



**HAL**  
open science

## Rapport d'activité du projet DEFIFORBOIS (DEveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre)

Nathalie Korboulewsky, Eric de La Rochère, J.F. Dhôte, Brigitte Musch,  
Chloé Boldrini, Christophe Bernard, Alain Colinot

### ► To cite this version:

Nathalie Korboulewsky, Eric de La Rochère, J.F. Dhôte, Brigitte Musch, Chloé Boldrini, et al.. Rapport d'activité du projet DEFIFORBOIS (DEveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre). [Rapport de recherche] INRAE, UR EFNO. 2021, pp.45. hal-03540587

**HAL Id: hal-03540587**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03540587>**

Submitted on 31 Jan 2022

**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.



## **RAPPORT D'ACTIVITE DU PROJET DEFIFORBOIS (2016-2020)**

### **DÉveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre**

Nathalie Korboulewsky et al., 4 février 2021

N° de la convention : 2015 – 00099651





**Projet DEFIFORBOIS**

**DÉveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre**

**Programme PSDR4 - Centre Val de Loire**

**Dates de début et de fin de projet : 1<sup>er</sup> janvier 2016 – 31 décembre 2020**

**Rédacteur.rice de ce rapport**

Civilité, prénom, nom	Mme Nathalie KORBOULEWSKY
Téléphone	02 38 95 03 55
Adresse électronique	<a href="mailto:nathalie.korboulewsky@inrae.fr">nathalie.korboulewsky@inrae.fr</a>
Date de rédaction	03/01/2021

**Mots clés libres associés au projet**

Français	Bioéconomie Bois énergie Exploitation durable Filière forêt-bois
Anglais	bioeconomy fuelwood sustainable harvest forest-wood industries

## Sommaire

Sommaire .....	4
1. Résumé consolidé public.....	5
2. Contribution au développement régional et territorial .....	7
3. Liste des partenaires .....	9
4. Cadre et réalisation des travaux scientifiques .....	9
3.1. Enjeux et problématique, état de l'art .....	9
3.2 Présentation des terrains.....	10
3.3 Présentation et implication des partenaires .....	11
3.4. Approches partenariales .....	12
5. Bilan des travaux réalisés.....	13
5.1. VR1 - Analyse de l'adéquation des pratiques et systèmes d'exploitation actuels aux contraintes environnementales et technico-économiques .....	13
5.2. VR2 - Observatoire des pratiques de récoltes bois-énergie.....	14
5.3. Volet de Valorisation 1 .....	15
5.4. VR3 – Vulnérabilité des peuplements et sélection d'essences.....	16
5.5. Volet de valorisation 2.....	16
5.6. Références .....	16
6. Discussion et conclusion générale.....	17
6.1. Discussion.....	17
6.2. Conclusion.....	18
6. Liste des valorisations scientifiques et de transferts .....	19
6.1 Valorisation scientifique au cours du projet (2016-2020).....	19
6.1.1 Actions de valorisation scientifique ( <i>détaillées en 6.1.2</i> ) .....	19
6.1.2 Liste des publications et communications.....	20
6.2 Valorisation opérationnelle au cours du projet (2016-2020) .....	22
6.2.1 Actions de valorisation opérationnelle ( <i>détaillées en 6.2.2</i> ).....	22
6.2.2 Liste des éléments de valorisation.....	23
6.3. Bilan des contributions individuelles aux projets de recherche	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
6.3.1 Contributions des personnels des organismes de recherche et partenaires	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
6.3.2 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
ANNEXES .....	29
ANNEXE 1 : Partenaires du projet .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
ANNEXE 2 : Résumé en anglais .....	30
ANNEXE 3 : Articles et communications .....	32
ANNEXE 4 : Article de vulgarisation sur le projet et de valorisation de la démarche	42

# 1. Résumé consolidé public

## Gérer durablement les forêts de la région Centre-Val de Loire et produire du bois énergie

### Comment récolter du bois dans les forêts pauvres de la région Centre pour produire durablement des matériaux et énergies renouvelables ?

Depuis dix ans, pour les peuplements pauvres ou déperissants, se développe une pratique de récolte mécanique suivie d'un broyage des arbres entiers pour produire des plaquettes forestières à destination des chaufferies biomasses. En broyant petites branches, brindilles, parfois feuilles et bois mort, on exporte des parcelles forestières beaucoup plus de minéraux, au risque de diminuer la fertilité des sols et de supprimer des habitats, ce qui est contraire à la gestion durable des forêts. Alors que la société demande plus de matériaux et d'énergie renouvelable, comment récolter et gérer ces peuplements sans détériorer la faible fertilité des sols ? Quel reboisement pour leur donner un avenir après récolte ?

INRAE, FCBA, ONF, le CNPF, Unisylva et Arbocentre ont analysé les techniques de récolte en plaquettes forestières, leurs impacts sur la fertilité du sol et la biodiversité, et proposent d'expérimenter le comportement de nouvelles essences en plantation avec le souci d'assurer une gestion durable des forêts de la région dans le contexte d'urgence climatique.

### Analyse des pratiques de récolte du bois énergie sur les forêts de la région, et nouvelles essences potentielles

Une analyse des matériels de récolte du bois énergie et des moyens humains par type de coupe et de peuplement a été réalisée à partir des bases de données d'Arbocentre et de FCBA ; 236 questionnaires ont été envoyés aux entreprises de la filière forêt-bois. En parallèle, l'étude environnementale a porté sur la sensibilité des sols aux récoltes par arbres entiers en s'appuyant sur plus de 4 300 points de relevés de l'inventaire forestier national (IGN) et sur neuf chantiers de récolte. DEFIFORBOIS a permis de réaliser un suivi technico-économique et environnemental en caractérisant les volumes, les essences, les sols, la biodiversité avant et après la coupe, et par suite, en quantifiant les nutriments exportés et d'évaluer l'impact sur la fertilité des sols et sur la biodiversité. Ces travaux complètent les projets INSENSE et GERBOISE à l'échelle nationale.

Une analyse bibliographique et une synthèse des essais dans différents arboretums français en lien avec le projet ESPERENSE ont permis d'établir la vulnérabilité des essences au changement climatique par région forestière en France métropolitaine, et une liste d'essences à tester.

### Les principaux résultats sont les suivants :

Le bois forestier des chaufferies provient à 40% de taillis sous futaie convertis en futaies, à 30% de coupes rases de taillis pauvres et à 30% de travaux d'entretien ou de récupération de branches.

Les sols régionaux sont très majoritairement pauvres et acides, fortement carencés en phosphore (P), potassium (K) et magnésium (Mg). La récolte des arbres entiers double les exports de nutriments par rapport à une exploitation traditionnelle. Associée à l'export de bois morts et de feuilles, elle peut conduire à la perte de fertilité des sols pauvres et supprimer des habitats utiles à la biodiversité.

Les essences forestières à enjeu économique de la région Centre sont particulièrement vulnérables au changement climatique attendu. Le pin sylvestre et le chêne pédonculé sont menacés. Le chêne sessile, plus résilient, doit être favorisé. Après coupe, il est préconisé de replanter des essences adaptées au sol et au climat futur en gardant un accompagnement ligneux peu concurrent maintenant ambiance forestière et biodiversité.

### Principaux résultats de valorisation :

Lors de 19 réunions de présentation des services rendus par la forêt et le bois à la société, le principe d'une gestion dynamique de la forêt permettant de séquestrer, stocker et substituer plus de carbone fossile a été largement entendu.

Une carte de sensibilité des sols forestiers, 52 fiches d'essences adaptées à la région Centre et un cahier des charges pour installer des plantations comparatives ont été établis.

Plusieurs articles scientifiques et techniques ont été soumis à la publication. Des préconisations de récolte et un outil d'aide à la décision pour une gestion adaptée aux sites ont été formulés.

**DEFIFORBOIS**, coordonné par INRAE en région Centre-Val de Loire, mené avec FCBA, l'ONF, le CNPF, Unisylva et Arbocentre, a démarré en janvier 2016 et se terminera en décembre 2020. Il a bénéficié d'une aide de 173 000 € du Conseil régional pour un coût marginal global de l'ordre de 350 000 €. Il a bénéficié d'une aide complémentaire via le programme PSDR4 d'INRAE de 168 000€.

## 2. Contribution au développement régional et territorial

Le bois énergie est une ressource dont la demande ne cesse d'augmenter. Les grosses centrales de cogénération installées à Orléans et Tours mobilisent plus de 300 000 m<sup>3</sup> de plaquettes forestières annuellement. En région Centre, les besoins en bois supplémentaires à récolter sont estimés par Arbocentre à 250 000 m<sup>3</sup> d'ici 2023 dont 188 000 t de bois énergie pour alimenter les 280 chaufferies installées, en projet ou en construction. Or, il existe en amont de la filière une disponibilité théorique significative, principalement en forêt privée, permettant de répondre à la demande en matériau bois massif et fibres et valorisable en bioénergies et chimie. Il est nécessaire que cette récolte de bois énergie supplémentaire se fasse dans de bonnes conditions techniques et environnementales. Accroître et optimiser la mobilisation de cette ressource dans le cadre d'une gestion forestière productive et environnementale est d'ailleurs une des priorités de la stratégie de la filière forêt-bois régionale pour 2019-2023.

Cette récolte supplémentaire de bois doit se faire dans de bonnes conditions techniques et environnementales. Accroître et optimiser la mobilisation de cette ressource dans le cadre d'une gestion forestière productive et environnementale est d'ailleurs une des priorités de la stratégie de la filière forêt-bois régionale (CAP Forêt-Bois 2019-23). Pour cela, plusieurs verrous concernant l'amont de la filière doivent être déverrouillés. Il faut notamment que les exploitants disposent de moyens appropriés et de conseils pertinents dans le respect d'une gestion durable et que les propriétaires soient informés sur les nouveaux modes d'exploitation et guidés sur les réorientations sylvicoles à opérer en cohérence avec les contraintes économiques et environnementales. Le projet DEFIFORBOIS a apporté des données, des recommandations et des outils d'aide à la décision qui contribueront au déblocage de ces verrous.

Les partenaires du projet incluent les principaux acteurs régionaux de la filière forêt-bois (Arbocentre, Coopérative Unisylva, CNPF, ONF), ce qui permet un ajustement des recommandations aux contraintes technico-économiques de terrain. De plus, ce partenariat assure un transfert rapide de la connaissance scientifique aux acteurs de la filière locale. La filière d'alimentation régionale en plaquettes forestières est constituée d'une multitude d'opérateurs de travaux forestiers (exploitants-bucheron ; conducteurs d'engins (pelle mécanique, débusqueuse, broyeur lourd, camion benne), techniciens logistiques et technicien de mobilisation. On retrouve ces opérateurs regroupés au sein de structure comme les coopératives forestières ou l'ONF Energie mais aussi de nombreuses petites entreprises individuelle (ou avec 1 ou 5 salariés) disséminée dans le territoire. Ce maillage d'entreprises constitue une richesse pour le territoire mais reste fragile économiquement. Les résultats et la valorisation issue de ce projet devrait permettre de dynamiser la filière forêt bois locale encourageant la modernisation des entreprises d'exploitation de travaux forestiers, en permettant le développement des entreprises d'exploitation du bois tout en assurant la durabilité eco-environnementale des nouvelles pratiques. En favorisant le déblocage de l'accès à la ressource et sa pérennisation, il conditionnera la création d'emplois et de richesse à court et moyen terme. À court-terme, ce sont des emplois qualifiés, dans le perfectionnement de l'exploitation forestière, liés à la mobilisation de nouvelles ressources en forêt privée qui sont escomptés. Rien que pour le secteur bois énergie les 300 000 t supplémentaires représentent au moins 30 emplois ruraux directs créés et donc à peu près autant d'emplois indirects qui maintiendront ou développeront la vitalité des territoires ruraux.

Ce projet est en cohérence avec les actions de développement du Programme CAP Filière forêt bois et apporte des bases scientifiques pour les actions du programme des années suivantes. Le projet DEFIFORBOIS a franchi une étape importante vers des connaissances et des outils pour aider les acteurs amont de la filière forêt-bois régionale à relever le double défi d'adapter les forêts au changement climatique et d'augmenter l'offre d'énergies renouvelables (bois énergie) et de matériaux bio-sourcés, en proposant des scénarios de mobilisation du bois et de renouvellement de la forêt qui répondent aux critères de durabilité (économique, sociale, environnementale).



En se référant aux recommandations basées strictement sur le diagnostic de sensibilité du sol établi au niveau national (INSENSE), la récolte des bois en arbre entier ne serait durablement envisageable que sur une surface minimale. Selon les sylvoécotérrains (SER), de 55 à 94% (respectivement pour les SER Pays-Fort Nivernais et plaines prémorvandelles à l'Est du département, et Sologne-Orléanais) des sites présentent des sols de sensibilité forte pour lesquels l'Ademe recommande aucune récolte en arbre entier. Ce constat remet en cause la production de plaquettes sur les trois quarts du territoire régional. Les apports de l'étude environnementale du projet DEFIFORBOIS ont permis d'affiner la classification de sensibilité des sols et surtout d'y adjoindre les caractéristiques du peuplement et de la coupe afin de définir les volumes mobilisables en coupe arbre entier sans porter atteinte à la fertilité des sols. L'étude spécifique sur la biodiversité permet de compléter les recommandations du point de vue du maintien des habitats propices à la biodiversité floristique et faunistique. En parallèle, l'analyse technico-économique sur l'activité des entreprises d'exploitation mécanisée, les travaux du FCBA ont mis en évidence les éléments de vigilance et d'amélioration au niveau des formations et des équipements pour les années à venir. Ainsi, pour l'axe « Mobilisation du bois » du projet, les travaux du FCBA et de l'INRAE-Irstea permettent d'envisager le développement de la filière forêt-bois régionale pour répondre à la demande de transition énergétique et dans le respect de la qualité des sols et de la biodiversité.

Un autre axe du projet s'est préoccupé d'étudier les nouvelles essences qui pourraient être utilisées en substitution des essences actuellement présentes mais qui montrent des signes de faiblesses. Ainsi, de nouvelles essences permettra de reboiser et maintenir nos forêts. Les pépiniéristes de la région et les entreprises de reboisement sont des opérateurs économiques locaux qui vont profiter de ces recherches ; la production de plants va pouvoir s'organiser de façon plus rationnelle.

Ce projet s'inscrit dans la thématique 4 du programme PSDR4 « Innovations au service des hommes, des filières et des territoires » et dans la sous-thématique 4.1 « Forêt, agriculture et alimentation ». Il est également lié à l'axe 2 du Programme Pluriannuel Régional de Développement Forestier Centre 2012-16, et converge avec le besoin 22 du Programme de développement rural régional Feader 2014-20 « Accroître l'exploitation de la biomasse et des ressources forestières ».

### 3. Liste des partenaires

	Unité	Responsables et autres participants
INRAE	Nogent - UR 1455 EFNO	<a href="#">Nathalie Korboulewsky</a>
		Isabelle Bilger
		Marion Gosselin
		Yann Dumas
		Camille Couteau
INRAE	Orléans- UMR BioForA	Jean-François Dhôte
		Jean-Charles Bastien
	Orléans - UE0995 GBFOR	Guillaume BODINEAU
ONF	Orléans- UMR BioForA	<a href="#">Brigitte Musch</a>
	Pôle RDI	Christine Deleuze
		Claudine Richter
		Yves Rousselle
FCBA	Pôle PTA - Limoges	Emmanuel Cacot
		Boldrini Chloé
ArboCentre	ArboCentre / FiBois	<a href="#">Eric de La Rochère</a>
		Antoine Hubert
		Olivier Silberberg
CRPF		<a href="#">Eric Sevrin puis Alain Colinot</a>
		Jérôme ROSA
Unisylva		Christophe Bernard
		<a href="#">Benoit Rachez</a>

### 4. Cadre et réalisation des travaux scientifiques

#### 3.1. Enjeux et problématique, état de l'art

L'engagement du gouvernement français vers la transition énergétique élève la ressource en biomasse à un rôle majeur pour atteindre les objectifs (Roy, 2006). Or, dans les forêts de la région Centre, majoritairement privées, et malgré un triplement des récoltes de bois énergie en 10 ans, les récoltes de bois atteignent seulement 50% de l'accroissement annuel. Des gains substantiels de disponibilité peuvent être obtenus par une intensification de la gestion forestière, ce qui suppose une mutation profonde aussi bien dans les pratiques forestières elles-mêmes que dans l'environnement socio-économique, induisant de nouveaux défis pour la durabilité (Thiffault et al., 2016 ; Hansen et al., 2017 ; IIASA, 2017). La filière forêt bois régionale doit donc face à deux défis : (1) augmentation de la demande en bois, avec intensification et diversification des usages qui accroissent les risques de dommages sur les sols; (2) dérèglements climatiques menaçant sérieusement les peuplements forestiers à l'horizon 2050.

La mobilisation de cette biomasse fait appel à des systèmes d'exploitation mécanisé et par arbres entiers susceptibles d'avoir des effets sur la fertilité des sols (Cacot et al., 2006), la quantité de bois

mort et la biodiversité (Landmann et al., 2009). En effet, 25% des espèces typiquement forestières sont associés au bois mort, et l'export de grosses pièces en décomposition mais aussi des branches avec le reste de l'arbre diminue les habitats et par suite présentent un risque de perte de biodiversité. Des recherches ont été conduites surtout en zone boréale (Thiffault et al., 2011 ; Kaarakka et al., 2014) et des études en région tempérée semblent nécessaires (Cacot et al., 2009, Landmann et Nivet, 2014) car les écosystèmes diffèrent sur les plans écologique et historique. Les recommandations en vigueur issues du projet GERBOISE (Cacot et al 2018) s'appuient sur des synthèses bibliographiques, des modélisations et un indicateur de sensibilité des sols issu du projet Insensé (Augusto et al., 2018). Ce projet national a également initié les bases d'un observatoire national des pratiques de récolte de biomasse et soulignent l'importance de suivis régionalisés car l'effet sur la fertilité et la croissance varie selon les modalités de récolte et le type de station.

En parallèle, la région Centre VL apparaît, dans les différents scénarios climatiques, particulièrement impactée dès l'horizon 2050 (Cheaib et al., 2012) avec une régression du pin sylvestre et du chêne pédonculé et une vulnérabilité du chêne sessile (Bellard et al., 2012), trois espèces majeures de la région. Le projet Nomades a permis de développer l'outil de modélisation IKS, déclinable à l'échelle des sylvoécotopes (SER), pour connaître la vulnérabilité des essences aux changements climatiques selon différents scénarii (Le Bouler, 2014). Le projet Traitaut, centré sur l'autécologie des essences les moins documentées dans un contexte de changement climatique est basé sur un rapprochement des notions d'autoécologie et de traits fonctionnels (Michelot et al., 2013).

Pour accompagner cette mutation et conserver la gestion durable des forêts, le projet DEFIFORBOIS a mené quatre actions: i) analyse prospective des moyens nécessaires aux entreprises régionales de mobilisation des bois (VR1), ii) diagnostic environnemental et économique des nouvelles pratiques de récolte du bois énergie pour proposer des recommandations adaptées au contexte régional (VR1, VR2 et VV1), iii) identification d'essences mieux adaptées au climat futur (VR3) et iv) ébauche et test d'une pédagogie permettant d'aplanir, autant que possible, les inégalités d'acceptabilité sociale qui freine la mise en œuvre des politiques et pratiques de transformation volontaire des forêts pour faire face au changement climatique (VV2). La finalité du projet est de fournir des outils d'aide à la décision et des recommandations pour garantir la durabilité de la mobilisation du bois et renforcer la résilience des forêts de la région aux changements climatiques (VV1 et VV2).

### **3.2 Présentation des terrains**

Les travaux de recherche menés dans le projet DEFIFORBOIS ont porté sur la région Centre Val de Loire sous l'angle de deux thématiques : « Mobilisation des bois » (VR1, VR2, VV1) et « Vulnérabilité des peuplements et sélection d'essences » (VR3). Toutefois, il faut noter que la plupart des travaux sont soit une déclinaison d'une réflexion à l'échelle nationale (VR3 particulièrement), soit intégrés à un réseau de travaux et projets nationaux ou régionaux (VR2). Le projet DEFIFORBOIS, bien qu'ayant une dimension plus large, est ancré sur le territoire régional, et est directement relié aux axes d'intervention du contrat CAP filière Forêt bois piloté par le Conseil régional et aux objectifs du Programme régional de la Forêt et du Bois, orchestré par la DRAAF.

DEFIFORBOIS a mené des études globales sur l'ensemble du territoire régional concernant (i) l'état des lieux du parc de machines d'exploitation forestières et l'analyse prospective sur l'évolution des besoins d'investissement en matériel et main d'œuvre de ces entreprises au regard des prévisions de récoltes futures, et (ii) la sensibilité des sols à l'exportation accrue de biomasse. Mais pour répondre à certaines questions précises, des études plus fines tenant compte de la variabilité des stations forestières (sols et climats), des essences et types de peuplements et de coupe ont été nécessaires. Ainsi dans le cas de l'impact environnemental des récoltes de bois énergie, l'analyse du VR1 a permis d'identifier quels types de peuplement et modalités de coupe étaient les plus concernés par ces récoltes dans la région

ainsi que les sylvoécotons (SER) ayant la plus forte concentration de sols sensibles à l'exportation accrue de biomasse. Ces résultats ont servi à établir les critères de choix des chantiers de récolte de biomasse à étudier (VR2). A ce stade une priorité a été mise sur les coupes de taillis ou sous-étage en régénération progressive ou coupe rase dans les SER Sologne-Orléanais, Champagne-Gâtine tourangelle et Beaugois-Maine. Dans la pratique cette stratégie a dû être partiellement revue pour tenir compte de la localisation des chantiers bois énergie ad hoc réalisés pendant la durée du projet par les entreprises partenaires ou prêtes à collaborer. Or la baisse de la demande en bois énergie et l'existence de stocks importants au plan régional et national a eu pour effet de réduire la programmation de nouveaux chantiers au cours des années 2018 et 2019, ce qui a fortement contraint le choix des sites d'étude, particulièrement sur le secteur de la Sologne. Toutefois, nous avons étudié 9 chantiers bois énergie, ce qui est considérable au regard du travail à mettre en œuvre et en comparaison à d'autres projets à l'échelle nationale avec un consortium plus important mais qui ne mettent en œuvre que 6 (TAMOBIO et au maximum une quinzaine de chantiers (GERBOISE). Par suite, les travaux et les recommandations de DEFIFORBOIS représentent bien le contexte régional.

### **3.3 Présentation et implication des partenaires**

Les travaux de recherche et de valorisation conduits dans le cadre du projet DEFIFORBOIS ont mobilisé sept partenaires sur l'ensemble des 5 années : trois partenaires scientifiques (IRSTEA, INRA et ONF RDI) et quatre partenaires acteurs et réseaux d'acteurs (ARBOCENTRE, FCBA, CRPF et UNISYLVA). La figure 1 illustre l'organisation et le découpage des travaux en volets.

**INRAE-EFNO** (Irstea) a assuré la coordination générale du projet, ainsi que le pilotage du VR2 portant sur un observatoire des pratiques de récoltes du bois énergie. L'équipe était composée de N. Korboulewsky (CR), I. Bilger (IE), Y. Dumas (IE) et M. Gosselin (IPEF), L. Cotel (CDD TR), A. Neto (CDD TR), A. Bessaad (doctorant) et de A. Miton et B. Lacaille (stagiaires). Elle s'est chargée de réaliser de 2017 à 2019 l'ensemble des mesures de terrain et l'analyse des données relatives à la sensibilité des sols forestiers de la région (VR1) et aux impacts sur les sols et la biodiversité des 9 chantiers bois énergie étudiés (VR2). De plus, elle dirige la conception d'un outil d'aide à la décision et animera en 2020 des ateliers de travail.

**ARBOCENTRE** est l'interprofession de la filière forêt bois en région Centre. Arbocentre a fait la liaison entre les équipes de recherches et les autres partenaires acteurs mais surtout le lien avec les professionnels. A. Hubert et E. de La Rochère ont participé activement aux volets de recherche VR1 et VR2 en identifiant les entreprises de travaux forestiers à enquêter, participant à l'acquisition des données, animant un atelier avec des entreprises dans le cadre de l'étude prospective. Arbocentre a pris une part active dans le transfert et la vulgarisation (VV2), avec notamment la rédaction d'un résumé de vulgarisation et la diffusion des résultats via différents supports dont la plupart seront réalisés dans le dernier semestre 2020 (newsletter et site internet, infographie, et organisation du séminaire de restitution).

**UNISYLVA** est une coopérative forestière qui a collaboré à l'observatoire des pratiques de récoltes du bois énergie en fournissant des informations techniques extraites de sa base de données sur des chantiers réalisés par le passé et en mettant à disposition certains de ces chantiers qui ont été suivis et analysés dans le cadre de l'observatoire des pratiques. Au cours de cette dernière année, Unisylva va participer à l'élaboration de l'outil d'aide à la décision (VV1) par des échanges et ateliers avec l'équipe Irstea-INRAE.

**FCBA, centre technique industriel**, avec E. CACOT et C. Boldrini, a assuré le pilotage du VR1 consacré à l'analyse de l'adéquation des systèmes d'exploitation et des pratiques actuels aux contraintes

environnementales et technico-économiques. Il a notamment réalisé, en 2017 et 2018, l'état des lieux sur les matériels d'exploitation et les moyens humains des entreprises de mobilisation de la région et l'analyse prospective de l'évolution des entreprises en fonction de scénarii d'augmentation des récoltes. Il a participé à l'analyse économique des chantiers d'exploitation dans le VR2.

ONF, CGAF, UMR Biofora (ex. USC INRA-ONF), a assuré la coordination et les travaux du VR3.

INRAE-Orléans, JF Dhôte et JC Bastien de l'Unité AGPF (INRA n°0588), a participé à de nombreuses manifestations (séminaires, conférences, échanges, etc.) de présentation des services rendus par la forêt et le bois à la société, le principe d'une gestion dynamique de la forêt permettant de séquestrer, stocker et substituer plus de carbone fossile a été largement entendu. Ils ont également échangé avec les partenaires du projet dans le cadre du VR3.

CNPF est le Centre National de la Propriété Forestière. Il a participé aux échanges sur les enjeux et le choix des nouvelles essences à tester dans le cadre du VR3.

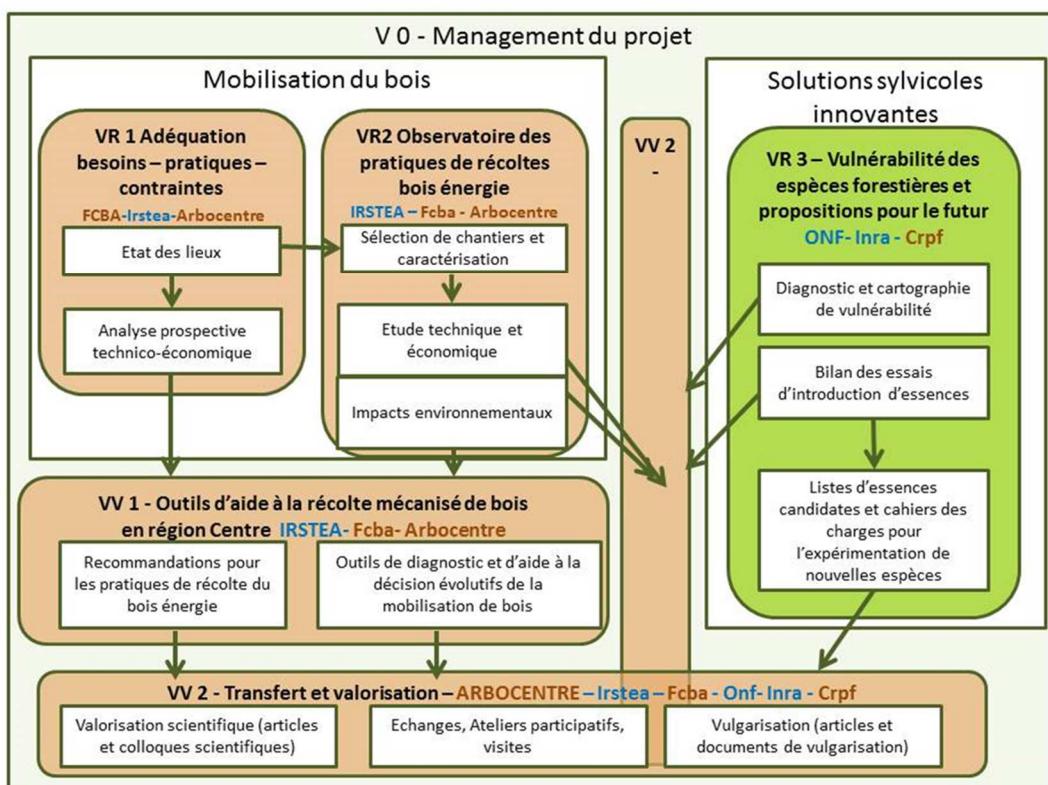


Figure 1 : Organigramme de l'organisation en volets de recherche (VR) et volets de valorisation (VV), avec la liste des partenaires pour chacun (les responsables étant en bleu).

### 3.4. Approches partenariales

Durant les cinq années du projet, de nombreux échanges ont eu lieu entre chercheurs et acteurs au sein de chacune des thématiques « Mobilisation des bois » (VR1, VR2, VV1 et « Adapter les forêts aux CC » (VR3), mais également entre ces équipes et des personnes externe au projet impliquées dans des travaux portant sur des sujets similaires au plan national et international (Québec notamment).

Au sein de la thématique « Mobilisation des bois », l'opération de suivi de chantiers d'exploitation du bois énergie a donné lieu à de nombreuses discussions informelles avec les propriétaires et

gestionnaires forestiers et les conducteurs des machines d'exploitation et à la diffusion de fiches de synthèse. Ces échanges ont été l'occasion de sensibiliser ces acteurs sur les risques potentiels engendrés par l'exploitation par arbre entier (VV2). Ils ont également permis aux chercheurs de se confronter aux aléas et contraintes techniques et organisationnelles des opérations d'exploitation. Un partenariat informel avec les représentants locaux d'une importante entreprise fournisseur de bois énergie (ONF Energie) a pu se mettre en place la deuxième année ce qui a permis d'inclure plusieurs de ses chantiers dans l'observatoire. Mais cette collaboration n'a pu se poursuivre les années suivantes suite à un changement de personnel. Les résultats de ces chantiers ont pu être analysés grâce au partenariat avec l'ONF qui nous ont fourni les modèles de biomasse des arbres.

Les échanges avec les acteurs partenaires du projet devraient permettre, d'ici 2020, de mettre sur pied un outil d'aide à la décision répondant à leurs attentes et incluant les spécificités régionales. Cet outil devrait prendre la forme d'une plateforme web et d'une application mobile interconnectées permettant de rentrer les données de terrain et d'aboutir à un diagnostic de risque de perte de fertilité des sols associés à des recommandations pour la durabilité de l'exploitation des forêts. Cet outil pourrait être développé en incluant un modèle plus complet et intégratif dans le cadre d'une collaboration avec un chercheur québécois (Rock Ouimet) avec qui nous avons déposé un dossier d'accueil au Studium de la région Centre.

En parallèle, un travail de thèse associé au VR2 et portant sur la rentabilité économique d'un itinéraire sylvicole incluant des récoltes récurrentes du bois énergie sur l'ensemble d'une révolution a été l'occasion de nouer des collaborations avec des chercheurs en économie externes au projet tels que Jean-Philippe Terreau (INRAE) et Hanitra Rakotoarison (ONF).

Au sein du collectif des partenaires participants au projet, de multiples échanges ont eu lieu pour trouver en interne un consensus sur des messages partagés et non discordants à transmettre aux acteurs gestionnaires concernant l'ampleur et la nature des changements de pratiques suggérées dans le cadre des trajectoires de transformation de la filière. Même si le résultat final est loin de l'ambition de départ, le résumé vulgarisé au début de ce rapport a été validé par tous les partenaires du projet.

## **5. Bilan des travaux réalisés**

### ***5.1. VR1 - Analyse de l'adéquation des pratiques et systèmes d'exploitation actuels aux contraintes environnementales et technico-économiques***

Ce volet a fait l'objet de trois études : (1) un état des lieux du parc de machines d'exploitation forestière en région Centre-Val de Loire (FCBA), (2) une analyse prospective de l'évolution de l'exploitation forestière en région Centre Val de Loire à l'horizon 2026 (FCBA), (3) une analyse de la sensibilité des sols à l'exportation accrue de biomasse basée sur les données de la littérature et des relevés de l'IFN (Irstea). Ce travail a permis d'identifier les types de peuplements les plus sujets à l'exploitation mécanisée par arbres entiers et de dresser une cartographie des zones sensibles, et ainsi définir les caractéristiques des peuplements et stations forestières à retenir pour l'étude in situ des chantiers d'exploitation du VR2.

L'analyse prospective (Boldrini et Cacot, 2016) sur l'évolution de l'exploitation forestière en région CVDL montre que la ressource bois disponible et mécanisable à l'horizon 2026 pourrait permettre une augmentation des récoltes de bois de 33% selon un scénario tendancielle tenant compte de l'évolution de la ressource (+ 0,5 M/m<sup>3</sup>) et de 61% selon un scénario dynamique visant l'objectif du PNFB (+1.1 Mm<sup>3</sup>/an). Dans un contexte général de réduction du nombre de bucheron, on s'attend à une diminution de 42% de la capacité de bucheronnage manuel par rapport à 2016 se traduisant par des besoins supplémentaires en fonction des scénarios de 71 à 147 machines d'abattage et de débardage et de 78 à 157 postes d'emploi (Cacot et al. 2016).

L'état des lieux des pratiques de récolte et l'étude de la sensibilité des sols (Korboulewsky et Bilger, 2018) a confirmé que la récolte de bois énergie pouvait potentiellement occasionner une perte de fertilité car :

- L'essentiel des récoltes portent sur des coupes de petits bois feuillus (taillis ou sous étage), exploités en arbres entier et le plus souvent en feuille (avril à septembre) de façon à intervenir en dehors de la période de chasse et d'engorgement des sols (L1).
- Les sols de la région sont en grande majorité acides et à texture des horizons de surface sableux ou limoneux ce qui les rend très sensibles à un export accru de minéralomasse. C'est notamment le cas de la quasi-totalité des sols de la SER Sologne-Orléanais et encore plus de la Sologne (L2).

## **5.2. VR2 - Observatoire des pratiques de récoltes bois-énergie**

Ce volet était consacré à l'étude des chantiers d'exploitation, d'un point de vue environnemental (fertilité des sols et biodiversité, Irstea) et un suivi technico-économique (FCBA et Arbocentre). **L'étude environnementale** s'est basée sur des relevés avant et après exploitation sur 9 chantiers étudiés. Nous avons réalisé un diagnostic de sensibilité basé sur des observations de terrain et des analyses physico-chimiques au laboratoire. Puis nous avons quantifié la biomasse de bois sur pied, celle coupée, et celle laissée au sol (résidus de coupe) pour calculer la biomasse exportée à l'aide des modèles établis par l'ONF-RDI. La mesure du bois mort au sol a fait l'objet d'un développement méthodologique en cours de valorisation scientifique. Couplé aux modèles de minéralomasses issus des dosages en nutriments des différents compartiments, nous avons pu comparer le pool de nutriments aux stocks présents dans le sol pour évaluer l'impact de la coupe en terme d'export de nutriments (N, P, K, Ca, Mg). Une analyse multifactorielle a été réalisée pour identifier les principaux paramètres influant le taux d'export.

Les relevés de biodiversité réalisés sur ces mêmes chantiers ont été analysés du point de vue de richesse floristique et de l'évolution de la composition des communautés floristiques par des modèles linéaires généralisés à effets mixtes. Les résultats de bois mort au sol ont été utilisés pour évaluer l'effet de la coupe sur le volume de bois mort par modèle linéaire généralisé à effet mixte.

L'étude environnementale *in situ* menée sur 11 chantiers dont 2 non encore exploités (Bilger et Korboulewsky, 2020) révèle que :

- Du point de vue des gestionnaires, l'exploitation par arbre entier est une solution pertinente pour des coupes dans des futaie-taillis, dans le cadre de coupes avant régénération ou d'amélioration de peuplement. Mais dans certaines forêts privées de Sologne, ces coupes sont souvent davantage motivées par une finalité cynégétique.
- Les interventions (abattage, débardage), contraintes par la période de chasse, les conditions de portance des sols (sols engorgés d'eau), le niveau de la demande en bois énergie des grosses chaufferies industrielles et l'état des stocks ont lieu la plupart du temps d'avril à octobre, alors que les arbres sont en feuilles et

- Les sols sont globalement pauvres avec des carences dans 8 cas sur 10. L'indicateur de sensibilité (ex. INSENSE) n'est pas totalement satisfaisant.
- Suivant la densité des peuplements et le type de coupe, l'intensité de prélèvement peut varier de moins de 40 t/ha à plus de 200t/ha. Les résidus de récolte sont très faibles (<10%) : la quasi-totalité du volume de bois abattu est donc exporté et une partie des grosses pièces de bois morts présents avant l'abattage est prélevée.
- L'export de minéralomasse dépend surtout de la biomasse totale exportée, de la proportion des tiges de faible diamètre, des essences.  
Du point de vue de la biodiversité floristique (Miton, 2019), la coupe par arbre entier a, à court terme, des effets forts sur la richesse spécifique : elle favorise les espèces héliophiles et de milieux humides et les espèces bryophytes sur bois mort au sol de moins de 4 cm de diamètre et défavorise les espèces bryophytes forestières, de milieux humides et saprologiques.

De plus, le travail de Bessaad et al. 2020 sur le plan économique, montre que si l'exploitation en arbres entiers d'un peuplement de taillis avec réserves diminue la productivité de seulement 2,3%, le gain par apport à une exploitation « classique » (tiges et branches de diamètres > 7cm) est nul sur la durée de la révolution (180 ans).

### **5.3. Volet de Valorisation 1**

Ce volet est en continuité avec les travaux des volets de recherche VR1 et VR2.

Le rapport sur le diagnostic de l'état actuel et des besoins d'évolution du parc de machines d'exploitation forestière en région Centre Val de Loire (Cacot et al., 2016), diffusé sur le site du FCBA, fait le constat que le développement de l'activité de récolte du bois énergie (abatteuses, broyeurs) est conséquent compte tenu du parc spécifique observé sur la région Centre-Val de Loire par rapport à d'autres. Associé à l'étude prospective à l'horizon 2026 (Boldrini et Cacot, 2016), ce travail donne des recommandations pour accompagner l'évolution des entreprises régionales en terme de formation des personnes et de développement et d'équipement des entreprises pour accompagner la mutation des pratiques et répondre à la demande de transition énergétique.

L'analyse des facteurs de sensibilité des sols de la région Centre Val de Loire (Korboulewsky et Bilger, 2018) a permis d'une cartographie régionale de la sensibilité des sols. En se basant sur les résultats du monitoring de chantiers bois énergie, une grille de diagnostic spécifique pour la région va être prochainement ajustée. Ce travail va être intégré à l'outil d'aide à la décision en cours de conception. Cet outil permettra le diagnostic de sensibilité du site du chantier d'exploitation, calculera les niveaux d'exportation selon le scénario de coupe et le type de peuplement, et déterminera un niveau de risque de perte de fertilité qui sera associé à des recommandations. Aujourd'hui, seul un document accessible sur support papier et fournissant une série de recommandations (recommandations Ademe, rapport du projet GERBOISE, Cacot et al. 2018) guide les acteurs pour le choix de la modalité des coupes de bois énergie. Une application, For-Eval développée par INRAE et l'ONF (Augusto et al. 2020), sera bientôt disponible pour le diagnostic de la sensibilité du sol. Or, dans les conditions de sols globalement sensibles de la région, le meilleur levier pour la pérennité de la pratique est de moduler le niveau des exportations. L'outil proposé aura plusieurs niveaux d'approche, du niveau basic à expert, et sera disponible sur une plateforme web et une application sur portable. Nous avons déjà procédé à des échanges avec les acteurs sur leurs attentes vis-à-vis de cet outil, et nous sommes en passe de lancer la commande de la réalisation de cet outil. En outre, ces travaux ont fait



l'objet de plusieurs publications scientifiques dans des revues internationales soumises ou prochainement soumises.

#### **5.4. VR3 – Vulnérabilité des peuplements et sélection d'essences**

L'analyse menée par l'ONF, l'INRA et le CRPF, en parallèle de réflexions engagées à l'échelle nationale dans le projet ESPERANCE, a permis de définir les zones à enjeux écologiques et économiques par SER. Cette approche régionale permet une analyse plus fine et une réponse aux acteurs locaux de la filière. Après avoir identifié les essences régionales majeures en volume sur pied par SER à partir des données de l'IGN, le niveau de vulnérabilité aux changements climatiques de chacune de ces espèces a été déterminé à l'aide du modèle IKSmaps développé par le département RDI de l'ONF. Une recherche des essences et provenance qui seraient adaptées au futur climat a été réalisée à partir de plantation en Arboretum et autres.

#### **5.5. Volet de valorisation 2**

Ce volet a été initié dès le début du projet et avait l'objectif d'échanger et de sensibiliser la filière aux évolutions nécessaires des pratiques. Vingt-trois conférences-débats ont été organisées avec des acteurs de la filière forêt-bois en région Centre-Val de Loire (9), avec des groupes d'acteurs locaux ou nationaux (grand public, industriels, pouvoirs publics, formations universitaires) (8), et lors de congrès scientifiques (6).

Pour documenter ces rencontres, une valise pédagogique de quelque 150 diapos a été créée. Elle a été nourrie par une activité de veille scientifique et technologique de fond, avec un focus assez large quant aux disciplines, revues, types de support et canaux d'information mobilisés (réseaux sociaux comme ResearchGate ; publications en ligne non éditées comme The Conversation ; ressources documentaires en ligne, médias généralistes; des sources techniques ; des informations communiquées par divers services officiels sur les réseaux sociaux).

Les conclusions du cycle de conférences-débats ont été discutées lors d'une communication invitée par l'Académie d'Agriculture (7 novembre 2018). L'Académie a souligné l'originalité du travail réalisé. La séquence de plus de 59 dates réalisée à ce jour (23 pour Defiforbois, 36 dans d'autres contextes), avec des auditoires de compositions très variables, donne d'ores et déjà une information très utile pour la région Centre Val de Loire, avec des éléments de consolidation et mise en perspective inter-régionale.

#### **5.6. Références**

Les références bibliographiques issues du projet sont listées **en gras**.

- Augusto L., Pousse N., Legout A., Seynave I., Jabiol B., Levillain J. 2018. INSENSE : Indicateurs de SENSibilité des Ecosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse. 262 pages.
- Augusto et al. 2020. <https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/ispa/Outils/Outils-d-aide-a-la-decision/For-Eval-une-application-mobile-pour-evaluer-les-sols-forestiers>
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. 2012. Effects of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365-377.
- Besnard, L. (2013). Etude de la réaction aux changements climatiques de taxons exotiques, rapport de stage BTSa. pp35.
- Bessaad A., Terreaux JP, Korboulewsky N. 2020. Economic effects of whole-tree harvesting for fuelwood on the forest-scale profitability of even-aged 2 and coppice-with-standards silvicultural systems. En révision. *Annals of Forest Science*.**

- Bilger I., Korboulewsky N., 2020. Fiches synthétiques sur les chantiers de l'observatoire des pratiques d'exploitation par arbres entiers en région Centre Val de Loire. 12p.**
- Boldrini C., Cacot E. 2016. Outil d'analyse prospective de l'évolution de l'exploitation forestière en région Centre Val de Loire à l'horizon 2026. Diaporama, 30 diapos.**
- Cacot E., Deleuze C., Boldrini C. (coord.). 2018. Observatoire des pratiques de récolte du bois énergie et évaluation d'outils de flux. Projet GERBOISE – Gestion raisonnée du bois énergie. Verneuil-sur-Vienne : FCBA, Angers : ADEME, 51 p. + annexes
- Cacot, E., Eisner, N., Charnet, F., Léon, P., Nicolleau, C., & Ranger, J. 2006. *La récolte raisonnée des rémanents en forêt. Guide pratique* (Plaquette): Ademe, AFOCEL, IDF, INRA, Union de la Coopération Forestière Française (pp36).
- Cheaiab, A., Badeau, V., Boe, J., Chuine, I., Delire, C., Dufrière, E., et al. 2012. Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, 15, 533-544.
- Cacot E., Morillon V., Montagny X. 2016. Etat des lieux du parc de machines d'exploitation forestière en région Centre-Val de Loire pour l'année 2015- Rapport, 39p.**
- Hansen J., Sato M., Kharecha P., von Schuckmann K., Beerling D.J., Cao J., Marcott S., Masson-Delmotte V., Prather M.J., Rohling E.J., Shakun J., Smith P., Laci A., Russell G., Ruedy R. 2017. Young people's burden: requirement of negative CO2 emissions. *Earth System Dynamics* 8, 577–616. doi:10.5194/esd-8-577-2017
- IIASA, 2017. Resource efficiency of future EU demand for bioenergy. *IIASA Policy Brief 15*
- Karakka, L., Tamminen, P., Saarsalmi, A., Kukkola, M., Helmisaari, H.-S., & Burton, A. J. 2014. Effects of repeated whole-tree harvesting on soil properties and tree growth in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand. *Forest Ecology and Management*, 313, 180-187.
- Korboulewsky N., Bilger I. 2018. Analyse de la sensibilité des sols forestiers de la région Centre Val de Loire à l'exportation de biomasse. Rapport, 78p.**
- Landmann, G., & Nivet, C. (coord.). 2014. *Projet Resobio. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité*. Angers, Paris: ADEME, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - GIP Ecofor. Rapport final, 243p
- Landmann, G., & Gosselin, F. 2009. Utilisation de la biomasse forestière, biodiversité et ressources naturelles: synthèse et pistes d'approfondissement. In G. Landmann, F. Gosselin & I. Bonhême (Eds.), *Bio2 - Biomasse et Biodiversité Forestière - Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière*:
- Le Boulter, H. 2014. Le climat change, vite, trop vite...Comment aider les arbres à le suivre. *Forêt entreprise* (217), 24-25.
- Michelot, A., Gachet, S., Legay, M., Landmann, G. 2013. L'autécologie des essences forestières et son intégration dans les outils d'aide à la décision : synthèse et évaluation, Rapport d'étude dans le cadre du projet TRAITAUT. 44p.
- Miton A. 2019. Influence des coupes de bois-énergie sur la diversité et la composition des bryophytes et des plantes vasculaires. Rapport de stage de Master II, Université d'Orléans, 30p.**
- Roy C., 2006. Valorisation de la biomasse forestière : enjeux et priorités. *Revue Forestière Française* 58, 413–418.
- Thiffault E., Berndes G., Lamers P., 2016. Challenges and Opportunities for the Mobilisation of Forest Bioenergy in the Boreal and Temperate Biomes. In « *Mobilisation of Forest Bioenergy in the Boreal and Temperate Biomes-Challenges, Opportunities and Case Studies* », ed. E. Thiffault, C.T. Smith, M. Junginger, G. Berndes, 190-213
- Thiffault, E., Hannam, K. D., Paré, D., Titus, B. D., Hazlett, P. W., Maynard, D. G., et al. 2011. Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests — A review. *Environmental Reviews*, 19(NA), 278-309

## 6. Discussion et conclusion générale

### 6.1. Discussion

Les politiques énergétiques et environnementales favorisant l'utilisation du bois en tant que source d'énergie renouvelable ou de matériau de construction se sont traduites, en région Centre, par une augmentation des récoltes de bois d'industrie et bois d'énergie (BI et BE) d'environ 25% en 10 ans. Face à cette évolution, les exploitants se tournent vers des systèmes d'abattage mécanisés (ex. récolte

en arbres entiers), mais qui soulève des questions à propos de la viabilité économique et des impacts sur l'environnement. Il est donc nécessaire de suivre l'évolution et les impacts de ces pratiques et de proposer des recommandations et des guides de bonnes pratiques pour assurer le développement de la filière et le renouvellement des peuplements tout en assurant la pérennité de la qualité des sols et de la biodiversité et l'adaptation au changement climatique.

Le projet DEFIFORBOIS a permis d'apporter certaines réponses à ces attentes à travers 1/ l'analyse de l'adéquation besoins-pratiques-contraintes et par une analyse prospective, 2/ l'identification des facteurs de sensibilité des sols et des leviers pour éviter une perte de fertilité, 3/ des recommandations pertinentes sur les plans technique, économique, et environnemental grâce à des outils de diagnostic et d'aides à la décision de récolte du bois qui pourront être testés affinés par la suite, et 3/ des propositions d'essences et des sylvicultures innovantes pour réduire la vulnérabilité des ressources forestières régionales, 4/ la définition d'un cahier des charges pour la mise en œuvre de test sur ces essences.

Ce projet a été conçu comme un projet de recherche directement opérationnel avec des liens forts avec les utilisateurs finaux. Les acteurs amont de la filière forêt-bois régionale de l'innovation de la recherche ont pu interagir avec les partenaires scientifiques tout au long du projet sur les questions sociétales (bio-économie, énergie et changements climatique et ressources identifiées dans le programme H2020) ou plus spécifiques sur les préoccupations de développement durable à l'échelle territoriale : adaptation des entreprises locales, pérennisation de la ressource, résilience des peuplements, préservation des sols et de la biodiversité. Les recommandations et les outils issus de ce projet seront opérationnelles en fin d'année, mais pourront être encore développés.

Les deux axes du projet, Mobilisation du bois et Solutions sylvicoles innovantes, apportent des éléments scientifiques déclinés à l'échelle régionale voire des SER qui aidera à définir la stratégie forestière régionale d'adaptation et d'atténuation du changement climatique. L'analyse multicritères du projet DEFIFORBOIS (sensibilité des sols à l'exportation de biomasse, type de peuplement et de coupe d'une part ; cartographie de sols et de la vulnérabilité des essences d'autre part) va permettre aux gestionnaires de posséder des outils pour établir un diagnostic de la parcelle et raisonner la coupe, puis de choisir de espèces-objectifs au regard des enjeux et tester des espèces nouvelles. Des travaux complémentaires seront nécessaires pour affiner les recommandations et faire évoluer les connaissances et les outils au regard des évolutions des pratiques et du climat à venir.

En outre, les travaux de DEFIFORBOIS accompagnent une démarche nationale et complètent d'autres projets. L'ensemble alimente la réflexion sur les orientations du développement de la filière bois-énergie, sur le rôle de la forêt dans les stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, de transition énergétique, de maintien de la qualité des sols et de la biodiversité.

## **6.2. Conclusion**

Pour atteindre les objectifs de transition énergétique, la filière forêt bois doit subir une mutation pour produire au moins 1,5 fois plus de bois-matériaux biosourcés et 5 fois plus de bois énergie, mais en prenant garde de préserver les processus naturels et au maintien de la biodiversité.

Aujourd'hui, la meilleure façon de réagir semble être de tendre vers une « bio-économie optimisée » avec une hiérarchie des usages qui privilégie la production de bois d'œuvre et de bois d'industrie qui stockent durablement le carbone séquestré par la photosynthèse des arbres dans des bio-matériaux et qui en plus se substituent à d'autres matériaux beaucoup plus énergivores. Le bois énergie devrait à terme principalement être issu du recyclage et des coproduits de la sylviculture et de la transformation du BO et du BI.

Cela dit, sur les parcelles forestières déjà dégradées, en impasse sylvicole, les taillis pauvres et taillis sous-futaies, la valorisation en bois énergie est une opportunité pour replanter des variétés adaptées au changement climatique qui produiront prioritairement du BO et du BI.

Aujourd’hui, le bois énergie provient de peuplements feuillus sur des sols en région Centre qui sont pauvres voire carencés. La récolte des arbres entiers conduit à un doublement des exports de nutriments. Le projet a permis d’établir des recommandations afin d’éviter la perte de fertilité de ces sols et maintenir des habitats utiles à la biodiversité. Différents supports de communication ont été envisagés, certains déjà diffusés, et d’autres encore en cours de finalisation (ex. MotionDesign). En outre, l’ensemble des recommandations ont été intégrées dans un outil numérique d’aide à la décision (PC et mobile). Cet outil doit être encore testé avec les partenaires pour l’améliorer et répondre au mieux à leur attente. De plus, les seuils et modèles utilisés, établis sur la base des chantiers du présent projet, doivent être repris afin d’être le plus générique possible à tous les sites de la région. Une partie de ce travail scientifique fait l’objet d’une demande de Fellowship au Studium pour l’accueil d’un chercheur Québécois qui a réalisé des cartes de sensibilité de sols à l’exploitation du bois énergie au Québec basé sur des modèles complets de bilan entrées-sorties. Plus globalement, la poursuite des recherches scientifiques, les échanges et la concertation avec les partenaires de la filière (consortium DEFIFORBOIS à élargir), le déploiement des outils (finalisation, diffusion, information et formation) et le transfert des résultats sous différents formats (dont ceux issus de Defiforbois) pourraient faire l’objet d’un nouveau projet à soumettre au programme TETRAE (nouvelle version du PSDR). Dans l’attente, les supports de communication sont diffusés via le portail du PSDR et le site DEFIFORBOIS au fur et à mesure de leur finalisation (<https://defiforbois.inrae.fr/>)

En parallèle, le volet de recherche 3 a mis en évidence que les essences forestières à enjeu économique de la région Centre sont particulièrement vulnérables au changement climatique attendu. Comme le pin sylvestre et le chêne pédonculé sont menacés, le chêne sessile, plus résilient, doit être favorisé. Après coupe, une liste d’essences feuillues et des résineuses autochtones ou allochtones est proposée. Le choix doit être guidé par l’adéquation au sol et au climat futur, avec maintien d’un accompagnement ligneux. Des sites de test dans plusieurs régions de France sont en cours d’installation pour évaluer ces nouvelles essences. De plus, un projet dans le cadre de l’ARD SyCoMore a également été déposé.

## 6. Liste des valorisations scientifiques et de transferts

### 6.1 Valorisation scientifique au cours du projet (2016-2020)

#### 6.1.1 Actions de valorisation scientifique *(détaillées en 6.1.2)*

##### Publications et communications

Diffusion	Type de publication	Total	Dont publications inter-disciplinaires
International	Revue à comité de lecture	2 (+4)	1
	Ouvrages ou chapitres d’ouvrage	0	
	Communications (conférence)	5	0
France	Revue à comité de lecture	0	
	Ouvrages ou chapitres d’ouvrage	0	
	Communications (conférence)	20	

Entre parenthèse, les éléments en cours de soumission

## Organisation de manifestations scientifiques

	Type de de manifestation	Total	Dont inter-disciplinaires
Animation scientifique	Conférence internationale	0	
	Colloque national ou interrégional	0	
	Colloque régional	0	
	Séminaire de recherche	0	

### 6.1.2 Liste des publications et communications

#### *Publications dans des revues internationales à comité de lecture*

- Bessaad A., Terreaux JP, Korboulewsky N. 2021. Effects of whole-tree harvesting on long-term productivity and profitability of coppice-with-standards compared to even-aged silvicultural system. *Accepté. Annals of Forest Science.*
- Bessaad A., Korboulewsky N. 2020. How much does leaf leaching matter during the pre-drying period in a whole-tree harvesting system? *Forest Ecology and Management* 477, p 118492
- Korboulewsky N., Bilger I., Bessaad A. How to evaluate fine logging residues? A soumettre juin 2021. *Ecological Indicators.*
- Bessaad A., Bilger I., Korboulewsky N. Too little woody debris left after whole tree harvesting in a temperate deciduous forests. A soumettre juillet 2020. *Forest Ecology and Management.*
- Korboulewsky N., Bilger I. Modelling of nutrient content in wood of several deciduous species. A soumettre 2021. *Forests.*
- Korboulewsky N., Bilger I. Is whole tree harvest in deciduous poor soil forest a sustainable practice? A soumettre automne 2022. *Forests.*

#### *Communications internationales scientifiques*

- Dhôte J.F., Roux A., Musch B., 2017. Increasing the license to operate in forestry and overcoming conflicts of representations with new narrative options. *Comm. orale au European Workshop on Bioeconomy, Paris, 28-29 juin 2017, 21 diapos*
- Dhôte J.F., Bastien J.C., Musch B., François D., Deleuze C., 2018. Diversification des massifs forestiers et résilience socio-écologique : quelle ingénierie des mélanges? *Comm. au séminaire « Forêts mélangées, quel état des connaissances scientifiques ? », Nancy, 5-6 juin 2018. 38 diapos.*
- Dhôte J.F., 2018. Affronter les défis du changement climatique dans la gestion durable des forêts. *Comm. au Colloque international MIDI « Mutations forestières dans le cadre des changements globaux », Blois, 22 novembre 2018, 31 diapos.*
- Dhôte J.F., Bastien J.C., Roux A., Musch B., Dreyfus P., Deleuze C., 2017. Rôle des modèles de simulation dans la transformation des pratiques de gestion forestière liée aux enjeux climatiques. *Comm. à la réunion annuelle CAQGIS, Bordeaux 28 mars 2017, 35 diapos*
- Dhôte J.F., Bastien J.C., Musch B., 2019. La prévention des risques systémiques dans une stratégie de remise en gestion durable généralisée - suites de la prospective INRA-IGN 2017-2050. *Comm. à la réunion annuelle CAQGIS, Aix en Provence, 27 mars 2019, 33 diapos.*

#### *Communications nationales scientifiques :*

**2020**

- Bessaad A., Terreux J.P., Korboulewsky N. 2020. Impacts économiques de la perte de productivité induite par les récoltes intensives de biomasse en forêt. Symposium PSDR4 Transition pour le développement des territoires. 28-30 oct 2020. En ligne.
- Korboulewsky N., Bilger I. 2020. Le bois énergie en région Centre-Val de Loire : le défi d'un développement de la filière sur des sols sensibles. Symposium PSDR4 Transition pour le développement des territoires. 28-30 oct 2020. En ligne.
- Korboulewsky N., Bilger I., Boldrini C., Cacot E. 2020. État des lieux du bois énergie en région Centre-Val de Loire : Analyse de l'adéquation des systèmes d'exploitation actuels aux contraintes environnementales et technico-économiques. Symposium PSDR4 Transition pour le développement des territoires. 28-30 oct 2020. En ligne.
- Korboulewsky N., Bilger I., Bessaad A. 2020. Observatoire des pratiques de récoltes bois énergie en région Centre-Val de Loire : De la quantification des exportations de biomasse à l'étude du risque de perte de fertilité des sols. Symposium PSDR4 Transition pour le développement des territoires. 28-30 oct 2020. En ligne.

## 2019

- Bilger I., Korboulewsky N. 2019. Éléments de contexte : les forêts françaises et le bois d'énergie. Présentation au Service Ressources Naturelles du Canada. 18 oct 2019, Québec, Canada.
- Bilger I., Korboulewsky N. 2019. Éléments de contexte : les forêts françaises et le bois d'énergie. Présentation au Service des forêts du Québec. 17 oct 2019, Québec, Canada.
- Bouget C. Gosselin M. 2019. Impact des récoltes de BE sur la biodiversité. Séminaire scientifique INRAE, Nogent-sur-Vernisson, 4 juin 2019.
- Dhôte J.F., 2019. « Territoires, ancrage et autonomie » dans le projet Défiforbois. *Comm. au Séminaire « Circularités, circuits et territoires - acteurs, échelles, ressources » du programme PSDR-4, Toulouse, 27 mai 2019. 15 diapos*
- Dhôte J.F., 2019. La forêt, le bâtiment et la transition énergétique : quelles marges de récolte envisageables ? *Comm. orale à la 12ème Université d'été de Sauvons le climat, Orléans - Nouan le Fuzelier, 21 septembre 2019, 15 diapos*
- Dhôte J.F., 2019. Défi climatique & gestion forestière : 59 conférences-débats en France. *Séminaire franco-québécois « Les mondes de la forêt et du bois à l'épreuve de l'acceptabilité sociale : regards croisés », Bordeaux, 30 octobre 2019, 29 diapos.*
- Dhôte J.F., 2019. Plantations forestières et changement climatique : pédagogie de la transformation. *Séminaire interdisciplinaire/international du projet Reforesté « Quel avenir pour les plantations forestières », Tours (MSH Val de Loire) 18 novembre 2019, 28 diapos.*
- Korboulewsky N., Bilger I. 2019. Impacts environnementaux des nouvelles pratiques d'exploitation de bois-énergie. Quelle durabilité des pratiques pour les sols? Séminaire scientifique INRAE, Nogent-sur-Vernisson, 4 juin 2019.
- Korboulewsky N., Bilger I. 2019. Développement et durabilité de la Filière Forêt-Bois en région Centre. Présentation au Service des forêts du Québec. 17 oct 2019, Québec, Canada.
- Korboulewsky N., Bilger I. 2019. Développement et durabilité de la Filière Forêt-Bois en région Centre. Présentation au Service Ressources Naturelles du Canada. 18 oct 2019, Québec, Canada.

## 2018

- Bessaad A., Mazzola J-M., Cotel L., Bilger I., Korboulewsky N. 2018. Quantification des retours de nutriments via la lixiviation : étude expérimentale de quatre essences feuillues. Séminaire

Ademe « Comment préserver les sols forestiers dans un contexte de récolte accrue de bois ? », 25 juin 2018, Paris, France.

## 2017

Dhôte J.F., 2017. Comprendre les enjeux nouveaux de la politique forestière : commodités-bois, emploi & cohésion sociale, vitalité industrielle et territoriale, adaptation transformationnelle, massification. Séminaire de l'UMR Biogéco, Bordeaux-Pierroton 20 janvier 2017, 66 diapos.

Dhôte J.F., 2017. L'innovation forêt-bois, pour répondre au défi climatique, doit dépasser largement l'écologie. Comm. au séminaire INRA-EFPA PAM-4, Pont à Mousson, 21 novembre 2017, 15 diapos.

Dhôte J.F., Bastien C., Gardiner B., Leban J.M., Saint-André L., Hervé J.C., Véga C., 2017. Concevoir-déployer-accompagner la transformation des ressources forestières sous changement climatique : le rôle central de l'information. *Conférence invitée aux Journées Recherche de l'IGN*, Marne-la-Vallée, 23 mars 2017, 65 diapos.

## 2016

Dhôte J.F., Bastien C., Carnus J.M., Collet C., Legay M., Saint-André L., 2016. Reconception des systèmes de production forestiers : distinguer intensification écologique et imitation de la nature. *Comm. au colloque « Regards croisés sur les valeurs de la forêt »*, ECOFOR réseau SEHS, Paris, 29 janvier 2016.

Legay M., Yves Rousselle Y., Musch B. 2016. ONF Diversifier les ressources génétiques par plantation dans une perspective d'adaptation – Communication au colloque « De nouvelles perspectives pour les plantations forestières » organisé par le RMT Aforce le 24/11/2016

## 6.2 Valorisation opérationnelle au cours du projet (2016-2020)

### 6.2.1 Actions de valorisation opérationnelle (détaillées en 6.2.2)

Ce tableau dénombre et liste les éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, le savoir-faire, les retombées diverses (réseaux, nouvelles structures institutionnelles), en précisant les partenariats éventuels.

	Nombre	Partenaires impliqués	Cible	Format	Porteur
<b>Journées thématiques et ateliers</b>	31 (2)	INRAE	Scientifique et acteurs	conférences	
<b>Guides méthodologiques, fiches méthode et cas d'étude</b>	4	INRAE, FCBA	acteurs		
<b>Supports audiovisuels</b>	2 (2)	INRAE	Acteurs, gd publics		
<b>Supports interactifs (jeux sérieux...)</b>	0				
<b>Cours et modules de formation</b>	11	INRAE	Master	Cours, TD	
<b>Outils numériques (logiciels, simulateurs...)</b>	(2)	INRAE	acteurs	Web et appli	UR EFNO
<b>Ouvrages techniques et de vulgarisation</b>	4	INRAE	Acteurs, gd publics	articles	
<b>Séries (focus, 4 pages...)</b>	3	Ecofor INRAE	Acteurs gd publics		

<b>Mobilisation de résultats pour l'expertise territoriale (diagnostics, prospectives...)</b>	1 (1)	INRAE	Acteurs, gd publics	conf	
<b>Mobilisation de résultats pour les politiques publiques (évaluation...)</b>					
<b>Autres (rapports d'étude)</b>	6				

Entre parenthèse, les éléments planifiés en cours de finalisation

## 6.2.2 Liste des éléments de valorisation

Les objectifs réalisés dans l'appel à projet sont conformes aux prévisions de l'appel à projet à plus de 80%. Le restant correspond à des acteurs soient déjà planifiées (indiquées dans la liste ci-dessous et dénombrés entre parenthèses dans le tableau en 3.2.1.) ou en cours d'évaluation.

L'axe « Mobilisation du bois » a rempli ces objectifs de valorisation et même plus en comptant les prochaines productions prévues au second semestre 2020. Par exemple, la réalisation d'un film sur l'axe Mobilisation du bois était envisagée, et ne sera certainement pas lancé. Nous avons mis la priorité sur le développement d'un outil d'aide à la décision (plateforme web et appli), plus une infographie. On peut noter, toutefois, que l'évaluation économique des chantiers n'a pu être mené jusqu'au bout. Cela dit, le travail de thèse de Abdelwahab Bessaad apporte un autre éclairage économique à l'échelle de la révolution.

Les actions de valorisation et de diffusion de résultats de l'axe « Solutions sylvicoles innovantes » sont rares, et se feront très probablement à l'échelle plus nationale dans le cadre des projets connexes comme ESPERANCE.

A l'inverse, les actions de valorisation portées par J.F. Dhôte issus des travaux précédents, étude IGN-INRA mais agrémentés d'une veille bibliographique ont largement dépassé les objectifs.

- *Journées thématiques et ateliers*

### 2020

Korboulewsky N. 2020. Les besoins et les attentes des acteurs pour la réalisation d'un outil d'aide à la décision sur les coupes de bois énergie en région Centre. Avril 2020. Journée transformée en sondage.

Korboulewsky N. et al. Faire du bois énergie et préserver ses forêts. Interventions dans le cadre de la fête de la Sciences. Oct 2019.

Korboulewsky N., Bilger I. 2020. Construisons un outil d'aide à la décision et des recommandations adaptés et spécifiques à la région Centre Val de Loire.

### 2019

conférence Unisylva de Blois (mai 2019) : <https://www.youtube.com/watch?v=dnIBKhqhTiQ>

conférence Sauvons le climat (septembre 2019) :

<https://www.youtube.com/watch?v=5RueQ6mMnhY>

Dhôte J.F., 2019. Prospective : la forêt de demain - Quelles options sylvicoles ? *Comm. pour une formation Experts forestiers de France, CNIEFEB-CNPF, Lamotte-Beuvron le 22 octobre 2019, 35 diapos*



Dhôte J.F., 2019. Changement climatique et compétitivité de la filière forêt-bois. *Comm. au Colloque "Compétitivité de la filière", Professions Bois Normandie, Alençon, 23 octobre 2019, 21 diapos.*

Dhôte J.F., Bailly A., Bastien J.C., 2019. Rôle des forêts et de la filière forêt-bois dans l'atténuation du changement climatique : un nouveau point de vue pour changer de trajectoire. *Comm. aux Assemblées Générales de la coopérative Unisylva, Blois-Clermont-Ferrand-Auxerre-Limoges, mai-juin 2019, 54 diapos*

## 2018

Bastien J.C., Dhôte J.F., 2018. Changement climatique : valoriser ses bois en univers incertain. *Comm. à l'Assemblée Générale de la Fédération des Propriétaires Forestiers Privés du Loiret, La Ferté St Aubin (France), 7 avril 2018, 14 diapos*

Bastien J.C., Dhôte J.F., 2018. La forêt française, son rôle dans l'atténuation du changement climatique. *Comm. au colloque annuelle de l'Association Sainte-Montaine Sauvegarde Environnement, Sainte Montaine (France), 19 octobre 2018, 79 diapos*

Bastien J.C., Dhôte J.F., 2018. La forêt française, une chance pour la France : un écosystème face à des enjeux climatiques et économiques. *Comm. au Meeting annuel GROUPAMA, Deauville (France), 25 avril 2018*

Dhôte J.F., 2018. Échange avec Alain Grandjean, associé-fondateur du cabinet Carbone4, 8 janvier 2018

Dhôte J.F., 2018. Les forêts et leurs services écosystémiques. *Communication au groupe de travail « Eau, biodiversité, forêt » du pôle de compétitivité DREAM, Orléans (France), 20 juin 2018. 65 diapos.*

Dhôte J.F., Roux A., Schmitt B., Colin A., Deleuze C., Pousse N., Akroume E., Nicolas M., 2018. Les forêts et la filière forêt-bois dans la lutte contre les changements climatiques. *Comm. au Séminaire ONF-DT COA « Changements climatiques et gestion de la chênaie ligérienne », Orléans, 28 juin 2018, 24 diapos.*

Dhôte J.F., Bastien J.C., Deleuze C., 2018. Bénéfices sociaux et environnementaux d'une sylviculture recherchant/assumant la performance productive. *Comm. au Séminaire France-Bois-Régions, Orléans, 5 septembre 2018, 31 diapos*

Dhôte J.F., de la Rochère E., 2018. Débat-expertise sur le projet Carbon Forest. *Pôle de compétitivité DREAM, Orléans (France), 11 septembre 2018*

Dhôte J.F., Bastien J.C., 2018. Changement climatique : valoriser ses bois en univers incertain. *Comm. à l'Assemblée Générale des Forestiers privés du Loir et Cher, Saint Aignan le Jaillard, 12 octobre 2018, 71 diapos.*

Dhôte J.F., 2018. Filière bois et changement climatique. *Conférence à l'Université rurale du Val de Braye, Lamnay, 19 octobre 2018, 66 diapos.*

Dhôte J.F., 2018. Quel rôle des forêts et de la filière forêt-bois, d'ici 2050, pour atténuer le changement climatique ? *Comm. aux Kfés R&D de l'ONF, Fontainebleau (France), 26 janvier 2018, 30 diapos.*

Dhôte J.F., Bastien J.C., Colin A., Deleuze C., 2018. Performance-carbone de la filière forêt-bois, sous différents scénarios de remise en production : résultats de l'étude INRA-IGN 2015-17. *Comm. à la Commission Changement climatique de Entreprises pour l'environnement (EPE), Paris, 11 septembre 2018, 65 diapos*

Dhôte J.F., 2018. Intérêt des ressources forestières pour la production de bioénergies. *Comm. invitée au Séminaire Bioénergies de l'ASCOT, Paris, 11 octobre 2018, 39 diapos.*

Dhôte J.F., 2018. Scénarios de mobilisation forêt-bois d'ici 2050 : quels impacts ? *Comm. au Séminaire Carbone-4 « La forêt : quel rôle à jouer pour la transition énergétique ? Sera-t-elle au rendez-vous ? »*, Paris, 15 novembre 2018, 15 diapos.

Dhôte J.F., 2018. Contribution de la filière forêt-bois à la décarbonation de l'économie française : projections à 2050 (étude INRA-IGN). *Comm. à la soirée de sollicitation des mécènes de Plantons pour l'avenir*, Paris, 29 novembre 2018, 35 diapos

Dhôte J.F., Bastien J.C., Musch B., 2018. Rôle de la filière forêt-bois pour atténuer le changement climatique : une pédagogie de la transformation. *Audition par la section « Forêts et filière bois » de l'Académie d'Agriculture Française*, Paris, 7 novembre 2018, 66 diapos.

## 2017

Dhôte J.F., 2017. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? *Comm. orale à la Commission Professionnelle Forêt, FCBA*, Paris, 9 novembre 2017, 22 diapos

Dhôte J.F., 2017. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Les scénarios. *Comm. orale au groupe de travail Stratégie Nationale Bas-Carbone*, Paris, 10 novembre 2017, 18 diapos

Dhôte J.F., Roux A., Schmitt B., Bastick C., Colin A., 2017. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? *Comm. orale au Défi 3 du Comité Stratégique de Filière-Bois*, Paris, 22 novembre 2017, 26 diapos

Dhôte J.F., 2017. Renouveler par plantation : aspects politiques et communication. *Audition par le groupe Forêt-Bois du CGAAER*, Paris, 8 février 2017, 71 diapos.

Dhôte J.F., Juin-Décembre 2017 : échanges réguliers avec France Nature Environnement sur la stratégie de remise en gestion durable des forêts pour faire face au défi climatique.

Dhôte J.F., 2017. Perspectives d'évolution des forêts sous changement climatique : risques, adaptation, atténuation. *Comm. Conseil d'Administration Arbocentre*, Orléans (France), 15 septembre 2017, 64 diapos.

Dhôte J.F., Rigolot E., Deleuze C., François D., Musch B., Rousselle Y., 2017. Changement climatique & forêts. *Comm. Assemblée Générale Fédération Départementale des Communes Forestières de la Haute-Saône*, Port sur Saône (France), 30 septembre 2017, 42 diapos.

Tournée avec Bernard Cosson (expert forestier) en forêt privée de Montmirail (Sarthe, Pays de la Loire), 6 novembre 2017. Préparation d'une intervention INRA pour Groupama

Dhôte J.F., 2017. Carbon-balance of French forest-wood chain under 3 scenarios of land use/forest management. *Comm. orale à la Table Ronde « Sustainable forest management and climate change: what are the issues, what actions ? »*, UNFCCC #COP23, Bonn (Allemagne), 7 novembre 2017

Dhôte J.F., 2017; 20-27 novembre : débat avec l'association Vieilles forêts ([vieillesforets.com](http://vieillesforets.com)) à propos de la stratégie de remise en gestion durable des forêts pour faire face au défi climatique.

Dhôte J.F., 2017. Participation à la Table ronde « Les différents leviers envisageables ». Conférence Défi climat 2017 « Vers la neutralité carbone - La France neutre en carbone en 2050 ? », Ministères économiques et financiers, Paris, 29 novembre 2017, [vidéo](#)

Dhôte J.F., Roux A., Schmitt B., Bastick C., Colin A., 2017. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? *Comm. orale au Club Carbone-Forêt-Bois, I4CE*, Paris, 30 novembre 2017, 39 diapos

Dhôte J.F., 2017. Quel rôle de la filière forêt-bois pour atténuer le changement climatique ? *Comm. orale à la rencontre annuelle des élus « Changement climatique »*, Union régionale des communes forestières Occitanie, Villegly (France), 7 décembre 2017, 13 diapos

Roux A., Dhôte J.F., Achat D., Bastick C., Colin A., Bailly A., Bastien J.-C., Berthelot A., Bréda N., Caurla S., Carnus J.-M., Gardiner B., Jactel H., Leban J.-M., Lobianco A., Loustau D., Meredieu C., Marçais B., Martel S., Moisy C., Pâques L., Picart-Deshors D., Rigolot E., Saint-André L., Schmitt B., 2017. Quel rôle de la filière forêt-bois, d'ici 2050, pour atténuer le changement climatique. Communication invitée au Séminaire ADEME « Comment optimiser la contribution des forêts et de la filière bois à l'atténuation du changement climatique ? », Paris, 11 décembre 2017, 22 diapos.

Roux A., Dhôte J.F., 2017. Fabrication des scénarios pour l'étude DEPE - Leviers forestiers pour atténuer le changement climatique. Concertation avec les porteurs d'enjeu, EPA-Marne, Marne la Vallée 27 janvier 2017, 31 diapos.

## 2016

Legay M., Rousselle Y., Musch B., Dhôte J.F., Touffait R., Perrier C., Picard O., Fady B., **2016**. Diversifier les ressources génétiques par plantation dans une perspective d'adaptation. *Comm. Académie d'Agriculture de France, colloque « De nouvelles perspectives pour les plantations forestières », Paris, 24 novembre 2016, 17 diapos.*

- *Guides méthodologiques, fiches méthode et cas d'étude*

Boldrini C., Cacot E. 2016. Outil d'analyse prospective de l'évolution de l'exploitation forestière en région Centre Val de Loire à l'horizon 2026. Diaporama, 30 diapos.

Cacot E., Morillon V., Montagny X. 2016. Etat des lieux du parc de machines d'exploitation forestière en région Centre-Val de Loire pour l'année 2015- Rapport, 39p.

Korboulewsky N., Bilger I. 2018. Analyse de la sensibilité des sols forestiers de la région Centre Val de Loire à l'exportation de biomasse. Rapport, 78p.

Bilger I., Korboulewsky N., 2020. Fiches synthétiques sur les chantiers de l'observatoire des pratiques d'exploitation par arbres entiers en région Centre Val de Loire. 12p.

- *Supports audiovisuels*

## 2020

Korboulewsky N., Bilger I. et al. 2021. « Defiforbois : comment faire du bois énergie un atout pour renouveler la forêt ? » MotionDesign. En cours de finalisation.

Korboulewsky N., Bilger I. et al. 2021. « Gérer durablement les forêts de la région Centre-Val de Loire et produire du bois énergie ». MotionDesign, en cours de réalisation

Korboulewsky N., et al. 2020. Quiz « Savez-vous de quel bois on se chauffe ? ».

<https://www.inrae.fr/actualites/savez-vous-quel-bois-se-chauffe>, et lien disponible sur le site <https://defiforbois.inrae.fr/en-savoir-plus/>

Dhôte J.F., 2020. Défi climatique & gestion forestière : adaptation, atténuation, performance industrielle - 59 conférences-débats en France. *Conférence AgroParisTech (DA Ressources forestières et filière bois) & Ms FAGE-2 (Bois-Forêt-Développement durable), Nancy, 9 janvier 2020, 96 diapos.*

## 2017

Dhôte J.F. Création (le 27 avril 2017) du blog <http://ressources-foret-bois.over-blog.com>

- *Cours et modules de formation*

## 2020

Bilger I. 2020. Effets de l'exportation de biomasse sur la fertilité des sols. Université d'Orléans  
Master Agrosociétés, Environnement, Territoires, Paysages, Forêt Parcours Forêt  
Mobilisation des Bois – M1 S2 Collegium Sciences et techniques .

## 2019

Bilger I. 2019. Effets de l'exportation de biomasse sur la fertilité des sols. Université d'Orléans  
Master Agrosociétés, Environnement, Territoires, Paysages, Forêt Parcours Forêt  
Mobilisation des Bois – M1 S2 Collegium Sciences et techniques .

Korboulewsky N. 2019. Leviers forestiers en termes d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques. Cours de Master II délivré dans le cadre du module SOM3AS04 - UE 3,5, Changement climatique et conséquences sur les arbres et les forêts. Université d'Orléans.

## 2018

Dhôte J.F., 2018. Gestion des ressources forestières et changement climatique : adaptation, atténuation, performance industrielle. *Conférence AgroParisTech (DA Ressources forestières et filière bois) & Ms FAGE-2 (Bois-Forêt-Développement durable), Nancy, 25 octobre 2018, 149 diapos.*

Gosselin, M., 2018. Enjeux de biodiversité et axes de recommandations pour les forêts de France métropolitaine, Cours de formation continue donnée à Clermont-Ferrand, France, le 15/10/2018, dans le cadre de la formation « Gestion de la Biodiversité Forestière » de l'Agence Française pour la Biodiversité.

Korboulewsky N. 2018. Leviers forestiers en termes d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques. Cours de Master II délivré dans le cadre du module SOM3AS04 - UE 3,5, Changement climatique et conséquences sur les arbres et les forêts. Université d'Orléans.

## 2017

Dhôte J.F., 2017. Vision d'ensemble sur la gestion durable des forêts à travers les différentes facettes du changement climatique. Conférence lors d'une formation AgroParisTech Executive « La forêt face au changement climatique », Nancy 25-26 janvier 2017, 84 diapos. Public : 30 experts forestiers

Dhôte J.F., 2017. Gestion des ressources forestières et changement climatique : adaptation, atténuation, performance industrielle. *Conférence AgroParisTech (DA Ressources forestières et filière bois) & Ms FAGE-2 (Bois-Forêt-Développement durable), Nancy, 24 octobre 2017, 130 diapos.*

Korboulewsky N. 2017. Leviers forestiers en termes d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques. Cours de Master II délivré dans le cadre du module SOM3AS04 - UE 3,5, Changement climatique et conséquences sur les arbres et les forêts. Université d'Orléans.

## 2016

Korboulewsky N. 2016. Leviers forestiers en termes d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques. Cours de Master II délivré dans le cadre du module SOM3AS04 - UE 3,5, Changement climatique et conséquences sur les arbres et les forêts. Université d'Orléans.

- *Outils numériques (logiciels, simulateurs...)*

Korboulewsky N., Bilger I. Simulateurs d'exportation de nutriments : en cours de finalisation (sous-traitance Ontomantics).

Korboulewsky N., Bilger I. Gosselin M. Recommandations à l'exploitation par arbres entiers. En cours de finalisation sous forme d'arbre de décision sous Google Frame

- *Ouvrages techniques et de vulgarisation*

Bertin V. & Korboulewsky N. 2018. La forêt face aux changements climatiques. Forêt Voisine, n°17, p27-28.

Alliance Infos, 2019. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Dialogue avec Jean-François Dhôte, Directeur de Recherches à l'INRA. *Alliance Infos*, n°17, p2-7, *Coopérative Alliance Forêt-Bois*, <https://www.allianceforetsbois.fr/allianceinfos/>

Dhôte J.F., Roux A., Schmitt B., Colin A., Deleuze C., Pousse N., Akroume E., Nicolas M., 2019. Les forêts et la filière forêt-bois dans la lutte contre les changements climatiques. *ONF - RenDez-Vous techniques*, 61-62: 22-32

Lebourgeois F., Charru M., Dhôte J.F., Bontemps J.D., 2020. La croissance des forêts et les changements environnementaux. *Sciences-Eaux-Territoires*, n° spécial Forêt - relever les défis du changement climatique, 33: 8-11

- *Séries (focus, 4 pages...)*

Landmann, G., Augusto, L., Pousse, N., Gosselin, M., Cacot, E. et al., 2018. Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie – Focus sur les menus bois et les souches, Ademe - Ecofor, Angers – Paris, 43 p. + annexes.

Korboulewsky N., Bilger I. et al. 2016. *Développement et durabilité de la filière forêt-bois en région Centre*, Projet PSDR Défiforbois, Centre Val de Loire, Série Les 4 pages PSDR4.

Korboulewsky N. et al. 2020. *Développement et durabilité de la filière forêt-bois en région Centre*, Projet PSDR DEFIFORBOIS, Centre-Val de Loire, Série Les 4 pages PSDR4

- *Mobilisation de résultats pour l'expertise territoriale (diagnostics, prospectives...)*

Gosselin, M., 2018. Gestion forestière et biodiversité, Conférence donnée à Pont-à-Mousson, France, le 12/06/2018.

Korboulewsky N. Bilger I. Comment exploiter en arbres entiers durablement : résultats des travaux du projet Defiforbois. 2020. *Comm. aux Kfés R&D de l'ONF, en visio (France)*, 3 juillet 2020.

- *autres (rapport d'étude, ouverture internationale,...)*

Bessad A. **2017-2020** « Durabilité de l'exploitation de la ressource bois dans un environnement changeant ». Rapport intermédiaire de déroulement de la thèse de doctorat, Co-financement Région-Irstea, dirigée par Korboulewsky N. et JP Terreux.

Dhôte J.F., **2018**. 21 groupes d'acteurs réagissent sur les enjeux du défi climatique pour la gestion durable des forêts : commodités-bois, emploi & cohésion sociale, vitalité industrielle et territoriale, adaptation transformationnelle et massification. *Rapport d'avancement INRA pour Défiforbois 2017*, 24 janvier 2018, 19p.

Dorr E. **2018**. Impact of Forest Stand Density on Organic Matter Cycling. Master's Thesis Report for MSc Agrosociences, Environment, Territories, Landscape, Forest Specialty in Climate, Land Use and Ecosystem Services, Paris-Sud Orsay. 23 p. Participation à l'encadrement : N. Korboulewsky

Lacaille B. **2017**. *Defiforbois : tests de résistance des sols à l'aide d'un pénétromètre et détermination de protocoles*. Stage de L3, Université de . Encadrement : Korboulewsky N., Bilger I.

Mazzola J.-M. **2018**. *Quantification des retours de nutriments via la lixiviation : étude de quatre essences feuillues*. Master 2 Forêts et Agrosystèmes, Université d'Orléans. Encadrement Korboulewsky N.

Vedere M. **2018**. *Influence de la sylviculture sur les flux ou stockage de nutriments et de carbone dans les écosystèmes forestiers : sensibilisation aux protocoles d'échantillonnage, aux questionnements scientifiques, participation aux prélèvements, tris et initiation aux calculs*. Stage de L2 Biologie, Université de Bordeaux. Encadrement : Korboulewsky N.

## ANNEXES

## **ANNEXE 2 : Résumé en anglais**



### **DEFIFORBOIS**

## **DEveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre**

### **PSDR4 Programme – Région Centre Val de Loire**

#### **Sustainable forest management and fuel wood production in the Center-Val de Loire region**

##### **How can we harvest trees on the poor forest soils of the Center region to sustainably produce fuel wood?**

For the past ten years, mechanical harvesting has been carried out in poor or declining stands, then the whole tree is ground up to produce chips for biomass boilers (the whole tree extraction method). Grinding small branches, twigs, and sometimes even leaves and dead wood, exports many more minerals from forest stands than when logging residue is left in the forest (this is a comparison here). The risks are reduced soil fertility and habitat destruction, which are contrary to sustainable forest management practices. As society demands more materials and more renewable energy, how can we harvest and manage these stands without decreasing soil fertility? What reforestation techniques can we implement to give our forests a bright post-harvest future?

Together, the INRAE, FCBA, ONF, CNPF, Unisylva and Arbocentre have analyzed harvesting techniques for forest chip production and their impact on soil fertility and biodiversity. These institutions propose testing the behavior of new species in plantations to ensure sustainable management of the region's forests in the context of a climate emergency.

##### **Analysis of harvesting practices for wood energy in the Centre-Val de Loire region, and adapted new species**

An analysis of the harvesting equipment and human resources necessary for wood chip production was carried out by stand type based on the Arbocentre and FCBA databases. The study was based on 236 questionnaires sent to companies in the wood-products sector. At the same time, an environmental study focused on the sensitivity of soils to whole tree harvesting, at more than 4,300 sites in the National Forest Inventory (IGN) network and at 11 harvesting sites. We carried out technical, economic and environmental monitoring. We characterized volumes, species, soils, biodiversity before and after cutting, and quantified the nutrients exported to assess the impact of whole tree harvesting on soil fertility and biodiversity. This work complements the INSENSE and GERBOISE projects at the national scale.

A parallel bibliographic analysis and overview of trials carried out in different French arboretums, linked to the ESPERENCE project, made it possible to establish the vulnerability of various tree species to climate change by forest region in France. This resulted in a list of species to test.

**Main results:**

Fuel-wood provenance: Forty percent of the chips for fuel-wood boilers comes from coppices being converted into even-aged stands, 30% from the harvest of young coppices, and 30% from maintenance operations or harvesting woody debris.

Soils: Regional soils are mainly poor and acidic, highly deficient in phosphorus (P), potassium (K) and magnesium (Mg). Harvesting whole trees doubles nutrient exports. Associated with the export of woody debris and leaves, this practice can lead to fertility loss in these already poor soils. The practice also removes habitats that support biodiversity.

Economy: The economically important forest species in the Center region are particularly vulnerable to expected climate change. Scots pine and pedunculate oak are threatened. The more resilient sessile oak should be favored. After harvesting, we recommend installing plantations of species adapted to the soil and to future climatic conditions, while maintaining a forested atmosphere supportive of biodiversity.

**Communication and deliverables:**

Nineteen public meetings were held to present the dynamic forest management and how it contributes to some forest ecosystem services, sequester (or store) carbon and replace fossil energy by providing fuel-wood.

A sensitivity map for the forest soils in the Center region was drawn up and 52 adapted trees species have been proposed. Specification sheets for setting up comparative plantations have been created. Several scientific and technical articles have been submitted for publication. Harvesting recommendations and a decision support tool for site-specific management have been formulated.

**DEFIFORBOIS**, coordinated by INRAE in the Center-Val de Loire region in collaboration with FCBA, ONF, CNPF, Unisylva and Arbocentre, began in January 2016 and will end in December 2020. It has received 173,000€ in financial support from the Regional Council and 168,000€ from the INRAE PSDR4 program.





## ANNEXE 3 : Articles et communications



# Defiforbois

## Développement et durabilité de la filière forêt-bois en région Centre

[www.defiforbois.irstea.fr](http://www.defiforbois.irstea.fr)



### Référent Recherche

Nathalie KORBOULEWSKY,  
INRAE  
nathalie.korboulevsky@inrae.fr

### Référent Acteur

Éric de la ROCHÈRE,  
Arbocentre  
e.delarochere@arbocentre.asso.fr

### Laboratoires

- INRAE, UR Écosystèmes forestiers
- INRAE, UMR Biofora
- ONF, Conservatoire Génétique des Arbres forestiers

• ARBOCENTRE, Interprofession régionale forêt-bois

• FCBA, Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement

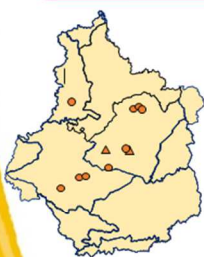
• UNISYLVA, Coopérative forestière Unisylva

• CRPF, Centre Régional de la Propriété forestière d'Ile-de-France et du Centre-Val de Loire

### Partenaires

## Objectifs et questions de recherche

Notre objectif est d'aider les acteurs de la filière forêt-bois régionale à se saisir des questions sociétales relatives à la bio-économie, à l'énergie et aux changements climatiques, en lien avec des préoccupations de développement durable à l'échelle territoriale : adaptation des entreprises d'exploitation, pérennisation de la ressource, résilience des forêts, préservation des sols et de la biodiversité. Nous avons cherché à identifier des solutions innovantes et pertinentes pour la région et à co-construire avec les acteurs des outils d'aide à la décisions afin d'améliorer l'adéquation ressource-industrie et le renouvellement des peuplements tout en assurant la durabilité des systèmes de production et de mobilisation du bois.



Chantiers suivis de coupe mécanisée par arbres entiers pour la production de plaquettes

## Terrains d'étude

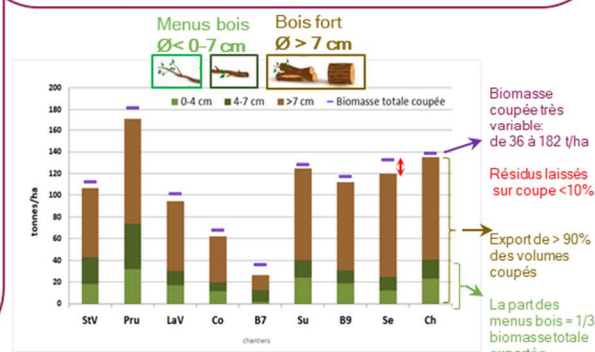
Des enquêtes, études bibliographiques et synthèses conduites sur l'ensemble du Centre-Val de Loire ont permis de dresser un bilan des matériels et moyens humains actuels et des évolutions possibles, ainsi que de la sensibilité des sols à l'exportation de biomasse. Onze chantiers de récolte représentatifs des peuplements et types de coupe de bois énergie par arbres entiers ont été suivis.

Des cartes de la vulnérabilité des essences au changement climatique, et une liste d'essences à tester par région forestière en France métropolitaine ont été établies à l'échelle nationale.

## Résultats

Le Bois Énergie récolté en région provient principalement de coupes de taillis par arbres entiers de feuillus. Cette pratique récente (10 ans) double les exports de nutriments par rapport à une exploitation traditionnelle pouvant conduire à la perte de fertilité des sols majoritairement sensibles et à supprimer des habitats utiles à la biodiversité. Des leviers et des recommandations ont été identifiés et proposés pour assurer le maintien de la fertilité des sols.

Certaines essences en place sont vulnérables au changement climatique, leur renouvellement doit être planifié avec des essences adaptées au sol de la région et au climat futur.



Biomasses coupées, exportées, et laissées sur le sol dans les différents chantiers suivis.

## Valorisation scientifique

Bessaad A., Terreau JP, Korboulevsky N. 2020. Economic effects of whole-tree harvesting for fuelwood on the forest-scale profitability of even-aged 2 and coppice-with-standards silvicultural systems. En révision. *Annals of Forest Science*.

Bessaad A., Korboulevsky N. How much can nutrients return to the soil by leaf leaching during the pre-drying period in whole-tree harvesting system? Soumis mai 2020. *Forest Ecology and Management*.

Korboulevsky N., Bilger I., Bessaad A. How to evaluate fine logging residues? Soumis juin 2020. *Ecological Indicators*.

Bessaad A., Bilger I., Korboulevsky N. Too little woody debris left after whole tree harvesting in a temperate deciduous forests. A soumettre juillet 2020. *Forest Ecology and Management*.

Korboulevsky N., Bilger I. Modelling of nutrient content in wood of several deciduous species. A soumettre été 2020. *Forests*.

## Valorisation partenariale

Boldrini C., CacoE. 2016. Outil d'analyse prospective de l'évolution de l'exploitation forestière en région Centre Val de Loire à l'horizon 2026. Diaporama, 30 diapos.

CacoE., Morillon V., Montagny X. 2016. Etat des lieux du parc de machines d'exploitation forestière en région Centre-Val de Loire pour l'année 2015. Rapport, 39p.

Korboulevsky N., Bilger I. 2018. Analyse de la sensibilité des sols forestiers de la région Centre Val de Loire à l'exportation de biomasse. Rapport, 78p.

Dhôte J.F. Création (le 27 avril 2017) du blog <http://ressources-foret-bois.over-blog.com>

Plus d'informations sur le programme PSDR : [www.psd.fr](http://www.psd.fr)





## How much can nutrients return to the soil through leaf leaching during the pre-drying period in a whole-tree harvesting system?

Abdelwahab Bessaad, Jean-Philippe Terreaux and Nathalie Korboulewsky.

### Highlights

Nutrient returns by leaching were up to 79 % for K, 50 % for Mg and 30 % for P but very slight for Ca and N.

Rainfall frequency had more effect on nutrient leaching than rainfall amount.

Frequent rain over 1<sup>1/2</sup> months is needed to leach significant quantities of nutrients.

Harvested leafy trees should be left in the stand until the leaves fall before skidding.

Leaching processes depend on tree species.

### Abstract

In most European temperate forests, whole-tree harvesting for energy biomass during the leafed period increases nutrient export, which can compromise the soil fertility. This is due to the high nutrient concentrations in leaf tissues. It is therefore recommended when harvesting leafy trees to let the felled trees dry before skidding. The period of pre-drying in the stand, often based on expert estimates, has not been unanimously defined and currently ranges from two to three months. In this study, we developed an experimental device to quantify the returns of five major nutrients, N, K, Ca, Mg and P, through leaf leaching *via* rainfall. We also investigated the rainfall factors that could influence this process. We studied four broadleaf species typically harvested for energy due to their abundance in temperate deciduous forests managed as coppice-with-standards: oak, hornbeam, birch and beech. We first set up an outdoor experiment under natural rainfall conditions to monitor the kinetics of nutrient leaching over around two-and-a-half months (71 days). Leaching was demonstrated by chemically analyzing both leaves and leachate, which highlighted the effect of tree species on the leaching process. Second, we set up controlled experiments under simulated rainfall conditions to investigate the effect of rainfall amount and frequency. For all species, K showed a high leachability 60 — 79% of the leaf K content, followed by Mg (19 - 50%) and P (22 - 30 %). For Ca and N, only small amounts were leached (less than 5%), though results for hornbeam were slightly higher (Ca: 15.5%; N: 7.8%). Hornbeam generally showed more leachability than the other three species. Within one month, leaching rates reached more than three quarters of their maximum values. After 33 days, only small amounts continued leaching out until the end of the experiment (71 days). Nutrient leaching was positively correlated with rainfall amounts of less than 30 mm. Heavier rains were less efficient while small amounts of less than 4 mm were more effective in leaching per unit of rainfall (mm). Rain frequency also had a positive effect on nutrient leaching; more nutrients were leached out when the same rainfall amount was fractioned into small rainy events over several days.

In the case of regular rain (around 15 mm per week), a month and a half seem to be sufficient to leach out most of the leachable nutrients. However, the pre-drying operation was not sufficient for the return to the soil of all the nutrients from the leaves. We therefore recommend harvesting during the leafless period when possible and otherwise, letting all the leaves fall to the ground before extraction, especially for poor soils.

## **Economic effects of whole-tree harvesting for energy on the forest profitability of even-aged and coppice-with-standards silvicultural systems.**

Abdelwahab Bessaad, Jean-Philippe Terreaux and Nathalie Korboulewsky.

### ***Key message***

The whole-tree harvesting makes the forest more profitable while the impact on tree growth is under 2.3% for even-aged oak stand and 3.4% for coppice-with-standards. This latter regime could be attractive again to reach the renewable energy targets of different European and French policies.

### **Abstract**

#### ***Context:***

Making the shift to renewable energy sources requires increasing biomass removal from the forest in a sustainable way. The most common practice is whole-tree harvesting (WTH), which increase the economic profitability but it could affect forest productivity over the long term.

#### ***Aims:***

The present study aims to explore the Land Expectation Value (LEV) of even-aged oak stand and coppice-with-standards (CWS), as well as the economic effects of WTH on forest profitability.

#### ***Methods:***

We used growth models and tree allometric equations for computing the wood volumes by compartment and cutting levels. The LEV was assessed for both stands and followed by prices sensitivity analysis. We also assessed the LEV under decrease in tree growth assumptions due to harvesting fine wood.

#### ***Results:***

WTH had greatly improved the LEV, which was higher in even-aged oak stand. However, the profitability of CWS will be higher in case of possible rising energy prices or lower timber prices in the future. Beyond 2.3% and 3.4% of decrease in tree growth, the fine wood harvesting is unfavorable, while a decrease of 9% almost annihilate the LEV.

#### ***Conclusion***

With the increased demand for fuelwood, CWS may have potential to be attractive again as long as the guidelines of biomass harvesting are respected.



.....TION SCIENTIFIQUE DE L'ÉCOLE DOCTORALE n°549  
« Santé, Sciences Biologiques et Chimie du Vivant »

-APPEL A RESUME-

31<sup>e</sup> Colloque Biotechnocentre

*Rencontres dans les domaines de la Santé, de la Biologie et du Bien-être en région Centre Val de Loire*

Domaine de Seillac, 11 et 12 Octobre 2018

Doctorant : BESSAAD Abdelwahab, 1<sup>ère</sup> Année de thèse, e-mail : abdelwahab.bessaad@irstea .fr

Unité/Equipe : Ecosystèmes Forestiers / Forêts hétérogènes

Filière : Filière C

Directeur de Thèse : Nom, Prénom, e-mail

Veillez choisir entre : **Poster**  **Communication Orale ou Poster** .

**Quantification des retours de nutriments via la lixiviation : étude expérimentale de quatre essences feuillues**

Bessaad Abdelwahab<sup>1</sup>, Mazzola Jean-Mary<sup>2</sup>, Cotel Loïc<sup>1</sup>, Bilger Isabelle<sup>1</sup>, Korboulewsky Nathalie<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Irstea, EFNO, Domaine des Barres 45290, Nogent sur Vernisson.

<sup>2</sup> Université d'Orléans, Château de la Source 45067, Orléans.

**Résumé :**

L'étude s'intègre au projet DEFIFORBOIS portant sur la durabilité de l'exploitation du bois énergie en région Centre-Val de Loire (<https://defiforbois.irstea.fr>) et s'intéresse à l'entraînement des éléments minéraux des branches feuillées par la pluie pendant la phase de réessuyage des tas de bois. Ce processus appelé lixiviation est défini comme l'entraînement des matériaux solubles (éléments minéraux) par un solvant (pluie) et se distingue du lessivage qui concerne les particules solides.

L'intérêt de l'expérimentation est de déterminer le temps de réessuyage optimal pour maximiser les retours au sol des nutriments permettant de préserver la qualité chimique des sols forestiers.

Après deux mois de réessuyage, 96 % de potassium est lixivié, 20 % de magnésium et moins de 5 % pour les autres éléments minéraux. Un temps de réessuyage plus long est nécessaire pour la lixiviation de Ca, Mg, Al et P. La recommandation reste de récolter hors feuilles ou de laisser réessuyer jusqu'à la chute de feuilles.

**Mots-clés :** bois énergie – fertilité – lixiviation – réessuyage – éléments minéraux – durabilité.



# Quantification des retours de nutriments *via* la lixiviation : étude expérimentale de quatre essences feuillues

Bessaad A., Mazzola J-M., Cotel L., Bilger I., Korboulewsky N.

Iristea, Domaine des Barres, 45290 Nogent-sur-Vernisson

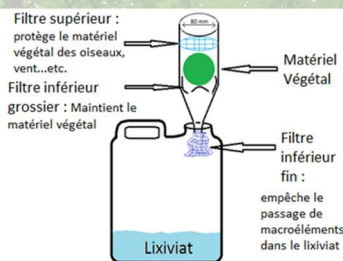
## 1. Contexte

Cette étude s'intègre au projet DEFIFORBOIS portant sur la durabilité de l'exploitation du bois énergie en région Centre-Val de Loire (<https://defiforbois.irstea.fr>) et s'intéresse à l'entraînement des éléments minéraux des branches feuillées par la pluie pendant la phase de réessuyage des tas de bois. Ce processus appelé **lixiviation** est défini comme l'entraînement des matériaux solubles (éléments minéraux) par un solvant (pluie) et se distingue du lessivage qui concerne les particules solides. L'intérêt de cette expérimentation est de déterminer le temps de réessuyage optimal pour maximiser les retours au sol des nutriments permettant de préserver la qualité chimique des sols forestiers.

« Mots-clés » : bois énergie – fertilité – lixiviation – réessuyage – éléments minéraux – durabilité.



## 2. Méthodologie



(1) Dispositif expérimental bouteille-bidon



(2) Expérience 1 : Simulation des pluies artificielles en serre à l'aide d'un pistolet pulvérisateur et un compresseur à pression constante

**4 essences** : charme, chêne, bouleau et hêtre.  
**2 compartiments** : 4 g de feuilles et 8 g brindilles (Ø < 0.5cm)

**Exp I** : pluies simulées de 0,2 à 65,8 mm (fig. 2)

**Exp II** : pluies naturelles pendant 2 mois (fig. 3)

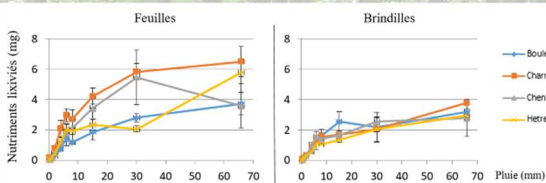
**Mesures** : conductivité électrique (CE), pH, analyse des nutriments (K, Ca, Mg, P, Al)



(3) Expérience 2 : Feuilles et brindilles soumises à des pluies naturelles

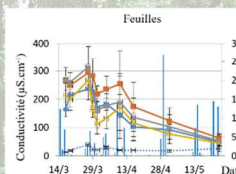
## 3. Résultats

Les concentrations initiales moyennes des éléments minéraux contenus dans les feuilles « P, K, Mg, Ca et Al » représentent respectivement 0.83, 5.7, 1.2, 6.8, 0.13 mg/g



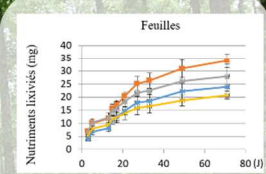
(4) nutriments lixiviés (mg) pour les feuilles et les brindilles en fonction de la quantité de pluie apportée en un seul évènement (Exp : I)

- Plus l'intensité de pluie augmente, plus d'éléments minéraux sont lixiviés.
- Les lixiviats de feuilles sont plus riches que ceux des brindilles.
- Les lixiviats de feuilles de charme sont plus riches, ceux de bouleau sont plus pauvres, ceux de chêne et hêtre sont intermédiaires.



(5) Conductivité des lixiviatés et pluviométrie au cours du temps

Plus le matériel végétal subit de pluies, moins de nutriments sont lixiviés.



(6) Cumul des nutriments lixiviés en fonction du temps de réessuyage

Max de lixiviation n'est pas atteint charme > chêne > bouleau > hêtre

## 4. Interprétation et conclusion

Après deux mois de réessuyage, 96 % de potassium est lixivié, 20 % de magnésium et moins de 5 % pour les autres éléments minéraux. Un temps de réessuyage plus long est nécessaire pour la lixiviation de Ca, Mg, Al et P. De petites pluies successives entraînent plus d'éléments qu'un seul apport de la même quantité. Nous concluons que la lixiviation des branches feuillées, quel que soit le régime pluvieux, permet le retour au sol de la majorité du potassium or, elle ne permet pas un retour suffisant des autres nutriments au sol. La recommandation reste de récolter hors feuilles ou de laisser réessuyer jusqu'à la chute de feuilles.

### Remerciements

Le projet DEFIFORBOIS s'inscrit dans le cadre du programme PSDR4 et bénéficie à ce titre des financements de l'INRA, Iristea, du Conseil Régional de la région Centre Val de Loire. Nous remercions également la plateforme PRESEN de l'université de Rouen pour les analyses chimiques, ainsi que toutes personnes ayant contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.



# Article dans la revue du CNPF – Forêt Entreprise



## Étude sur les impacts environnementaux des pratiques de récolte mécanisée du bois énergie en région Centre Val de Loire

Cette étude menée par Irstea, en collaboration avec FCBA et Arbocentre constitue un des volets du projet régional DÉFIFORBOIS (DÉveloppement et la durabilité du secteur amont de la Filière FORêt-BOIS en région Centre-Val de Loire, <https://defiforbois.irstea.fr/>, 2016-2020), financé par la région et le programme PSDR4.

### Pourquoi étudier les pratiques de récolte du bois énergie par arbre entier ?

La filière bois énergie s'est fortement développée depuis dix ans en région Centre-Val de Loire, avec une part croissante des plaquettes forestières par rapport au bois-bûche. D'après l'enquête Agreste, 600 000 m<sup>3</sup> de bois énergie ont été récoltés en 2016 dans la région, soit 3 fois plus qu'en 2006, dont 60% destinés à la production de plaquettes. La mobilisation de bois énergie devrait encore augmenter à l'avenir selon les prévisions du Plan régional de la forêt et du bois et des Plans Climat Air Énergie des territoires. Cette évolution se traduit par une progression de l'abattage mécanisé qui, dans un contexte de pénurie de bûcherons manuels, est la seule solution permettant la récolte de volumes importants à des prix compatibles avec le marché.

Une enquête réalisée en 2016 par le FCBA auprès des principales entreprises mobilisatrices de bois énergie a révélé que plus de 80% des volumes mobilisés en région Centre Val de Loire provient de coupes feuillues exploitées à la machine en arbres entiers.

Cette modalité de coupe, adaptée à l'exploitation de tiges de faible diamètre et de tiges en cépées, a l'avantage de simplifier l'exploitation, de réduire sa durée et donc son coût. Mais ce mode d'exploitation, parfois conforté par le souhait des gestionnaires d'avoir après coupe un sol « propre », c'est-à-dire avec le moins de rémanents possibles au sol, amène à prélever des compartiments qui étaient jusqu'alors laissés en forêt (menu bois et feuillage, voire souche). Cependant, elle a pour effet de prélever, en plus des troncs et des grosses branches, les tiges et branches fines (menu bois : diamètre < 7 cm) et parfois les feuilles, qui sont les parties des arbres les plus concentrées en éléments minéraux. Le retour au sol de ces éléments permet de restituer une partie des nutriments prélevés par les arbres pendant toute leur vie. La réduction du volume de bois mort au sol a aussi des conséquences sur la biodiversité puisque mêmes les petits diamètres de bois peuvent servir de support, de nourriture et de gîte à de nombreux éléments de la biodiversité.

Les branches fines et des feuilles peuvent partiellement retomber au sol durant le ressuyage sur la parcelle et le débardage, à condition que la durée de ressuyage soit suffisamment longue. Ce processus de restitution est fondamental, particulièrement en cas de sols pauvres. Des études scientifiques étrangères et françaises montrent que ces nouvelles pratiques de récolte par arbre entier et en feuilles peuvent avoir des impacts négatifs sur le sol et la biodiversité (Projet RESOBIO, <http://www.gip-ecofor.org/?p=320>).

En région Centre-Val de Loire, une étude Irstea basée sur des relevés pédologiques de terrain effectués par l'IGN portant sur 4333 points, indique que plus de 70% des sols forestiers de la région sont considérés sensibles à une récolte de bois énergie exportant une forte proportion de menus bois, soit en raison de leur texture à dominante sableuse, soit par leur acidité (pH<5), soit par leur humus (de type moder ou mor). Les recommandations issues du projet national GERBOISE déconseillent fortement d'exporter la totalité des menus bois et des feuilles sur les sols les plus sensibles de la région. Pourtant des récoltes de bois énergie en arbres entiers sont réalisées couramment dans certaines de ces forêts.

Pour affirmer que des récoltes de bois d'énergie sont réalisables de façon durable, c'est à dire sans altération de la fertilité des sols, même dans les zones de sensibilité modérée à forte, il est nécessaire d'étudier les conditions de leur faisabilité (essence, type de sol, intensité de coupe, ressuyage).







## Référent Recherche

- INRAE, Nathalie Korboulewsky
- INRAE, Isabelle Bilger

## Référent Acteur

Eric de la Rochère,  
FIBOIS Centre-Val de Loire

## Laboratoires

- INRAE, Val de Loire  
UR Ecosystèmes forestiers



## Partenaires

- FIBOIS Centre-Val de Loire (ex Arbocentre)
- Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction
- Unisylva, coopérative forestière
- Office National des Forêts
- Centre National de la Propriété Forestière

▪ Où et comment récolter le bois énergie (BE) tout en préservant la fertilité des sols et la biodiversité ? C'est une question cruciale pour la filière et la société particulièrement dans les forêts de la région Centre-Val de Loire (CVDL) ayant majoritairement des sols pauvres.

## Bois énergie

## Exploitation

## Biomasse

## Coupe arbre entier

## Sensibilité

## Fertilité des sols

▪ Nos travaux ont permis de préciser la sensibilité des sols, de quantifier les exports de biomasse et d'éléments nutritifs lors de coupes BE, et d'établir des recommandations.

▪ Les coupes de bois énergie en région CVDL sont réalisées à plus de 90% dans des peuplements feuillus par la technique d'exploitation par arbres entiers. Il apparaît que, selon les pratiques actuelles, les 2/3 de ces coupes laissent au sol une très faible proportion des bois coupés : en moyenne 2% des bois de gros diamètre (>7 cm), et 7% des bois de petit diamètre (<7 cm).

▪ La coupe par arbre entier, en récoltant un maximum de petites branches et parfois les feuilles et une partie des bois mort préexistants, exporte des parcelles près de 2 fois plus d'éléments minéraux et réduit le stock de bois mort après coupe, au risque de diminuer la fertilité des sols et de supprimer des habitats pour la biodiversité ; ce qui est contraire à la gestion durable des forêts.

▪ A l'issue de notre étude, des outils ont été développés à destination des professionnels pour rendre l'exploitation de la biomasse compatible avec une gestion durable des forêts, tout en favorisant l'utilisation du bois comme source d'énergie durable.

## Photo n° 1. Coupe de bois énergie

(Bertrand.Nicolas©INRAE)

Abattage mécanisé  
en arbre entier



## Problématique et Originalité des résultats

▪ Depuis dix ans, l'utilisation de plaquettes forestières pour alimenter des chaufferies biomasses s'est fortement développée. Ces plaquettes sont issues d'une exploitation mécanisée dans des peuplements pauvres, dépérissant ou en phase de régénération, suivie d'un broyage des arbres entiers.

▪ En récoltant un maximum de petites branches et parfois les feuilles, la récolte de bois énergie par arbre entier exporte des parcelles beaucoup plus d'éléments minéraux et réduit le stock de bois mort après coupe, au risque de diminuer la fertilité des sols et de supprimer des habitats ; ce qui est contraire à la gestion durable des forêts. Alors que la société demande plus de matériaux et d'énergie renouvelable, comment réaliser des coupes d'amélioration ou de régénération nécessaires à la gestion des forêts sans détériorer la faible fertilité des sols de la région ?

▪ En complément des projets nationaux Insensé et Gerboise, le projet régional Defiforbois, a permis une analyse plus fine et complète d'une dizaine de chantiers bois énergie correspondants aux peuplements, type de coupe, et sols de la région Centre-Val de Loire. Le projet a permis de décliner et d'affiner les recommandations en les adaptant aux pratiques régionales, et également d'élaborer des outils d'aide aux professionnels pour une gestion durable des coupes de bois énergie en région CVDL.



### État des lieux

Un premier travail a consisté à établir un **état des lieux des pratiques d'exploitation** du bois pour les plaquettes par les entreprises régionales de mobilisation du bois énergie, ainsi qu'un **état des lieux de la sensibilité des sols** de la région à l'exportation accrue de biomasse (identification des facteurs de sensibilité, des types de sols sensibles et leur répartition spatiale) à l'aide des données issues des relevés terrain de l'Inventaire Forestier par l'IGN (4393 points).

### Chantiers étudiés

Dans un second temps, **neuf chantiers bois énergie ont été étudiés** (Fig 1). Sélectionnés pour être représentatifs des types de coupes, des niveaux de sensibilité de leur sol et du type de propriété, ils concernent **des coupes rases ou partielles de peuplements feuillus** situés en forêt domaniales d'Orléans et dans diverses forêts privées de Sologne, Touraine et Perche.

Les peuplements étaient des **taillis avec plus ou moins de réserves**, et plus spécifiquement des taillis déperissant, des mélanges taillis-futaies ou des futaies issues de conversion. Ils étaient composés principalement de charme, châtaignier, bouleau, tremble, chêne, en proportion et densité diverses.

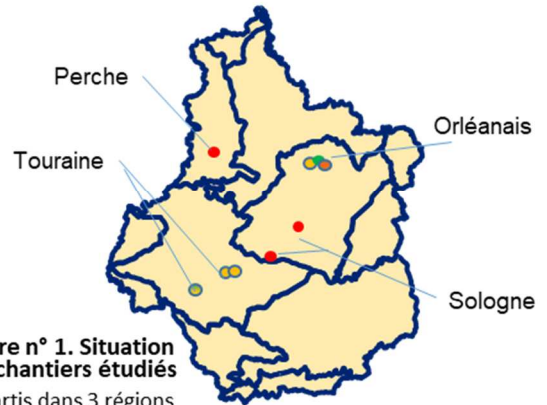


Figure n° 1. Situation des chantiers étudiés Répartis dans 3 régions sylvoécocorégions

### Mesures et calculs réalisés

#### Évaluation de la sensibilité des sols et de leur richesse

Pour les chantiers étudiés, un **diagnostic de sensibilité des sols** à l'export accru de biomasse a été effectué à partir de l'indicateur national « Insensé » basé sur des observations de terrain portant notamment sur la **texture et l'humus**. Il a été confronté aux résultats d'analyses chimiques de laboratoire et à des seuils de teneurs en éléments minéraux définis au plan national pour apprécier cette sensibilité. Les analyses chimiques ont également servies aux calculs des **stocks d'éléments nutritifs du sol** (horizon 0-10 cm).

#### Mesures dendrométriques pour le calcul de la biomasse coupée et exportée

Pour évaluer l'impact de la coupe, il a fallu d'abord calculé la **biomasse totale coupée** et la **part des menus bois**. Des relevés de toutes les tiges ont été effectués, avant et après coupe, sur des placettes d'environ 500 m<sup>2</sup>. Les **volumes des 3 compartiments** - bois fort (diamètre > 7 cm) et menus bois (diamètre 4 à 7 cm et < 4 cm) - ont ensuite été estimés à partir de modèles (Deleuze C. *et al.* 2014), qui ont été ajustés par peuplement. Pour passer à la biomasse, des mesures de **masse volumiques** ont été réalisées à partir d'échantillons de bois des différentes essences, prélevés dans tous les chantiers.

#### Quantification des résidus laissés après coupe

La **quantité** des bois laissés au sol par l'exploitation, les **résidus de coupe**, a été estimée en appliquant la méthode dite Line Intercept Sampling (LIS, Marshall *et al.*, Forest Research Technical Report, 2000), après adaptation pour des morceaux de bois de dimension et d'abondance très variables. Elle a nécessité la collecte d'échantillons de bois présents au sol pour calculer la masse volumique moyenne par chantier.

#### Analyses chimique et minéralomasse des bois

Les concentrations en N, K, Mg, Ca, P ont été mesurées par l'analyse chimique de plus de 600 échantillons. Des **modèles de concentration** ont été établis et permettent d'extrapoler, dans le contexte régional, les teneurs suivant le diamètre du compartiment et les essences.

La **minéralomasse**, c'est-à-dire la quantité (en kg) d'éléments minéraux contenus dans la biomasse des bois, a été calculée en multipliant les concentrations en éléments chimiques et la biomasse pour chaque catégorie de diamètre et chacune des essences.

#### Calculs des exportations et évaluation du risque de perte de fertilité

La **biomasse exportée** a été obtenue en retranchant la biomasse laissées au sol (résidus de coupe) de la biomasse coupée pour chacun des trois compartiments de bois. Par suite, la **minéralomasse totale exportée**, qui est la quantité d'éléments chimiques exportés par la coupe, a été calculée.

Cette minéralomasse exportée rapportée au stock d'éléments présents dans la couche superficielle du sol est un indicateur de l'impact de la coupe sur la fertilité. Une valeur de 100% est considérée habituellement comme une limite à ne pas dépasser pour éviter d'appauvrir le sol. Nous avons pour chaque chantier évaluer cet indicateur afin d'en déduire un **risque de perte de fertilité** associé à chaque cas étudié. Cette valeur dépend donc du stock dans le sol, du volume total et du des diamètres des bois exportés et de l'essence.



Photos 2 & 3: Mesures sur les chantiers (Bertrand.Nicolas@INRAE) Mesures dendrométriques et quantification des bois au sol le long de transects (méthode LIS)



## Coupe par arbre entier : une pratique spécifique pour le BE

Pour répondre à la demande accrue de plaquettes pour l'énergie, les coupes de bois énergie se multiplient tant en forêts publiques qu'en forêts privées. Ces coupes mobilisent de gros volumes de bois de faible valeur, souvent hétérogènes et difficilement exploitables manuellement. Ces contraintes et le manque de main d'œuvre ont favorisé le recours à une pratique d'abattage mécanisé par arbre entier, particulièrement adapté aux coupes de bois énergie en feuillus.

Selon une enquête menée auprès des entreprises régionales de mobilisation du bois énergie, **les plaquettes forestières sont essentiellement issues d'essences feuillues, récoltées lors de coupes d'amélioration ou régénération de peuplement mélange taillis futaie, (40%), de coupe rase de taillis purs (30%)** ou lors de travaux d'entretien sylvicole, tels que des éclaircies, des dépressages ou l'ouverture de cloisonnement (30%).

Si les coupes de bois énergie ont bien comme objectif d'améliorer ou de régénérer des peuplements dans le cadre de la gestion sylvicole, leur mise en œuvre est fortement contrainte par des facteurs liés à la météo et aux exigences de qualité des plaquettes, et par la gestion cynégétique dans certains massifs privés de la région.

## De nombreux sols sensibles à l'export accrue de biomasse

La majorité des sols de la région CVDL sont acides et à texture dominante de surface sableuse ; principaux facteurs en région de sensibilité à la perte de fertilité. De nombreux sols sont également hydromorphes, à pseudogleys ; ils sont donc, en plus, sensibles aux dommages physiques, comme l'orniérage et le tassement.

- En combinant les données de la clé de sensibilité « Insensé » et les analyses chimiques des sols pour les chantiers étudiés, nous avons pu établir 3 catégories de sensibilité des sols à la perte de fertilité selon leur texture à 10 cm de profondeur.
- Ceux ayant une texture dominante sableuse (S, SL) ont une sensibilité forte, et ceux à la texture argileuse (A, AL, ASL) une sensibilité faible.

Pour les autres textures, soit 45% de la surface des forêts de la région, il est par contre difficile de prédire avec fiabilité le niveau de sensibilité des sols et donc le risque d'appauvrissement en cas de récolte par arbre entier. Procéder à des analyses chimiques du sol, permettrait aux gestionnaires forestiers une prise de décision raisonnée et fiable.



Photos 4 & 5: Peuplements avant et après une coupe de relevés de couvert

Dans ce peuplement, une futaie issue de conversion, toutes les tiges du taillis ont été prélevées pour le bois énergie.

## Peu de résidus de coupe laissés au sol

L'estimation de la biomasse totale coupée varie de 38 t/ha pour un chantier de relevé de couvert à sous étage peu dense à 182 t/ha pour une coupe rase de taillis très dense soit 12% à 90% de la biomasse initiale. **La part des menus bois, bois ayant un diamètre de moins de 7 cm, varie entre 30% et plus de 50%** (Fig 2). Plus de 90% de la biomasse coupée est exportée de la parcelle.

La durée de ressuyage des tas de bois abattus avant débardage, qui est en moyenne d'un mois et demi selon notre étude, n'est pas suffisante pour que les menus bois et les feuilles tombent naturellement. Les retours au sol d'éléments nutritifs ne peuvent se faire qu'à partir des résidus de coupe volontairement abandonnés dans la parcelle.

Lors d'une coupe par arbres entiers, le tronc, les grosses branches, les menus bois et souvent les feuilles sont sortis de la parcelle si bien qu'une très faible proportion de bois reste au sol après exploitation (les résidus de coupes). **Pour les menus bois ( $\varnothing < 7$  cm), les résidus de coupe représentent en moyenne 7% de la biomasse coupée. Pour le compartiment bois fort ( $\varnothing > 7$  cm), en moyenne seulement 2% de la biomasse est laissée.**

Selon les pratiques actuelles, **les 2/3 des coupes par arbres entiers laissent au sol globalement moins de 10% de menus bois.**

Pour certains chantiers les mesures avant et après révèlent qu'une partie **des pièces de bois mort préexistantes de plus de 4 cm a été prélevée.**

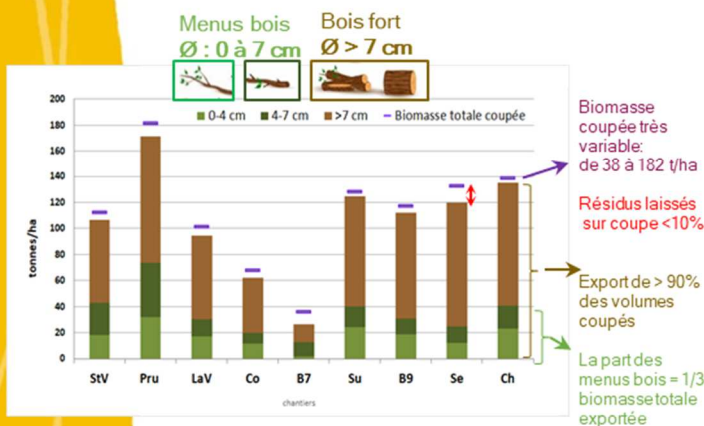


Figure n° 2. Biomasse coupée et exportée

La biomasse coupée dépend du chantier, mais la proportion exportée des menus bois est plus stable et d'environ 35%.



## Une pratique à risque vis-à-vis de la fertilité des sols

### Le compartiment des menus bois est le plus riche

Les menus bois sont 2 à 3 fois plus riches en éléments nutritifs que le compartiment bois fort (Fig 3) et les feuilles jusqu'à 7 fois plus. Par exemple la concentration en azote varie de 3 g/kg pour le bois fort à 8 g/kg pour les menus bois et est de 22 g/kg pour les feuilles.

### Tenir compte de la biomasse exportée, en plus de la sensibilité du sol

Le seuil de 100% pour la minéralomasse exportée par rapport au stock du sol est dépassé pour 5 chantiers pour le Potassium et le Phosphore (Fig 4).

Le dépassement du seuil n'est pas uniquement lié à la sensibilité du sol. Par exemple, pour deux chantiers, l'export est inférieur aux stocks pour tous les éléments alors que le niveau de sensibilité était diagnostiqué comme fort ou indéterminé selon les éléments, car la coupe a prélevé un faible volume.

Ces résultats montrent l'importance de la prise en compte des biomasses exportées par compartiment, en plus de la sensibilité du sol, pour l'évaluation du risque d'une coupe donnée vis-à-vis de la fertilité du sol.

### Un risque bien réel difficilement perceptible, incitant au respect des recommandations

L'accroissement du prélèvement des menus bois et des feuilles, particulièrement riches en éléments minéraux constitue un risque d'appauvrissement pour les sols de la région CVDL réputés déjà pauvres en phosphore et potassium.

Les impacts d'une perte de fertilité ne sont pas perceptibles pour un gestionnaire sur une génération, surtout dans le cas de peuplements feuillus mélangés à base de taillis pour lesquels il n'existe pas de normes de production. Pourtant ce risque est bien réel à long terme. Néanmoins, **la fertilité des sols peut être maintenue si les recommandations sont respectées.**

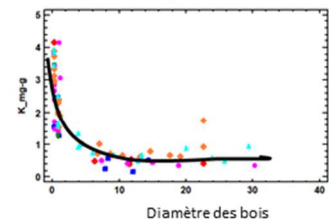


Figure n° 3. Concentration en potassium des bois

Le modèle a une forme exponentielle inverse, avec une concentration beaucoup plus forte pour les bois de petits diamètres

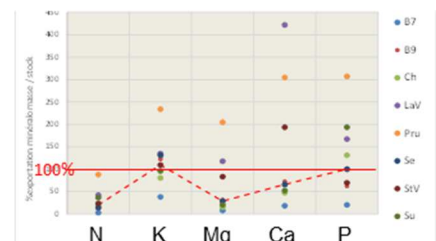


Figure n° 4. Taux d'export d'éléments chimiques pour les chantiers suivis

Pour K et P, les exports sont supérieurs aux stocks pour 5 chantiers sur les 9 étudiés (les points des exports par chantier dépassent la ligne rouge correspondant aux stocks de l'horizon 0-10 cm du sol)

## Conclusions

Nos travaux ont permis de définir pour la région Centre-Val de Loire les recommandations de récolte de biomasse pour la production de plaquettes forestières qui, si elles sont respectées, permettront de récolter durablement du bois énergie dans les forêts sur sols pas trop sensibles.

Un outil aide à la décision sur support numérique développé dans le cadre de ce projet permet aux propriétaires, gestionnaires et entreprises d'exploitation de la région CVDL d'évaluer le niveau de sensibilité de leur site et d'estimer les volumes de coupe à ne pas dépasser pour assurer le maintien de la fertilité des sols.

Le principal levier pour préserver les éléments minéraux et la matière organique du sol semble être de laisser davantage de menus bois en forêt en découpant l'extrémité du houppier et en évitant de prélever les très petites tiges ainsi que les bois morts préexistants. Ces mesures permettront en outre de préserver des bois mort de dimensions diverses, utiles aux différentes composantes de la biodiversité, qui ne seraient pas maintenus par d'autres types de mesures visant à compenser uniquement l'export d'éléments minéraux et de carbone.

### Pour aller plus loin...

- Bessaad A. 2020. Les récoltes intensives de bois énergie : risque environnemental et gain économique. Thèse, 164p.
- Ademe, 2021. Récolte durable de bois pour la production de plaquettes forestières, Enjeux et bonnes pratiques : focus sur la préservation des sols. Collection Clés pour Agir, 40p.
- Augusto L., Pousse N., Legout A., Seynave I., Jabiol B., Levillain J. 2018. INSENSE : Indicateurs de SENSibilité des Ecosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse. 262p.
- Augusto et al. 2020. <https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/ispa/Outils/Outils-d-aide-a-la-decision/For-Eval-une-application-mobile-pour-evaluer-les-sols-forestiers>
- Cacot E., Morillon V., Montagny X. 2016. Etat des lieux du parc de machines d'exploitation forestière en région Centre-Val de Loire pour l'année 2015- Rapport, 39p.
- Cacot E., Deleuze C., Boldrini C. (coord.). 2018. Observatoire des pratiques de récolte du bois énergie et évaluation d'outils de flux. Projet GERBOISE – Gestion raisonnée du bois énergie. Verneuil-sur-Vienne : FCBA, Angers : ADEME, 51 p. + annexes.
- Deleuze et al. 2014. Estimation harmonisée du volume de tige à différentes découpes. Rendez-Vous Techniques ONF 44: 22-42

Plus d'informations sur  
le programme PSDR et le projet :  
[www.psd.fr](http://www.psd.fr)

**Pour citer ce document :**  
Korboulewsky, Nathalie *et al.* (2020).  
*Développement et durabilité de la  
filière forêt-bois en région Centre,*  
Projet PSDR DEFIFORBOIS,  
Centre-Val de Loire,  
Série Les 4 pages PSDR4

**Contacts :**  
PSDR Centre-Val de Loire :  
Christian GINISTY (INRAE)  
[christian.ginisty@inrae.fr](mailto:christian.ginisty@inrae.fr)  
Direction Nationale PSDR :  
André TORRE (INRAE)  
[torre@agroparistech.fr](mailto:torre@agroparistech.fr)  
Animation Nationale PSDR :  
Frédéric WALLET (INRAE)  
[frederic.wallet@agroparistech.fr](mailto:frederic.wallet@agroparistech.fr)

## **ANNEXE 4 : Article de vulgarisation sur le projet et de valorisation de la démarche**

### **DEveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre DEFIFORBOIS**

INRAE

**Unité de recherche coordinatrice : UR 1455 Ecosystèmes Forestiers**

**Responsable scientifique du projet : Nathalie Korboulewsky**

**Partenaires :**

- **FIBOIS Centre-Val de Loire (ex Arbocentre)**
- **Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction**
- **Unisylva, coopérative forestière**
- **Office National des Forêts**
- **Centre National de la Propriété Forestière**

**APR IR de l'année : 2015**

**Montant de la subvention régionale attribuée : 173 000 €**

**Dates de réalisation : févr 2016- déc 2020**

**Noms et coordonnées de l'auteur de l'article :**

**Nathalie Korboulewsky, INRAE, UR EFNO, Domaine des Barres, 45 290  
Nognet-sur-Vernisson  
nathalie.korboulewsky@inrae.fr**

**TEXTE DE L'ARTICLE PRET A PUBLIER (envoi d'1 page maximum sous Word) :**

#### **Bois d'aujourd'hui et forêts de demain**

Alors que la société demande plus de matériaux et d'énergie renouvelable, comment récolter et gérer ces peuplements forestiers sans détériorer la faible fertilité des sols ? Quel reboisement pour leur donner un avenir après récolte ?

INRAE, FCBA, ONF, le CNPF, Unisylva et Arbocentre ont analysé les techniques de récolte du bois énergie pour alimenter les centrales à biomasse collectives ou industrielles - les plaquettes forestières, leurs impacts sur la fertilité du sol et la biodiversité, et proposent d'expérimenter le comportement de nouvelles essences en plantation avec le souci d'assurer une gestion durable des forêts de la région dans le contexte d'urgence climatique.

#### **Terrains d'étude**

Des enquêtes, études bibliographiques et synthèses conduites sur l'ensemble du Centre-Val de Loire ont permis de dresser un bilan des matériels et moyens humains actuels et des évolutions possibles, ainsi que de la sensibilité des sols à l'exportation de biomasse. Onze chantiers de récolte représentatifs des peuplements et types de coupe de bois énergie par arbres entiers pour la production de plaquettes ont été suivis.

Des cartes de la vulnérabilité des essences au changement climatique, et une liste d'essences à tester par région forestière en France métropolitaine ont été établies à l'échelle nationale.

#### **Des pratiques à faire évoluer et des recommandations pour une fourniture en bois énergie durable et le maintien de forêt en région.**

Le Bois Energie sous forme de plaquettes forestières est essentiellement issue d'essences feuillues, récoltées lors de coupes mécanisées par arbres entiers lors d'amélioration ou régénération de peuplement mélange taillis futaie, (40%), de coupe rase de taillis purs (30%) ou lors de travaux d'entretien sylvicole (30%).

Nos travaux ont montré que ce type de récolte des arbres entiers double les exports de nutriments par rapport à une exploitation traditionnelle, car plus de 90% des bois coupés sont exportés ce qui inclut les petites et moyennes branches qui sont 3 fois plus riches en éléments nutritifs que les troncs. Leur exploitation associée parfois aux feuilles (7 fois plus riche que les troncs), peut conduire à la perte de fertilité des sols pauvres, majoritaires en région CVDL, et supprimer des habitats utiles à la biodiversité.

Des leviers et des recommandations (volumes et catégories de bois exploitables selon le type de sol) ont été identifiés et proposés pour assurer le maintien de la fertilité des sols. Un outil d'aide à la décision a été développé, associant recommandations générales et estimation des volumes exploitables pour le maintien de la fertilité des sols et de la biodiversité forestière. Une sensibilisation sur l'importance du feuillage et des petits bois à laisser au sol doit être menée vers la filière et le public. Les essences forestières à enjeu économique de la région Centre sont particulièrement vulnérables au changement climatique attendu. Le pin sylvestre et le chêne pédonculé sont menacés. Le chêne sessile, plus résilient, doit être favorisé. Après coupe, il est préconisé de replanter des essences adaptées au sol et au climat futur en gardant un accompagnement ligneux peu concurrent maintenant l'ambiance forestière et biodiversité.

### **Conclusion**

Des coupes sont nécessaires pour renouveler les peuplements et fournir du bois permettant l'approvisionnement de filières locales, dont celles du bois énergie. Toutefois, la région CDVL présente de nombreux sols sensibles à l'exploitation accrue de biomasse. À l'issue de notre étude, des outils, ont été développés à destination des professionnels pour rendre l'exploitation de la biomasse compatible avec une gestion durable des forêts, tout en favorisant l'utilisation du bois comme source d'énergie durable. En parallèle, une liste d'essences potentiellement plus adaptées au climat futur devrait permettre de replanter pour maintenir des écosystèmes forestiers dans notre région.





**Centre (+ nom du centre)**

**Adresse**

**Code postale et ville**

**Tél. : +33 1 (0)0 00 00 00 00**

**Rejoignez-nous sur :**



**site Internet national ou site Internet du centre**



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**INRAE**