

L'IF

Synthèse
périodique
de l'inventaire
forestier

N° 48
Février 2022

LA BIOÉCONOMIE FORESTIÈRE

Un nouveau regard
pour analyser les ressources des forêts



© Adobe Stock

IGN

INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE

SOMMAIRE

La bioéconomie, quèsaco ?	3
La bioéconomie à l'IGN	5
Connaître les ressources « non bois » des arbres forestiers	6
Évaluer les ressources présentes dans les territoires	8
Spatialiser la ressource des peuplements d'intérêt	10
Connecter les ressources forestières aux filières forêt-bois	12
Bilan des travaux et perspectives	15
À retenir	16

Devant l'altération globale de l'environnement naturel, une évolution de notre processus économique et plus généralement de notre modèle de développement paraît nécessaire. La bioéconomie, c'est-à-dire une économie fondée sur l'utilisation optimisée de la biomasse, s'intègre pleinement dans le cadre de cette transition écologique.

Les assises de la forêt et du bois ont été l'occasion de réaffirmer le rôle central que la forêt et la filière bois seront amenées à jouer dans cette transition, notamment via l'émergence de filières bioéconomiques permettant d'accroître la valeur ajoutée des produits forestiers tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre du secteur.

Si le bois est appelé à être une ressource clé des filières bioéconomiques, il n'est pas le seul. Des composantes comme l'écorce, les nœuds ou la résine peuvent aussi constituer des ressources naturelles pour des usages variés. Écorce et nœuds sont particulièrement riches en molécules chimiques, appelées extractibles, valorisables en substitution à certains produits dérivés du pétrole. Ces composés peuvent être récoltés directement en forêt ou au sein même du tissu industriel, en tant que produits connexes des sciages par exemple.

Ce numéro de *L'IF* présente les travaux récents menés à l'IGN pour mieux connaître les ressources « non bois » liées aux arbres (écorce, nœuds, résine et extractibles), mais aussi les flux entre les produits bruts issus de la forêt et la variété des usages industriels. Ces travaux contribuent à donner aux décideurs nationaux et régionaux une vision systémique du fonctionnement des filières bioéconomiques forêt-bois pour optimiser la gestion des ressources forestières.



Résine

Un peu d'histoire

Si le terme « bioéconomie » n'est pas nouveau (le biologiste T.I. Baranoff aurait introduit ce néologisme dès 1925), le concept l'est encore moins ! De fait, pendant les 99,9 % de son histoire, l'humanité a vécu dans un cadre bioéconomique ; le bois en particulier fournissant une ressource essentielle (1).

Les fondements de la bioéconomie moderne remontent toutefois à quelques décennies. Par exemple, le mathématicien et économiste « hétérodoxe » roumain Nicholas Georgescu-Roegen souligne dès les années 1970 le caractère périlleux d'une économie basée sur un usage immodéré de ressources non renouvelables (2). Pour en sortir, il proposait de bâtir une bioéconomie fondée sur l'utilisation de ressources comme l'énergie solaire ou les produits de la photosynthèse en substitution des combustibles fossiles.

Notons toutefois qu'il était clair sur un point : il était également indispensable de faire preuve de la plus extrême sobriété en matière de consommation de ressources. La décline progressive de la surface forestière métropolitaine entre le début du néolithique (environ 5 000 ans avant notre ère) et le milieu du XIX^e siècle, liée notamment à un usage massif du bois, témoigne du caractère potentiellement insoutenable d'un recours systématique aux ressources renouvelables. En l'absence d'une gestion durable, un tel système n'est pas forcément plus vertueux que celui basé sur l'emploi abondant de ressources fossiles, qui a d'ailleurs permis à la forêt de regagner de la surface ces dernières décennies.

(*) : cf. références bibliographiques en page 16

Et aujourd'hui ?

Aujourd'hui, la dégradation de l'environnement, dont l'érosion de la biodiversité et le changement climatique sont deux marqueurs médiatisés, a largement souligné le caractère pernicieux des processus économiques basés sur un usage immodéré des ressources naturelles. La bioéconomie est ainsi devenue un concept au cœur des grands débats actuels et il commence à irriguer les politiques publiques.

De nos jours, la bioéconomie peut être définie comme « une économie du vivant », consistant à recourir à la biomasse sous toutes ses formes (produits des vies terrestre ou marine, végétale, fongique, animale, bactérienne, etc.) de façon raisonnée et organisée comme matière première à destination de l'énergie, de l'industrie, de la chimie, des matériaux, de l'alimentation, etc. (figure 1).

La bioéconomie a récemment fait l'objet de l'élaboration d'une stratégie de développement par la Commission européenne, qui a mis en place dès 2014 un observatoire dédié (3) et a actualisé sa conception de la bioéconomie en 2018 (4) dans un document qui réaffirme les cinq objectifs prioritaires, à savoir :

- assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle ;
- gérer la durabilité des ressources naturelles ;
- réduire la dépendance européenne aux ressources fossiles ;
- atténuer et s'adapter au changement climatique ;
- renforcer la compétitivité de l'Europe et créer des emplois.

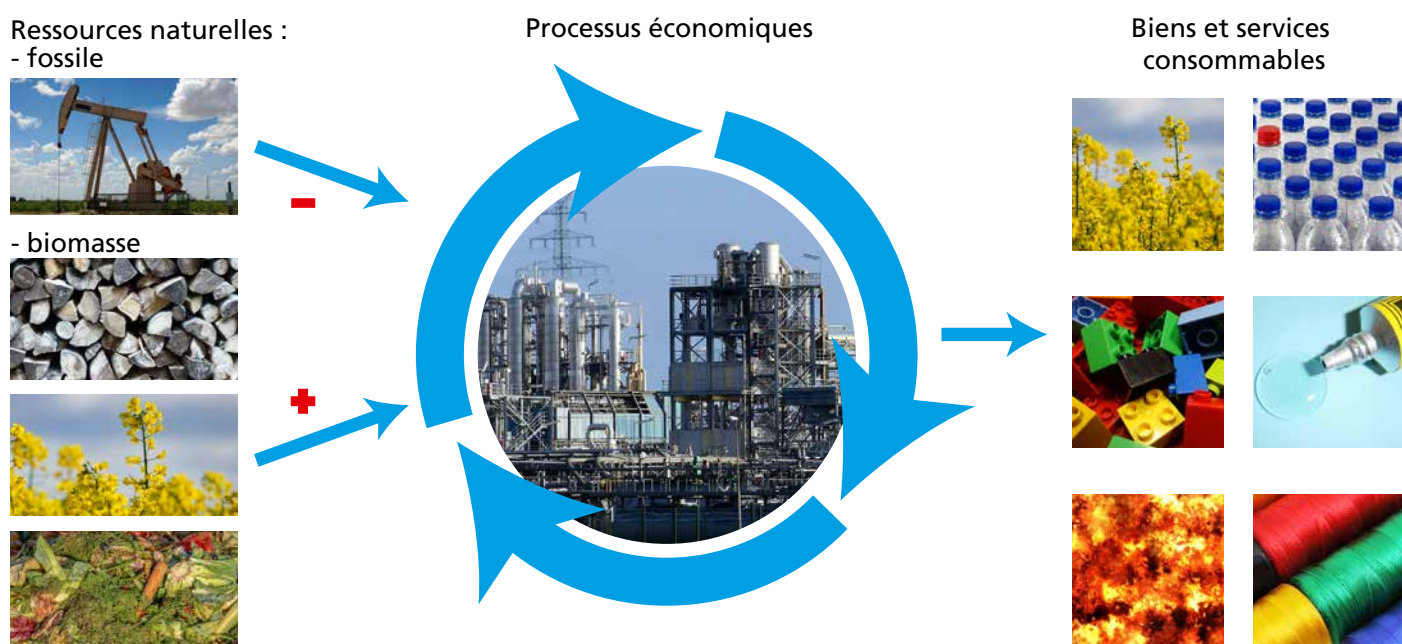


Figure 1 : Principe global de la bioéconomie, consistant à recourir à la biomasse plutôt qu'aux ressources fossiles dans les processus économiques.

Pour atteindre ces objectifs, trois types d'actions nouvelles ont été proposés qui mettent en avant le renforcement et le déploiement à grande échelle du secteur des produits biosourcés, le déploiement rapide d'une bioéconomie locale ainsi que la prise en compte des limites écologiques de la bioéconomie.

Dans le sillage de l'Europe, plusieurs pays ont travaillé à l'élaboration d'un cadre bioéconomique. Dès 2015, la France a lancé les travaux d'élaboration d'une « stratégie bioéconomie pour la France » dans une approche interministérielle. L'Hexagone s'est ainsi doté d'une stratégie nationale pour l'émergence de la bioéconomie en 2017 (5), ainsi que d'un plan d'action en 2018 (6).

Ces documents cadres mettent en avant des notions de circuits courts, de circularité et d'optimisation de l'usage des ressources biosourcées.

La France s'est par ailleurs engagée à réduire drastiquement ses émissions de gaz à effet de serre pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. La bioéconomie, par le recours optimisé à des ressources renouvelables et locales en remplacement de ressources fossiles, est susceptible de contribuer à cet objectif. Une connaissance fine des ressources en biomasse et de leurs usages constitue donc un enjeu de plus en plus important dans la stratégie de la France en matière économique et climatique.

ENCADRÉ 1 : LA PAROLE À FRANCIS COLIN, DIRECTEUR DE RECHERCHE À INRAE ET COORDINATEUR DES PROJETS GEMMEST ET EXTRAFOREST

La recherche en bioéconomie a fait l'objet de deux documents récents à INRAE : une « réflexion prospective interdisciplinaire bioéconomie » (7) et le méta-programme BETTER (Bioéconomie pour les territoires urbains). Par construction, les projets ExtraForEst et GemmEst (pour une reprise du gemmage dans l'est de la France) contribuent à ces recherches.

Outre les actions décrites dans ce numéro de *L'IF*, concernant essentiellement la connaissance de la diversité des biomasses forestières, il faut citer l'étude de marchés menée par le pôle de compétitivité français de la bioéconomie, IAR, priorisant dans quels secteurs (cosmétiques, compléments alimentaires humains et animaux, biocontrôle et biostimulation) les biomolécules identifiées pourraient le plus facilement pénétrer. Des études complémentaires sur leurs propriétés chimiques et biologiques (antioxydantes, fongicides, bactéricides) ont démarré, pour mieux informer les industriels de ces secteurs.

Une approche systémique, basée sur l'utilisation complémentaire de données et outils existants, a été progressivement adoptée pour positionner d'éventuelles filières forêt-bois-chimie dans le plus grand ensemble des filières parallèles forêt-bois, des boucles de recyclage des connexes et bois en fin d'usage, des transferts et regroupements de biomasse entre filières. Les recherches en bioéconomie ne peuvent être menées sans les acteurs qui contribueront à la transition bioéconomique. Ainsi la communication multiforme adoptée dans ExtraForEst est maintenant complétée par l'introduction des processus innovatifs permettant de co-construire avec les acteurs territoriaux des outils d'accompagnement de la transition bioéconomique.

Deux types de retombées territoriales importantes peuvent être cités : les initiatives d'installation d'extracteurs industriels près d'Epinal (WoodChem Valley) et autour du Parc National des Forêts (Kémyos) et l'accompagnement de particuliers dans la reprise du gemmage des pins. Ces initiatives mobilisent l'ensemble des connaissances fondamentales et finalisées acquises dans les deux projets.



Organisation du projet ExtraForEst, depuis l'identification des molécules extractibles jusqu'à l'analyse intégrative des filières forêt-bois.
(site du projet : www6.inrae.fr/extraforest/)

LA BIOÉCONOMIE À L'IGN

Que l'on s'en tienne à la conception de Georgescu-Roegen ou à l'acception moderne, le pilier de la bioéconomie reste le recours soutenable à des ressources renouvelables aux échelles temporelles pertinentes pour la civilisation humaine. Les arbres poussant chaque année et atteignant leur taille « adulte » en quelques décennies, les ressources forestières, à partir du moment où elles sont ponctionnées raisonnablement, peuvent pleinement s'insérer dans ce cadre. L'IGN, par son enquête d'inventaire forestier national (IFN), se positionne donc comme un acteur clé de la connaissance des ressources bioéconomiques.

Depuis des décennies, l'IFN produit et publie des statistiques sur les volumes et les flux de bois (bois de la tige sur écorce en particulier) dans les écosystèmes forestiers. Le bois est effectivement un composé biologique prépondérant puisqu'avec une masse sèche mondiale estimée à près de 1000 gigatonnes, il est, de très loin, le plus abondant de la planète (1). De plus, le bois constitue la matière première de filières industrielles historiques (sciages, panneaux, papiers, énergie, etc.). Toutefois, d'autres composés produits par les arbres (écorce, sève, feuilles, fleurs, fruits, résine, etc.) ou d'autres organismes (champignons, mousses, fougères, fleurs, etc.), sont également susceptibles de fournir des ressources valorisables dans de multiples domaines d'application. En ce sens, il devient nécessaire d'avoir des informations détaillées et précises non seulement sur le bois, mais aussi sur les différents produits élaborés dans les écosystèmes forestiers.

Portés par INRAE et lancés respectivement en 2016 et 2018, les projets ExtraForEst et GemmEst (encadré 1) concourent à une meilleure caractérisation des ressources forestières et à favoriser l'émergence de filières bioéconomiques territoriales.

Le projet ExtraForEst porte en effet sur les extractibles forestiers, des molécules présentes aussi bien dans le bois que dans l'écorce ou les nœuds et qui, comme leur nom l'indique, peuvent être facilement extraites à partir de solvants « verts ». De son côté, le projet GemmEst s'intéresse à la gemme (plus connue sous le nom de résine) synthétisée par les résineux et qui sert de matière première à l'élaboration de produits industriels, le plus célèbre étant l'essence de térébenthine. Les extractibles comme les composés issus de la gemme ont des propriétés variées et peuvent ainsi être utilisés dans de nombreuses applications industrielles (pharmaceutique, cosmétique, nutraceutique, peintures, colles, etc.), ce qui les rend propices à remplacer les molécules pétrosourcées. En cela, les extractibles et la gemme constituent des ressources naturelles d'intérêt pour la transition écologique et l'émergence de filières bioéconomiques.

Les travaux menés par l'IGN dans le cadre de ces projets visent précisément à étoffer les données déjà existantes et à enrichir et mettre en relation des outils thématiques pour :

- mieux connaître les ressources « non-bois » présentes dans les arbres forestiers ;
- développer les outils d'analyse territoriale de ces ressources ;
- favoriser une vision plus intégrative de la filière forêt-bois, en connectant la ressource aux filières utilisatrices pour décrire les flux de matière entre les secteurs d'activités qui composent ces filières.



Ressources forestières pouvant être valorisées dans le cadre de la bioéconomie : bois, écorce, fruits, résine, champignon.

CONNAÎTRE LES RESSOURCES « NON BOIS » DES ARBRES FORESTIERS

Afin de diversifier les usages de la ressource forestière, les filières bioéconomiques doivent mieux connaître les éléments « non bois » qui la composent. C'est dans cette optique que s'inscrit une partie des travaux conduits dans le projet ExtraForEst. Celui-ci visait notamment à développer les connaissances sur les quantités d'extractibles issus des arbres présents à l'échelle de la ressource forestière des bassins d'approvisionnement des industries de l'est de la France. Il s'agissait ainsi de dresser une première évaluation des quantités d'extractibles potentiellement mobilisables en forêt et de les localiser globalement au sein des massifs des régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté.

Concrètement, les travaux menés par l'IGN ont consisté à enrichir le corpus d'informations forestières produit par l'enquête IFN. En partenariat avec des laboratoires d'INRAE et de l'université de Lorraine, de nouvelles données sur les nœuds et l'écorce de

plusieurs essences prépondérantes dans l'est de la France (chênes rouvre et pédonculé, hêtre, sapin pectiné, épicéa commun et douglas) ont ainsi pu être calculées. D'un côté, des coefficients (ou des équations, dans le cas des volumes d'écorce) ont été développés par l'unité Silva d'INRAE pour calculer le volume et la biomasse des nœuds et de l'écorce, tandis que le laboratoire d'études et de recherche sur le matériau bois (LERMaB) de l'université de Lorraine a mesuré les teneurs en extractibles de ces compartiments (figure 2).

En utilisant conjointement les données de la recherche et l'estimation faite par l'IGN du volume bois fort tige (volume de la tige principale jusqu'à la découpe 7 cm), il devient possible d'évaluer les volumes, biomasses et quantités d'extractibles de l'écorce et des nœuds de la tige d'un arbre donné.

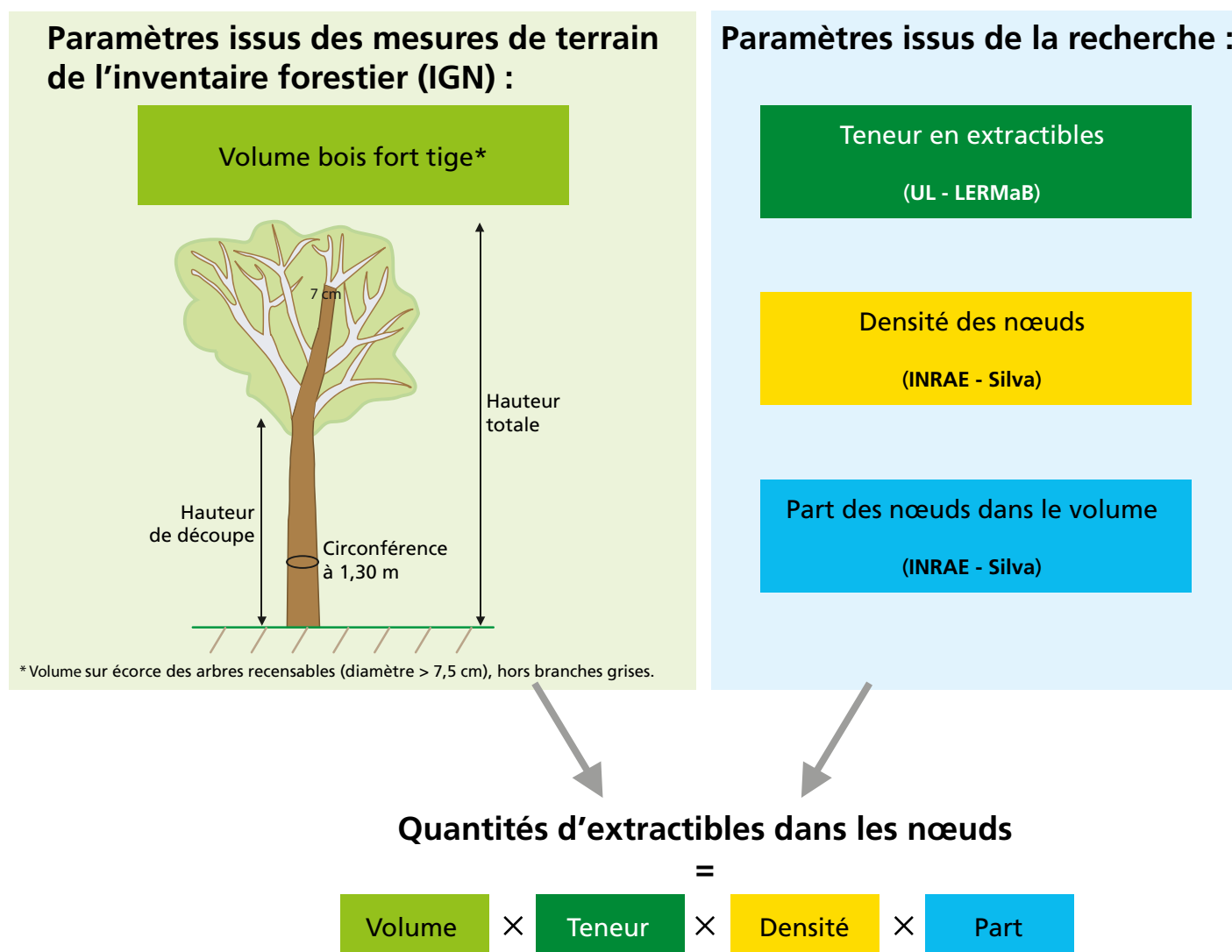


Figure 2 : Principe de calcul des quantités d'extractibles à l'échelle d'un arbre.



Piles de bois en forêt communale (Vosges)

L'intégration de la méthode dans le processus classique de production des statistiques forestières de l'IGN a finalement permis d'estimer, pour chaque essence étudiée, les volumes, biomasses et quantités d'extractibles de l'écorce et des nœuds présents en forêt à des échelles régionales ou territoriales (figure 3). On évalue ainsi, pour les essences étudiées dans ExtraForEst, qu'environ 1 million de m³ d'écorce (soit 540 000 tonnes d'écorce et 140 000 tonnes d'extractibles) ont été prélevés chaque année à l'échelle des régions Grand Est et Bourgogne-Franche durant la période 2005-2019.

Le calcul des volumes, biomasses et quantités d'extractibles de l'écorce et des nœuds a été fait à la fois pour le volume sur pied et pour les prélèvements annuels. Ces nouveaux résultats sur les ressources forestières sont mis à jour chaque année automatiquement en intégrant les résultats de la nouvelle campagne de mesures de l'IFN.

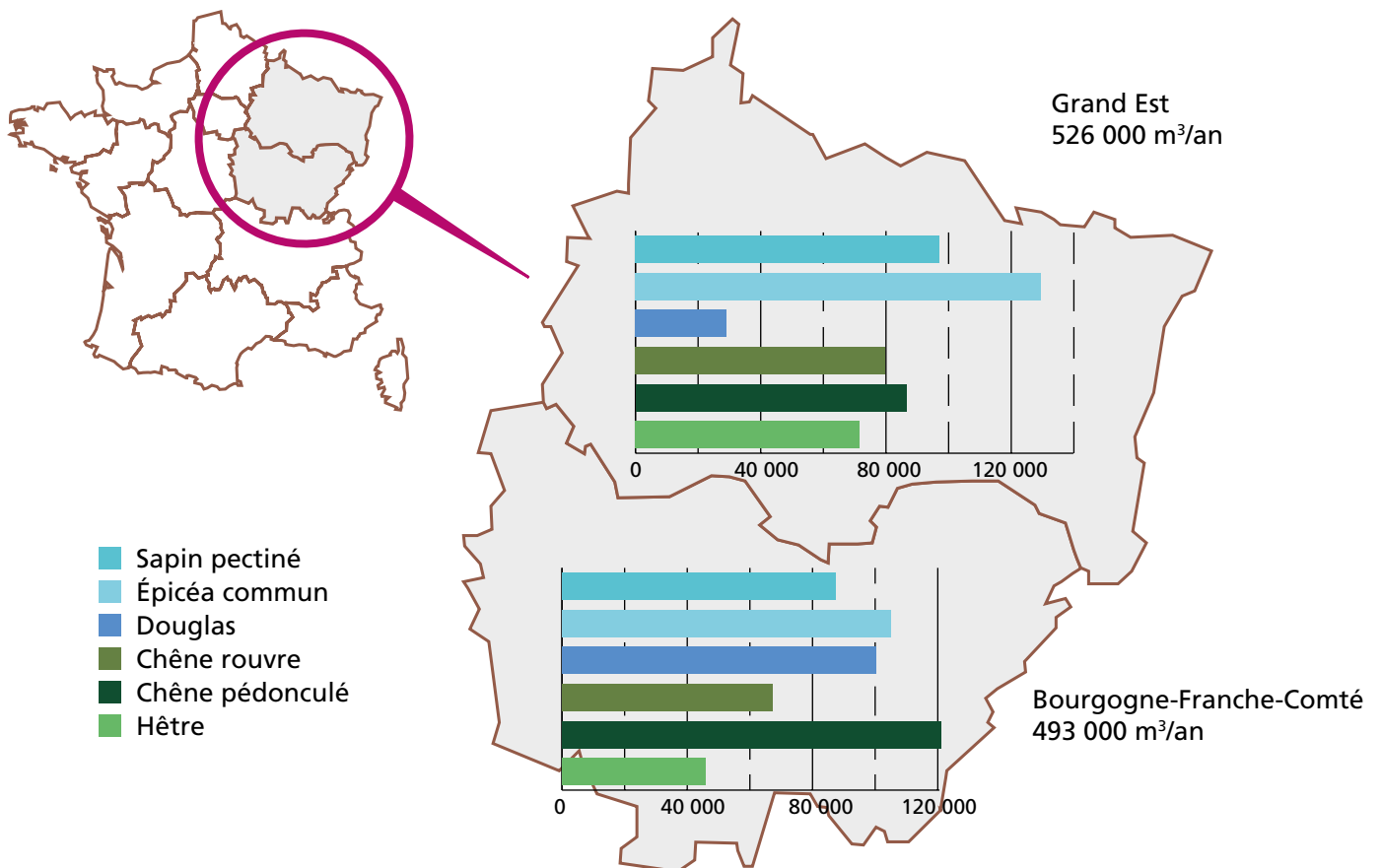


Figure 3 : Exemple d'évaluation des volumes d'écorce dans les tiges prélevées annuellement en Grand Est et en Bourgogne-Franche-Comté dans la période 2005-2019.

ÉVALUER LES RESSOURCES PRÉSENTES DANS LES TERRITOIRES

La connaissance des composés d'intérêt qui se trouvent dans les arbres forestiers constitue la première étape du développement de filières bioéconomiques assises sur les produits biosourcés. Il est ensuite nécessaire de connaître les quantités totales de produits qui se trouvent dans la ressource des forêts à l'échelle des territoires afin de favoriser les circuits courts.

Le projet ExtraForEst a été l'occasion de développer des fonctionnalités innovantes d'analyse des ressources. Un prototype

d'outil d'aide à la décision a été créé par l'assemblage de « briques » logicielles déjà existantes à l'IGN et INRAE, et l'ajout de nouvelles fonctionnalités spécifiquement liées à la bioéconomie (figure 4).

Pour un territoire donné, l'outil permet de quantifier les ressources en forêt (volumes, biomasses et quantités d'extractibles pour le bois, l'écorce et les nœuds) et d'amorcer l'analyse de l'articulation entre ces ressources et le tissu industriel des filières bois locales.

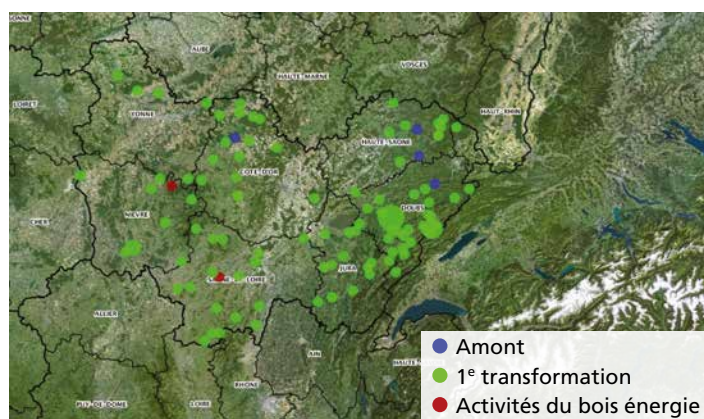


Figure 4 : Page d'accueil de l'outil développé par l'IGN dans ExtraForEst

Il offre quatre grands types de fonctionnalités :

- **Localisation de points d'intérêts :**

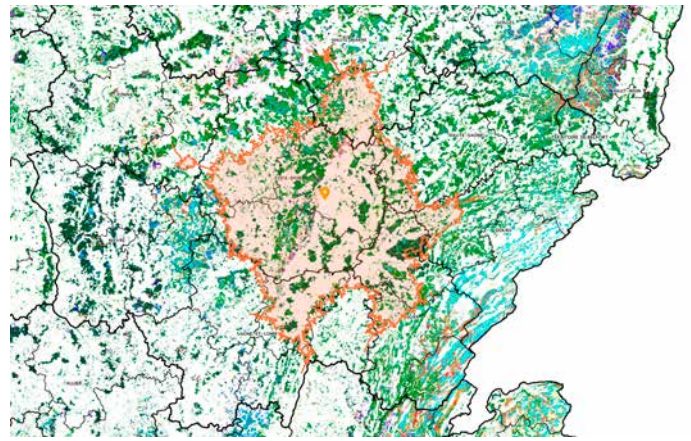
Cette fonctionnalité permet de créer, sur fond de carte IGN, des scieries, des papeteries, etc., et de les décrire sommairement. La couleur et la taille du point varient par exemple selon la catégorie qui lui a été affectée et les volumes de matière transformés. L'idée est de pouvoir positionner les différents acteurs d'une filière dans l'espace, ce qui fournit un premier élément d'analyse du système économique du territoire et peut apporter de précieuses informations dans l'optique du développement d'une filière bioéconomique, dont l'un des leviers est de mieux valoriser localement les co-produits industriels comme les connexes de scierie.



Localisation des points d'intérêt

- **Création de bassins géographiques :**

Des contours géographiques (qui correspondent par exemple au bassin d’approvisionnement des entreprises définies avec la fonctionnalité précédente) peuvent être délimités par différents moyens (exemple : sélection de communautés de communes, tracé de cercles d’un rayon donné, calcul d’isochrones ou d’isodistances, etc.). Il est alors possible de consulter la carte des essences forestières de la zone d’intérêt (BD Forêt@V2 décrivant la couverture forestière française selon une nomenclature comprenant 32 grands types de peuplements (7)) et de connaître la surface occupée par chaque type de peuplement.



Création d’un bassin géographique (1h de route autour de Dijon)

- **Calcul de la ressource forestière :**

L’outil permet ensuite de calculer les volumes, biomasses et quantités d’extractibles dans les différents compartiments des ressources forestières qui sont présentes dans les bassins géographiques d’intérêt. Pour cela, l’application interroge la base de données IFN préalablement enrichie des nouvelles données sur les nœuds et l’écorce, en ne retenant que les placettes d’inventaire qui se trouvent dans la zone sélectionnée par l’utilisateur. Les résultats détaillent le volume sur pied mais aussi les prélèvements récents observés avec l’enquête IFN. Enfin, pour la région Grand Est, il est également possible de connaître les disponibilités futures qui ont été calculées préalablement, à l’occasion de la préparation du Programme Régional Forêt-Bois.

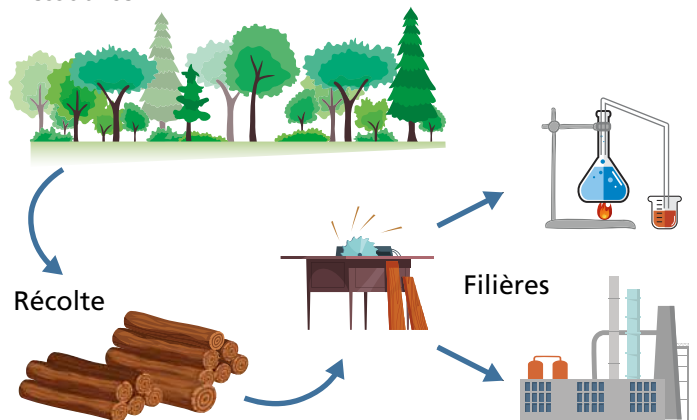
Essence	Extractibles d’écorce prélevés annuellement (x1000 t/an)		
Total	10	±	3
Chênes	8	±	2
Hêtre	2	±	1
Épicéa	0	±	0
Sapin	0	±	0
Douglas	0	±	0

Calcul d’une ressource au sein du bassin

- **Analyse de filière :**

Les données sur la ressource forestière peuvent finalement être intégrées à un modèle décrivant chaque maillon de la filière afin d’étudier, dans une logique de circularité, les stocks et flux de matières (en volume, biomasse ou carbone) depuis la ressource forestière jusqu’aux produits finis. Pour cela la ressource forestière du territoire calculée précédemment est mise en forme dans un fichier qui peut être lu directement par le modèle CAT (Carbon Accounting Tool) d’INRAE. Après conversion des volumes en carbone, il devient notamment possible d’établir la comptabilité carbone du système forêt-bois étudié en prenant en compte les stocks forestiers, les stocks des produits bois et les effets substitution (émissions de carbone évitées par l’usage du bois en remplacement d’autres matériaux) propres à chaque type d’usage.

Ressource



Mise en forme des données de ressource pour analyse de la filière

À noter que les quantités d’extractibles calculées à partir de l’outil sont basées sur l’utilisation d’un solvant « eau + éthanol » pour l’extraction et supposent un temps très court entre la récolte de la matière et la réalisation de l’extraction. Ces chiffres sont à interpréter comme des indicateurs d’un potentiel maximum. En réalité, il y a un risque que des pertes importantes surviennent entre la récolte et l’extraction. Pour les écorces par exemple, il est possible qu’une partie de la matière soit perdue lors de l’exploitation (en fonction du mode d’exploitation) ou du transport, ou encore qu’une certaine partie des extractibles soit lessivée avant l’extraction chimique, selon les conditions et le temps de stockage entre la récolte des écorces et leur usage. De plus, les quantités d’extractibles pouvant réellement être obtenues dépendront dans une large mesure des

quantités d’écorce qui pourront effectivement être redirigées vers cet usage.

L’appariement entre ces nouvelles fonctionnalités et la base de données IFN enrichie permet finalement de produire des connaissances nouvelles sur des ressources forestières jusqu’ici non détaillées (nœuds, écorce, extractibles) et à des échelles telles que la région, le département ou le bassin de production (quelques dizaines de milliers d’hectares minimum). L’outil offre aussi des premières possibilités d’analyse de la performance carbone des filières, par le positionnement des acteurs dans l’espace ainsi que l’intégration des données forestières dans un modèle dédié à l’analyse et la modélisation des flux de matière dans les filières.

Le développement local et en circuit court des filières suggéré par la bioéconomie nécessite, outre une connaissance chiffrée de la ressource à l'échelle de territoires, une spatialisation des informations au sein des zones d'intérêt. Cette localisation fine est d'autant plus importante quand des ressources particulières sont recherchées pour une filière. Pour la récolte de résine, par exemple, seuls certains types de peuplements spécifiques et certaines essences sont intéressants à gemmer. En effet, cette pratique est généralement réalisée quelques années avant la coupe définitive de peuplements de pins matures, ou plus rarement sur des peuplements de pins difficilement exploitables et ne trouvant pas d'autres valorisations possibles. L'édition de cartes visant à localiser de tels peuplements peut donc être utile pour favoriser le (re)déploiement de cette pratique ancestrale.

L'implication de l'IGN dans le projet GemmEst a consisté à proposer une méthode de localisation des peuplements de pin sylvestre d'intérêt potentiel pour le gemmage. Cette méthode, appliquée d'abord au département de la Haute-Loire, repose sur l'utilisation combinée de plusieurs données géographiques et forestières produites par l'IGN.

La méthode comporte trois étapes successives, chacune requérant une ou plusieurs données de l'IGN :

- la première étape consiste à localiser les peuplements purs de pin sylvestre en utilisant la BD Forêt® V2 ;
- la seconde étape consiste à évaluer les conditions d'accessibilité de ces peuplements, par croisement de diverses informations géographiques permettant de caractériser la distance aux routes (à partir de la BD Topo®), la pente (à partir du RGE Alti®) et le type de propriété forestière (à partir d'informations sur la propriété et la présence de document de gestion fournies par l'ONF et le CNPF) ;
- enfin, la troisième étape vise à qualifier le degré de maturité des peuplements, par croisement entre un modèle numérique de hauteur (MNH, donnant la hauteur des peuplement par différence entre le modèle numérique de surface [MNS] et le modèle numérique de terrain [MNT] produits par l'IGN) et le volume de bois calculé sur les placettes d'inventaire dans le Sud-Est du Massif central. Il devient ainsi possible de cartographier la classe de volume de bois sur pied de l'ensemble des peuplements de pins sylvestres du territoire.

En croisant entre elles différentes données produites par l'IGN (BD Topo®, RGE Alti®, MNS, MNT, carte des propriétés forestières, données dendrométriques de l'enquête IFN), il est finalement possible de produire des informations spatialisées utiles au développement de filières bioéconomiques locales (figure 5).

Cette méthodologie, ici appliquée au cas particulier du gemmage du pin sylvestre, est complètement transposable à d'autres essences et peuplements, sur d'autres territoires et pour répondre à une diversité d'enjeux.



Poche de récolte de gomme sur un résineux © A. Clopeau - FCBA

Données géographiques, forestières et statistiques de l'IGN :

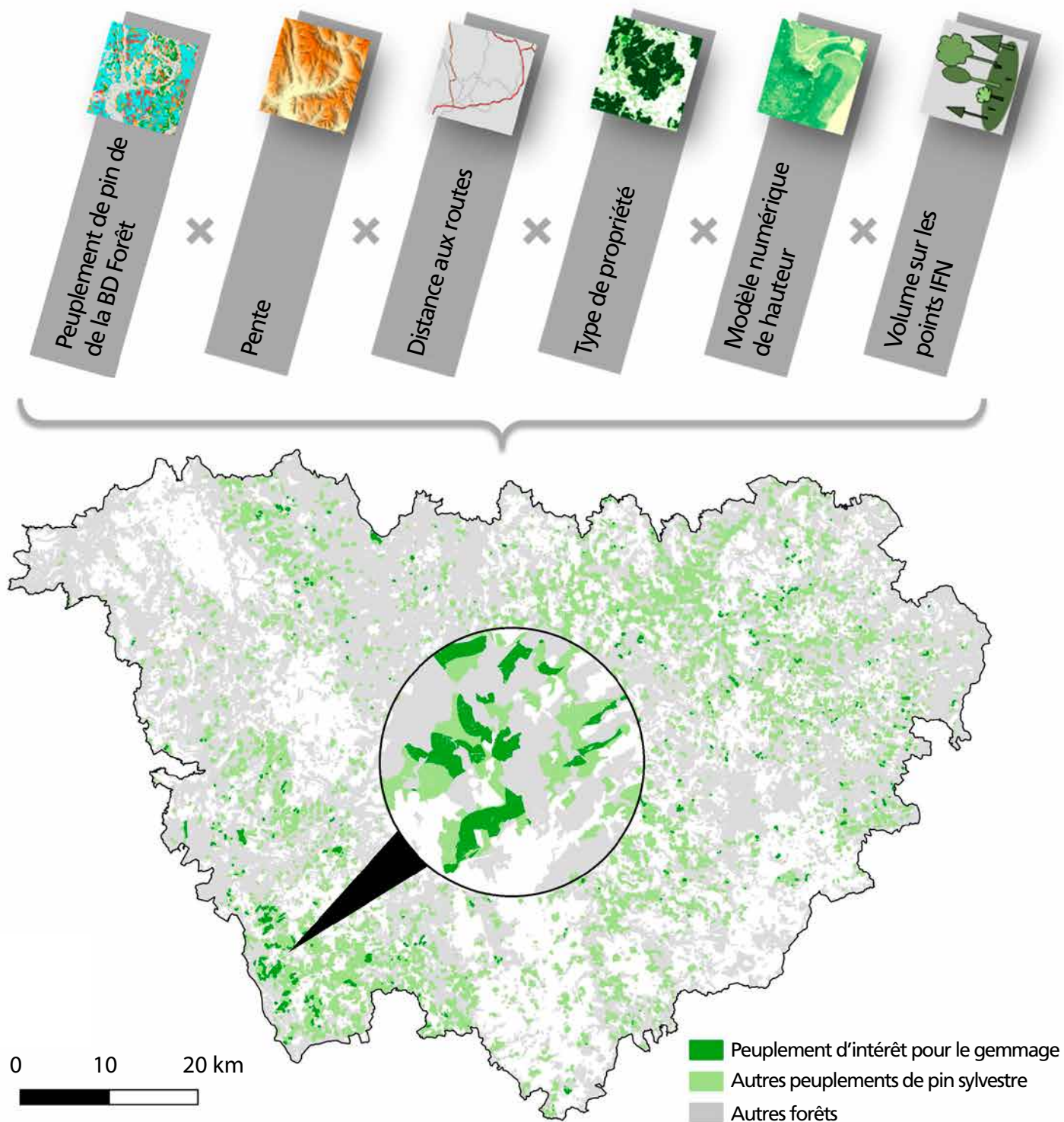


Figure 5 : Cartographie des peuplements de pin sylvestre d'intérêt potentiel pour le gemmage en Haute-Loire.

CONNECTER LES RESSOURCES FORESTIÈRES AUX FILIÈRES FORÊT-BOIS

La connaissance des ressources présentes dans les écosystèmes forestiers pourvoit des informations importantes pour la gestion et l'utilisation de ces ressources. Toutefois, elle n'est pas suffisante pour avoir une image précise des ressources mobilisables pour les filières bioéconomiques. En effet, certains secteurs peuvent s'approvisionner en matière première majoritairement voire exclusivement au sein même du tissu industriel (figure 6).

Ils utilisent ainsi les produits et co-produits (matière inévitablement créée lors de la fabrication du produit principal, comme les écorces, sciures, délignures, dosses, liqueurs noires) générés par d'autres processus industriels.

Par exemple, les industries de la seconde transformation du bois (charpente, menuiserie, panneaux et parquets, industries de l'emballage et de la palette, tonnellerie, papier et carton, etc.) recourent aux produits et co-produits issus de la première transformation (scieries, usine de trituration). Ces co-produits sont aussi valorisés dans les processus industriels sous forme d'électricité ou de chaleur, ou peuvent être commercialisés par leurs producteurs pour produire de l'énergie (plaquettes de scierie, pellets) ou plus récemment pour le paillage des serres horticoles ou des espaces verts (écorces).

Compte tenu de cette propension à valoriser l'ensemble de la biomasse des arbres récoltés, on comprend que la filière forêt-bois s'inscrit d'ores et déjà assez largement dans un cadre bioéconomique.

Néanmoins, l'émergence de pratiques comme l'extraction chimique ouvre la voie à une optimisation plus poussée de l'usage des ressources forestières. En effet, la valorisation chimique étant potentiellement non destructive (l'extraction peut se faire par application d'un solvant type eau-éthanol, auquel cas la matière est conservée à l'issue du processus et peut donc être valorisée sous des formes industrielles classiques) et requérant (dans le cas des extractibles) peu de matière première, elle aurait plutôt recours aux co-produits de la 1^e transformation et viendrait se placer en amont (usage en cascade) ou en parallèle d'une autre utilisation, permettant ainsi d'accroître la valeur ajoutée sans bouleverser les schémas d'approvisionnement en vigueur dans la filière.

Pour le cas concret de l'écorce, une utilisation en extraction chimique des écorces de scierie en amont d'une autre utilisation (énergétique, par exemple) est envisageable, pour un usage en cascade permettant d'accroître la valeur ajoutée sans recourir à une augmentation de la consommation de matière première. La filière de production d'hydrogène à partir du bois s'inscrit dans la même logique, en générant un co-produit sous forme de charbon de bois.

L'intrication entre les différents acteurs et la possibilité d'approvisionnement à différents niveaux de la filière forêt-bois souligne que pour définir une politique forêt-bois durable, il convient de prendre en compte à la fois les ressources brutes présentes en forêt, mais aussi l'ensemble des produits et co-produits générés par les différents secteurs utilisateurs de ces ressources.

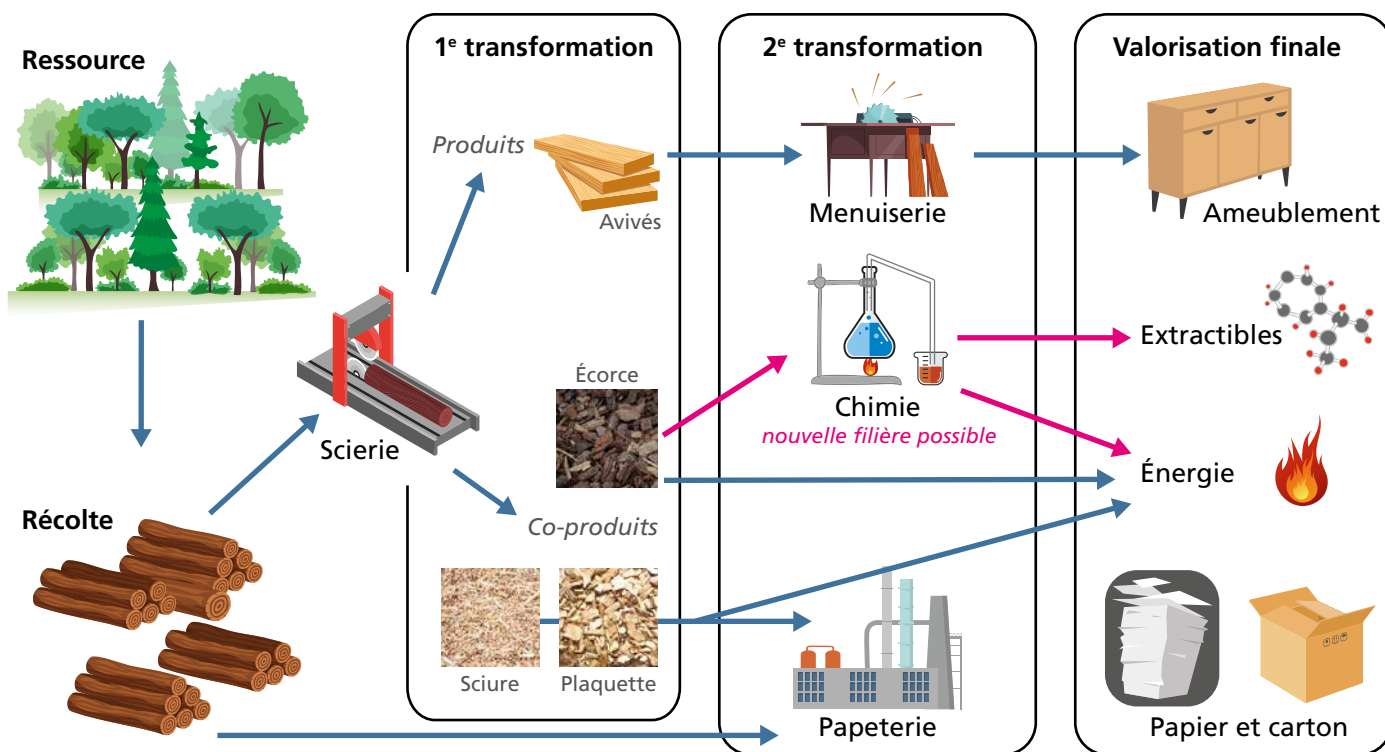


Figure 6 : Illustration simplifiée d'une filière et de son articulation avec la ressource forestière.

C'est dans cet objectif d'une meilleure connaissance des stocks et flux de matière d'origine forestière dans les filières que des travaux ont été menés par l'IGN et INRAE. Ces travaux ont permis d'analyser et de tester le rapprochement possible entre des outils déjà existants, à savoir l'outil d'analyse des ressources forestières de l'IGN, l'outil CAT et l'outil d'analyse des flux des filières biomasse (AF Filières) développé par Inria, Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (8). L'approche visait à combiner les forces propres à chaque outil pour mettre au point une méthode reproductible d'analyse des stocks et flux de matière le long des maillons de la filière, depuis la ressource sur pied jusqu'aux produits finis issus des filières de valorisation de cette ressource (encadré 3 page 14).

En convertissant les stocks et flux de matière en équivalents carbone, la méthode permet de calculer les quantités de carbone stockées dans les produits bois ainsi que les émissions évitées par effet de substitution (Figure 7).

L'utilisation complémentaire des différentes sources d'informations et outils permet finalement d'appréhender de manière plus exhaustive et détaillée la filière forêt-bois, en faisant la jonction entre les ressources en forêt et le système économique (flux de

matière entre les secteurs d'activité en volumes, biomasses ou quantités de carbone). Une vision intégrative des quantités de matière et de la localisation des gisements tout au long de la chaîne de valeur forêt-bois permet *in fine* de cibler les leviers d'actions pour optimiser l'utilisation de ces ressources.

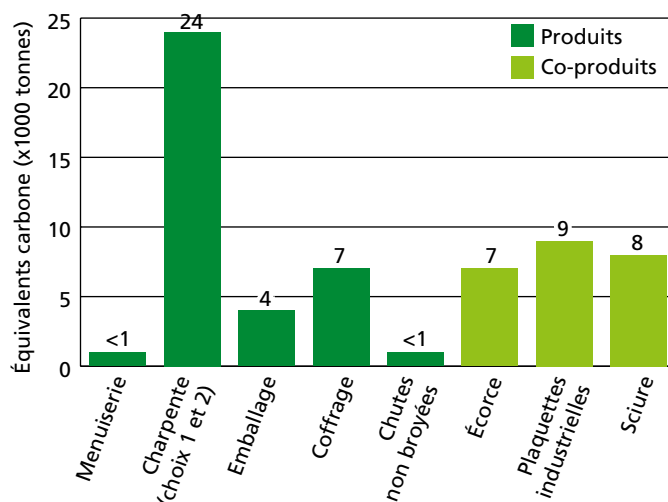


Figure 7 : Carbone stocké annuellement dans les produits et co-produits issus du sciage résineux sur un territoire d'étude dans les Vosges (territoire Vosges Montagne)

ENCADRÉ 2 : FOCUS SUR CARTOFOB

L'IGN développe depuis 2020 pour le compte des ministères chargés des forêts et de l'environnement et l'ADEME, un outil de visualisation cartographique des données statistiques du module forêt-bois de l'Observatoire national des ressources en biomasse (ONRB).

Cet outil d'aide à la décision intitulé CARTOFOB vise à apporter aux décideurs une vision bioéconomique intégrée en permettant aux services de l'État et à l'ADEME de connaître à la fois les disponibilités forestières et les quantités de biomasse déjà mobilisées pour des usages énergétiques aux niveaux régional et infrarégional.

Les perspectives d'amélioration restent nombreuses ; elles concernent tout à la fois l'amélioration de la qualité et de l'exhaustivité des données descriptives de filière, l'actualisation et l'enrichissement des indicateurs forestiers, l'élargissement des services proposés avec notamment l'ajout d'un module de bilan offre/demande, ou encore l'extension de l'outil aux filières bois d'œuvre et bois industrie qui sont complémentaires aux filières bois énergie.

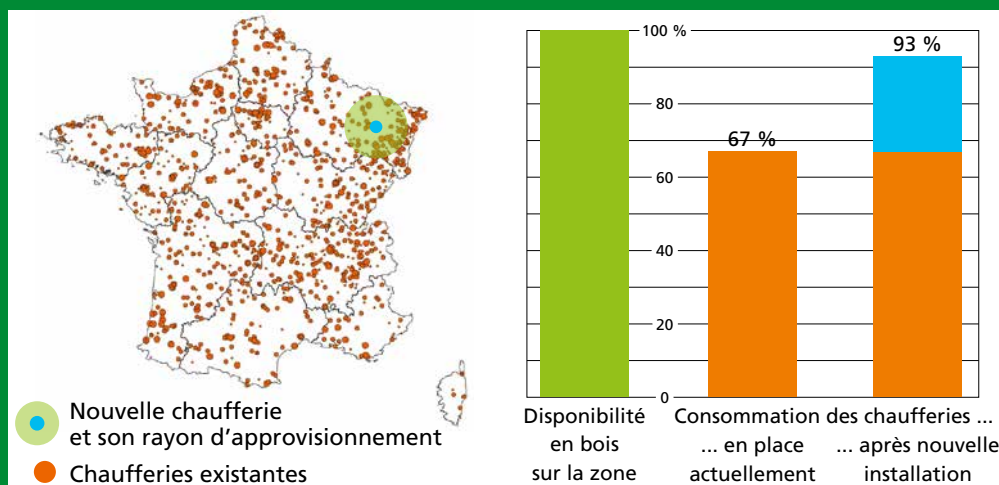


Illustration d'une fonctionnalité prévue dans CARTOFOB, visant pour un territoire donné à évaluer l'impact qu'aurait l'installation d'une nouvelle entreprise.

ENCADRÉ 3 : ALLIER LES OUTILS IGN, AF FILIÈRES ET CAT POUR DÉCRIRE LES FILIÈRES FORESTIÈRES

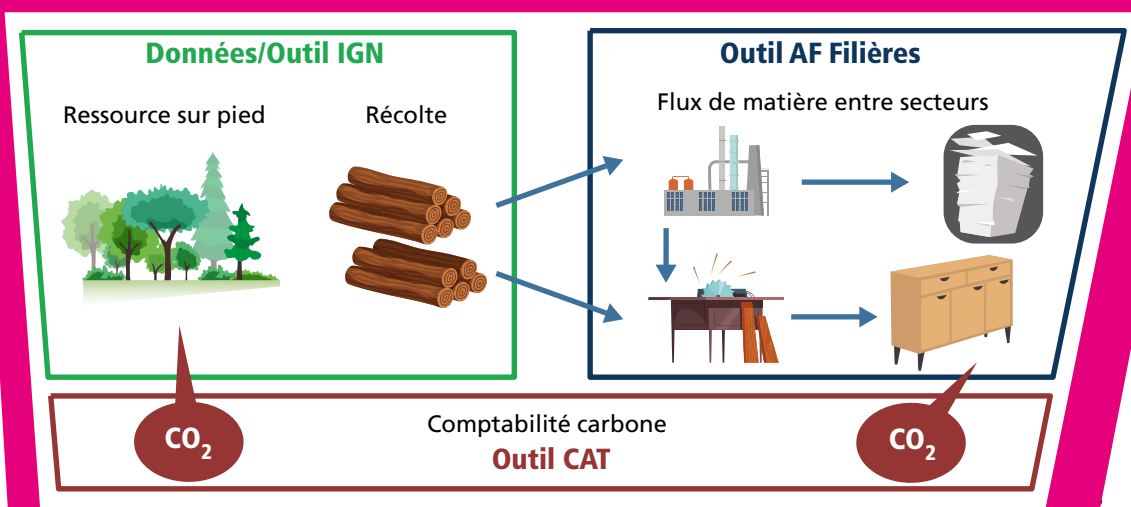
AF Filières est un outil d'agrégation, de réconciliation et de visualisation des données de flux de matière, applicable à une filière spécifique. Il vise à rendre cohérentes les données issues de diverses sources et exprimées parfois dans différentes unités de compte, en calculant les ajustements à réaliser pour parvenir à cette cohérence à partir de l'incertitude ou du niveau de confiance de chacune. L'outil propose également des valeurs pour des flux non présents dans les données d'entrée, mais déductibles de celles-ci.

Le gros avantage d'AF Filières est de réunir dans un même environnement des données réconciliées issues de sources très différentes, depuis les volumes de bois récoltés en forêt jusqu'aux produits bois et leur destination (international, transferts entre régions). Ces données sont disponibles au niveau national et régional. Elles ont été actualisées en 2020-2021 pour la région Grand Est dans le cadre d'un travail mené en collaboration entre la DRAAF Grand Est, l'IGN, INRAE, l'interprofession FIBOIS Grand Est et Inria.

AF Filières facilite grandement la constitution et la prise en main de l'ensemble des données nécessaires à une analyse systémique des filières. Cet avantage est criant dans le cas de la filière forêt-bois caractérisée par des données multiples, provenant de sources diverses (IGN, DRAAF, Douanes, etc.) et potentiellement incohérentes.

CAT est un modèle d'allocation du carbone forestier dans les produits bois. Basé sur une modélisation de la répartition des flux de matière entre les secteurs d'activité de la filière, l'outil permet d'évaluer l'effet de différentes stratégies forêt-bois sur l'atténuation du changement climatique, que ce soit par la séquestration de carbone dans les produits bois ou par les émissions évitées par effet de substitution. CAT est en outre conçu pour pouvoir facilement tester des modifications dans le schéma de filière et traiter des séries temporelles, par exemple issues d'un modèle de projection des disponibilités forestières comme le modèle MARGOT de l'IGN.

Basée sur l'utilisation complémentaire des outils IGN, AF Filières et CAT, une méthode a été développée pour modéliser les stocks et les flux de matière d'origine forestière, depuis la ressource sur pied jusqu'aux produits finis. Les données AF Filières décrivent les filières au niveau national ou régional, mais il est également possible d'atteindre l'échelle infrarégionale (celle des bassins) avec l'outil CAT à condition de considérer que les proportions régionales sont conservées à échelle plus locale. La méthode permet cependant de réaliser des enquêtes auprès de panels d'acteurs territoriaux afin de recueillir des informations permettant de mieux prendre en compte les particularités des territoires.



Méthode d'analyse intégrative du secteur forestier
basée sur l'utilisation complémentaire des outils
IGN, AF Filières et CAT.

BILAN DES TRAVAUX ET PERSPECTIVES

Les développements menés dans le cadre des projets ExtraForEst et GemmEst ont généré des progrès notables dans nos connaissances des ressources forestières d'intérêt bioéconomique. Ces progrès sont essentiellement visibles au niveau :

- de l'enrichissement du catalogue de données forestières de l'IGN ;
- du développement des outils permettant de valoriser ces données ;
- de la connexion entre les ressources forestières et les stocks et flux de matière dans les filières.

Les travaux amorcés ouvrent des perspectives multiples. Si les données forestières ont été enrichies, il reste un nombre considérable de composés forestiers encore peu ou non documentés (feuilles, racines, sève, composés non produits par les arbres, etc.), mais tout à fait susceptibles de constituer des ressources valorisables dans des filières bioéconomiques. De plus, du fait de méthodes particulièrement lourdes et d'un échantillonnage intensif, seul un petit nombre d'arbres de quelques espèces ont été étudiés. Pour consolider ces connaissances, il conviendrait à la fois de travailler sur un échantillon d'arbres plus important, ainsi que sur des essences encore non étudiées mais abondantes dans la forêt française.

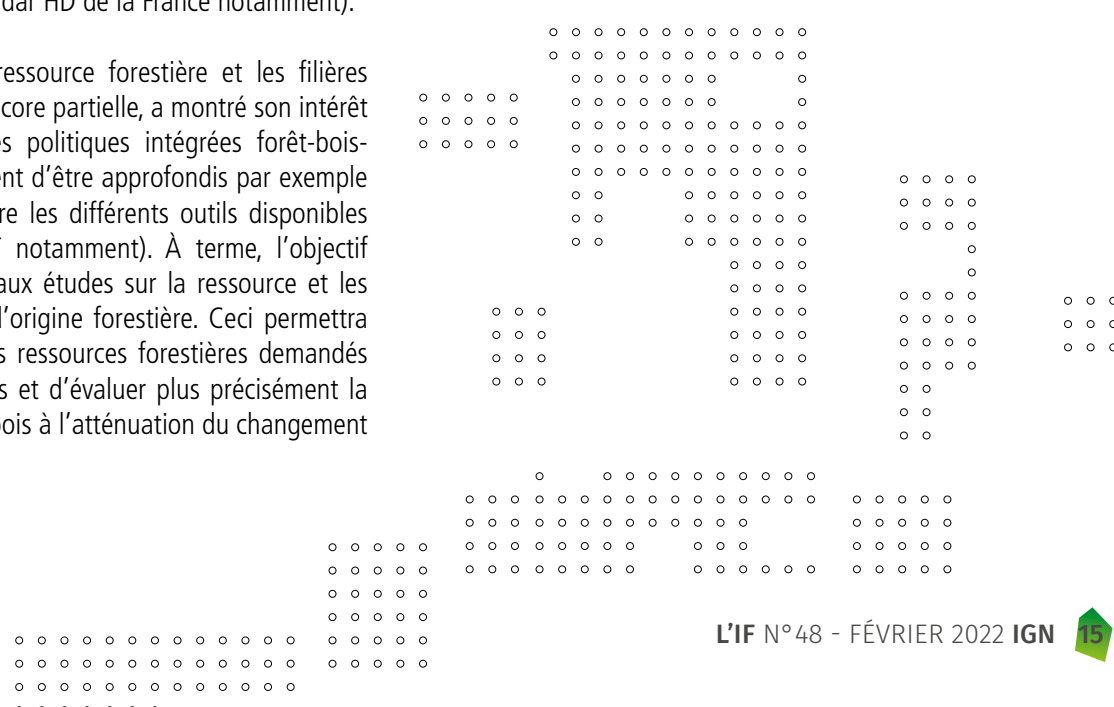
Concernant la cartographie, la méthode présentée dans ce numéro permet de localiser des peuplements d'intérêt potentiel pour le gemmage, mais est parfaitement adaptable et généralisable pour spatialiser plus largement les ressources forestières et des peuplements à enjeux, notamment dans un cadre de développement de la bioéconomie. Cette méthode bénéficiera de gains en précision et en robustesse dans les années à venir, entre autres grâce à l'amélioration de la qualité des modèles numériques (dans le cadre du programme Lidar HD de la France notamment).

Enfin, la connexion entre la ressource forestière et les filières associées, même si elle reste encore partielle, a montré son intérêt pour optimiser le pilotage des politiques intégrées forêt-bois-carbone. Ces travaux mériteraient d'être approfondis par exemple en améliorant le couplage entre les différents outils disponibles (outil IGN, AF Filières et CAT notamment). À terme, l'objectif est de joindre cette méthode aux études sur la ressource et les disponibilités futures en bois d'origine forestière. Ceci permettra d'étoffer les diagnostics sur les ressources forestières demandés par les décideurs des territoires et d'évaluer plus précisément la contribution de l'activité forêt-bois à l'atténuation du changement climatique.

Si la bioéconomie ouvre des perspectives intéressantes pour optimiser l'utilisation des ressources forestières, elle n'est pas sans dilemme. Les forêts françaises contribuent à la production de nombreux biens et services marchands et non marchands qui font l'objet d'orientations politiques pouvant sembler contradictoires, comme le maintien voire l'augmentation des stocks de carbone en forêt pour lutter contre la hausse de l'effet de serre d'une part (les forêts métropolitaines séquestrent environ 80 millions de tonnes de CO₂ supplémentaires chaque année) et la fourniture accrue de matériaux et énergies renouvelables pour décarboner massivement l'économie d'autre part. Par exemple, la nouvelle réglementation environnementale pour la construction (RE2020) encourage fortement l'utilisation du bois pour accroître les effets de substitution et de stockage du carbone dans les produits bois.

Bien que les ressources forestières soient abondantes en France, la durabilité à moyen terme des forêts est aujourd'hui menacée par une multiplication des crises sanitaires aggravées par les impacts du changement climatique, des pratiques de gestion parfois nuisibles à la fertilité des sols, une pression accrue des grands herbivores qui peut compromettre le renouvellement des peuplements, etc. Les forêts hébergent également une biodiversité ordinaire et remarquable qu'il convient de protéger.

Dans ce contexte de risques accrus sur les écosystèmes forestiers, la gestion durable des forêts françaises doit s'appuyer sur un panel d'outils variés dont la bioéconomie qui permet d'optimiser la gestion de cette ressource naturelle en promouvant notamment la circularité de l'utilisation des bois dans la filière (usage en cascade, valorisation des co-produits industriels).



À RETENIR

Le contexte d'émergence de filières bioéconomiques et de « décarbonation » de l'économie est porteur de multiples perspectives pour les ressources forestières et les secteurs industriels qui s'y adossent.

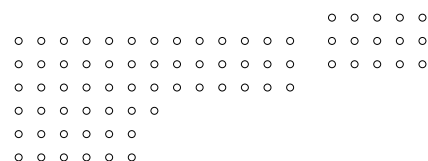
La bioéconomie peut s'intégrer dans l'objectif global de transition vers une société moins consommatrice de ressources et moins productrice de déchets, que ce soit par le recours à des ressources renouvelables locales, l'optimisation de leur utilisation (usage en cascade) ou le développement de circuits courts.

Afin d'accompagner un tel changement, il paraît incontournable de continuer les travaux pour arriver à des connaissances fines, détaillées et localisées des ressources forestières.

Les travaux récemment menés dans le cadre des projets ExtraForEst et GemmEst contribuent à la meilleure connaissance des ressources forestières, qui ne concernent pas seulement le bois, mais aussi les autres composés produits dans les écosystèmes forestiers (écorces, nœuds, extractibles, gemme).

Si une meilleure connaissance des ressources et de leurs valorisations possibles est importante, la capacité des filières à effectivement développer des usages complémentaires aux usages existants sera déterminante pour asseoir un fonctionnement économique assurant l'optimisation des ressources.

La poursuite des travaux, en particulier sur la connexion entre l'amont et l'aval de la filière, sera importante pour renforcer la conception systémique de la filière forêt-bois et ainsi accompagner le développement de la bioéconomie forestière.



La synthèse périodique de l'inventaire forestier

inventaire-forestier.ign.fr   

BIBLIOGRAPHIE

1. Groombridge B, Jenkins MD. *World atlas of biodiversity: earth's living resources in the 21st century*. s.l. : University of California Press, 2002.

2. Georgescu-Roegen, Nicholas. *The Entropy Law and the Economic Process*. s.l. : Harvard University Press, 1971.

3. *European Commission. Knowledge Centre for Bioeconomy*
knowledge4policy.ec.europa.eu/bioeconomy

4. *European Commission. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*. 2018.

5. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. *La bioéconomie, nouvelle vision du vivant*. agriculture.gouv.fr/la-bioeconomie-nouvelle-vision-du-vivant

6. *Une stratégie bioéconomie pour la France - Plan d'action 2018-2020*. agriculture.gouv.fr/une-strategie-bioeconomie-pour-la-france-plan-daction-2018-2020

7. IGN. *La BD Forêt V2 : Une cartographie forestière nationale pour les territoires*. L'IF. 2019, 46
inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/lif_46_poster.pdf

8. *AF Filières* www.flux-biomasse.fr

9. Axelos et al. *Réflexion prospective interdisciplinaire bioéconomie - Rapport de synthèse*. 2020.