental de l'aménagement forestier et de la programmation générale des ressources. Les connaissances évoluent, ce qui veut dire que les métiers doivent **travailler plus étroitement ensemble**. Notamment R&D, formation et gestion quotidienne. Dans ce cadre, les « experts » sylviculture ou aménagement, rodés aux questions de climat et aux nouveaux outils d'aide à la décision, vont devoir jouer un rôle très important de diffusion de la formation.

Par ailleurs je pense, même si ça sort du cadre de mon exposé, que **le choix des ressources génétiques sera un levier essentiel de changement**. Plutôt que de s'affronter *a priori* sur le choix entre futaie régulière ou irrégulière, commençons par parler des ressources génétiques avec lesquelles nous pourrions créer une forêt résiliente et productive. Depuis cette entrée par les ressources génétiques, on va arriver à la fructification, au renouvellement, aux phénomènes de flux de gènes, de consanguinité, de dépression de consanguinité... Ce qui nous amènera à la façon de régénérer les peuplements et *in fine* aux modes de traitement sylvicole les plus appropriés pour supporter cette gestion beaucoup plus complexe des ressources génétiques.

Quelques mots enfin sur la nécessité de **solidifier le modèle économique**. Je sais que la question de la maîtrise des coûts est un point sensible... On peut imaginer qu'une partie du chemin vers des solutions pour la maîtrise des coûts passe par la recherche de nouvelles ressources financières, notamment par le financement des aménités, par de la taxe carbone, par des changements fiscaux... Cela dit, ce sera plus facile pour les forestiers d'obtenir de tels canaux de financement si, en parallèle, ils démontrent leurs propres efforts de rationalisation de la gestion (organisation, logistique, etc.). De ce point de vue, faire de la plantation réussie et à bas coût, c'est un enjeu fondamental, et les chercheurs peuvent vous y aider.