



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 dépérissant, 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.

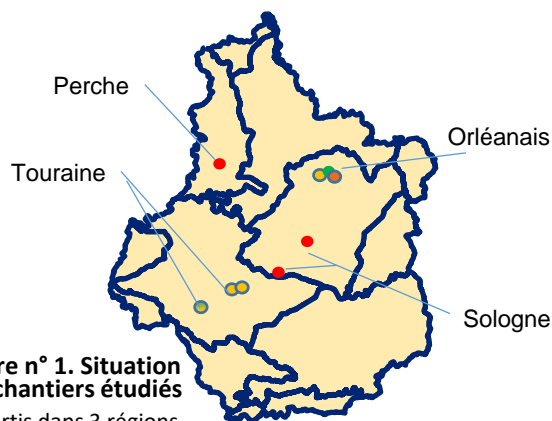


Figure n° 1. Situation des chantiers étudiés

Répartis dans 3 régions sylvoécologiques

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 calculer 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 m². 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 Intersept 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 évalué 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 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.

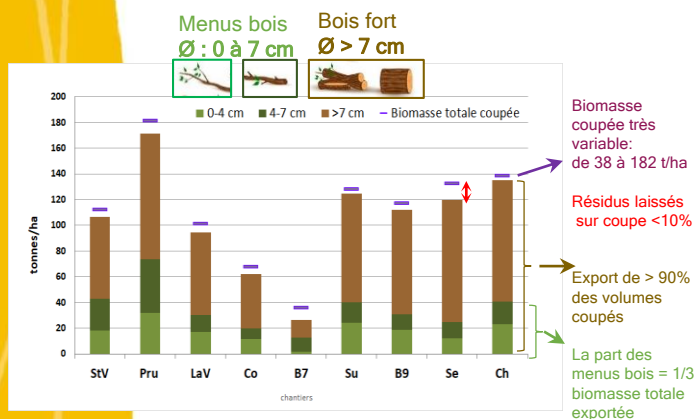


Figure n° 2. Biomasse coupée et exportée

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



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.

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 minérolomasse 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.**

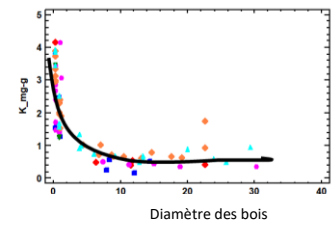


Figure n° 3. Concentration en potassium des bois

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

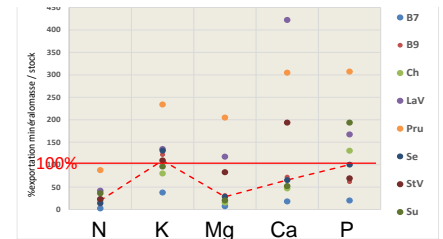


Figure n° 4. Taux d'export d'éléments chimiques pour les chantiers suivis

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-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

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
Direction Nationale PSDR :
André TORRE (INRAE)
torre@agroparistech.fr
Animation Nationale PSDR :
Frédéric WALLET (INRAE)
frederic.wallet@agroparistech.fr