

FORUM

COMMENT RAISONNER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET LA DURABILITÉ DE LA FILIÈRE DE MISE À DISPOSITION DE PLAQUETTES FORESTIÈRES POUR L'ÉNERGIE ?

NICOLAS BILOT

L'Europe a pris en 2008 le parti de se fixer un triple objectif pour 2020 : augmenter de 20 % les rendements énergétiques ainsi que la part des énergies renouvelables dans la consommation primaire, et dans le même temps diminuer de 20 % ses émissions de gaz à effet de serre. La France a surenchéri sur la part du renouvelable en fixant l'objectif à 23 %, partant de 8,5 % en 2008 (Euractive, 2008).

L'augmentation des seuls rendements énergétiques n'affranchira pas d'une augmentation de la consommation de combustibles. La biomasse en général représente la moitié des énergies renouvelables en France et la majorité de cette biomasse est issue des systèmes forestiers. La filière forestière doit donc faire face à une demande accrue en bois dit « bois énergie » (BE). La mise à disposition doit se faire dans un souci d'efficacité énergétique, et de maintien d'une fertilité suffisante des sols forestiers pour assurer la pérennité de la ressource. L'évaluation du premier point nécessite de pouvoir établir des bilans énergétiques de la filière, et le deuxième point peut être abordé en quantifiant des bilans d'exportations minérales aidant à simuler l'évolution à long terme de la fertilité minérale du sol.

Notre étude porte sur la filière de mise à disposition de biomasse forestière pour l'énergie, et en particulier sous la forme de plaquettes combustibles. On développe un outil de simulation permettant d'évaluer les bilans énergétiques et les exportations minérales, selon les choix de gestion, tout au long de la filière. La filière est alors évaluée en analysant des scénarios de gestion actuels et nouveaux.

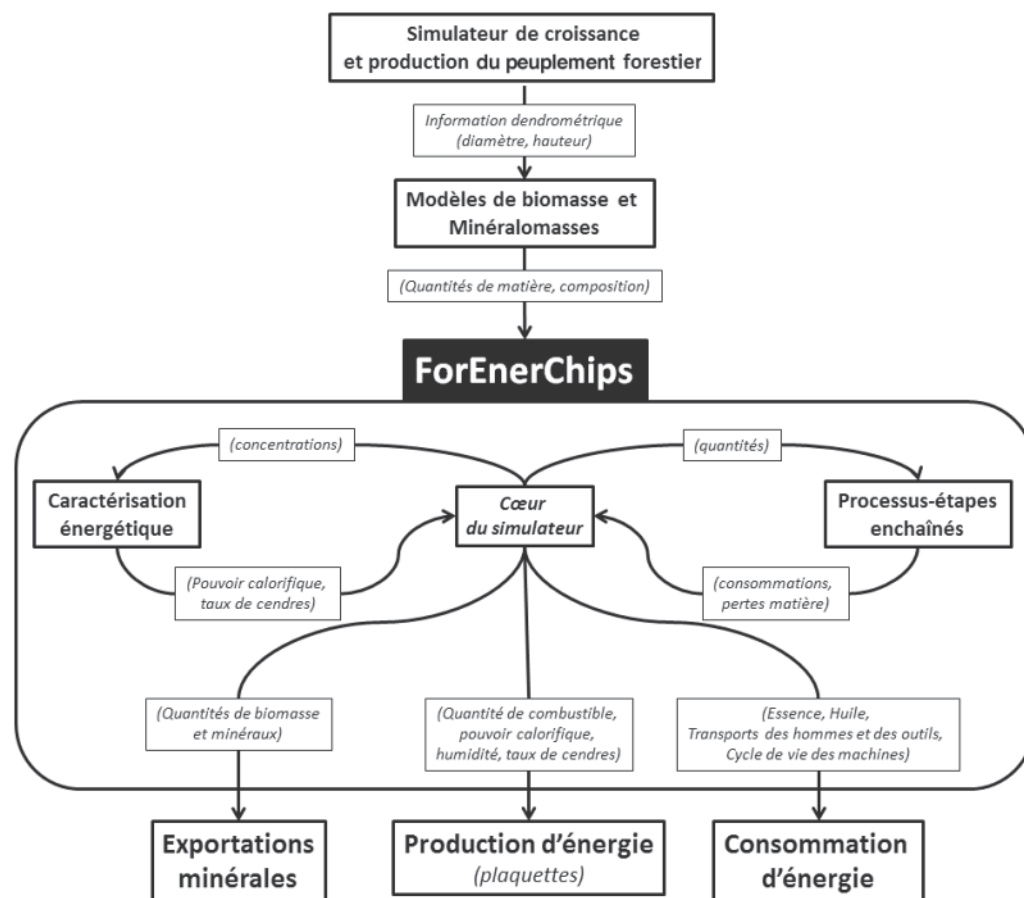
DÉVELOPPEMENT D'UN SIMULATEUR DE LA FILIÈRE BOIS ÉNERGIE

La construction du simulateur de la filière bois énergie repose sur une revue de travaux effectués en sciences forestières (croissance, production et qualité des bois), en sciences des procédés (études des processus constituant la filière et de leur articulation) et en sciences de l'énergie (caractérisation des combustibles, bilans énergétiques). L'hypothèse est faite que ces travaux peuvent trouver une continuité *via* le suivi de l'énergie (contenue dans le bois en lien avec sa composition élémentaire, et dépensée en carburants et matériaux dans les processus de la filière). Les données de la littérature internationale sont complétées par une observation des pratiques techniques et une discussion avec les professionnels. Cette première phase a permis de définir les processus-étapes de la filière à prendre en compte pour en mesurer la performance énergétique (organisation des étapes et choix des outils).

Nous avons choisi une approche « *bottom-up* », avec une représentation explicite des étapes et processus de la filière permettant de simuler des scénarios de choix de gestion (sylviculture, technique et logistique d'exploitation, transformation et transport). Bien que l'approche soit pour l'instant développée sur un système de production particulier à base de la futaie régulière de Hêtre (simulée avec le modèle de croissance Fagacées⁽¹⁾), elle est conçue sous la plateforme CAPSIS⁽²⁾ pour s'adapter aisément à d'autres contextes forestiers et modèles de croissance. Le simulateur est appelé « ForEnerChips », concaténations des termes « Forest Energy Chips » signifiant littéralement « plaquettes forestières pour l'énergie ».

FIGURE 1

**DESCRIPTION DE L'OUTIL FORENERCHIPS,
ARTICULATION AVEC LES MODÈLES DE CROISSANCE-PRODUCTION-QUALITÉ
ET BILAN DES SORTIES**



(1) Fagacées est un modèle de croissance forestière développé par J.-F. Dhôte, P. Vallet, G. Le Moguédec et F. Mothe (UMR LERFoB-Nancy). Le simulateur implémenté sur CAPSIS permet de simuler la croissance de peuplements de Hêtre et Chêne en termes de diamètre et hauteur. Des modèles développés en parallèle à partir de ces paramètres permettent de caractériser le peuplement en termes de biomasses, volumes et minéralomasses (modèles développés notamment dans le cadre du projet EMERGE, rapportés en français dans deux dossiers des *Rendez-Vous Techniques* de l'ONF : n° 39-40, juillet 2013 et n° 44, printemps 2014).

(2) CAPSIS (pour l'équivalent anglais de « projections de stratégies sylvicoles assistées par ordinateur ») est une plateforme logicielle de simulation hébergée et animée par l'INRA accueillant en premier lieu des modèles de croissance et production forestiers pour divers espèces et modes de cultures, et en second lieu des modules d'exploitation des données dérivées de ces premiers modèles, tels que ForEnerChips.

ForEnerChips – tel que présenté schématiquement en figure 1 (p. 585) – repose sur l'information sortie du simulateur de croissance, et en particulier pour la ressource libérée lors d'interventions sylvicoles (dépressages, éclaircies, coupe finale). L'information brute est généralement dendrométrique (diamètres et hauteurs des arbres). Cette information permet de calculer pour chaque arbre prélevé les biomasses (Genet *et al.*, 2011) et quantités élémentaires (« minéralomasses ») par compartiment (tiges, branches, classes de diamètres de coupe) à partir de modèles statistiques⁽³⁾. La matière ligneuse est également caractérisée en qualité combustible (pouvoir calorifique et teneur en cendres). Ces caractéristiques peuvent varier en fonction de la ressource choisie (âge des arbres, compartiments et tissus dans l'arbre), et évoluer au fil des traitements subis (perte de manipulation à la préhension de la biomasse lors du débardage ou par « postillons » de la broyeuse entre autres, séchage). En parallèle sont calculées les consommations énergétiques liées aux processus d'exploitation, de transformation et de transport (carburants, huiles, transports des hommes et des outils, cycles de vie des outils).

DÉMARCHE DE SIMULATION ET D'ANALYSE

L'avancement du projet au moment de la rédaction de ce document ne permet pas de présenter ici des résultats de simulation. On peut cependant discuter de la démarche de simulation, de la nature des sorties et de la démarche d'analyse.

La filière est considérée par un scénario de base (réaliste ou prospectif) qui définit une parcelle (surface, fertilité, caractéristiques des arbres), un traitement sylvicole et des protocoles d'exploitation forestière, de transformation de la ressource en plaquettes, et de transport des produits jusqu'à l'utilisateur final. Ce scénario de base est ensuite dérivé afin de tester des scénarios alternatifs traduisant des variations dans les caractéristiques du chantier (fertilité, surface, éloignement), dans l'agencement des étapes, ou dans leurs paramètres individuels tels que les poids des machines, consommations horaires, vitesse de traitement ou efficacité de conservation.

L'évaluation énergétique consiste en l'énergie dépensée depuis la récolte des bois en forêt jusqu'à l'entrée de la chaudière et en l'énergie contenue dans le produit final (pouvoir calorifique des plaquettes). L'évaluation de la qualité des combustibles passe par le bilan des éléments minéraux contenus dans la biomasse tout au long de la chaîne. Par ailleurs, le passage par les minéraux du bois permet de quantifier l'exportation de nutriments (minéralomasse) pour les sols forestiers, suite à l'étape de débardage.

Les sorties du simulateur peuvent être rapides à interpréter par l'usage d'indices de « performances » en termes d'énergie (par exemple le rapport entre l'énergie produite en plaquettes et l'énergie dépensée dans la chaîne) mais également en termes d'exportations minérales (par exemple le rapport entre les objectifs d'exploitation et les exportations réelles, compte tenu des variations d'efficacité de préhension lors des étapes de chargements et déchargements du matériel notamment). On a dans le même temps des sorties pour chaque étape de la filière, depuis l'arbre debout jusqu'à la plaquette livrée, permettant de compléter les bilans globaux sur l'ensemble de la filière par des analyses locales.

(3) Voir à ce propos dans le numéro thématique n° 2 de la *Revue forestière française* de 2011 : la description de la base de données EMERGE dans Rivoire *et al.*, base qui a notamment servi au développement des modèles de biomasse expliqués dans ce même numéro à l'article de Genet *et al.*

PERSPECTIVES

Le simulateur est conçu comme un outil de recherche permettant de tester différents modèles pour les processus de la filière (croissance et production forestière, processus d'exploitation et de transformation) ou différents scénarios de filière (gestion forestière, choix, succession et paramètres des étapes de l'exploitation et de la transformation). Le but étant d'évaluer les impacts de variations dans la filière sur les bilans de celle-ci : en biogéochimie des sols forestiers, dans l'étude des cycles de nutriments, mais aussi dans des études sur l'efficacité énergétique de la filière ou sur la qualité des produits finaux.

Par la suite, l'identification lors de cette première phase de recherche de modèles robustes et aux paramètres conviviaux (paramètres disponibles ou accessibles aux acteurs de la filière), couplée au développement d'une interface conviviale peuvent permettre une utilisation moins scientifique et plus orientée vers les perspectives du terrain.

À terme, l'extension de l'approche à d'autres contextes forestiers, ainsi que le couplage à des outils d'analyse économique ou de bilans de carbone, pourront contribuer à raisonner le renouvellement des systèmes de production forestière face aux évolutions du contexte économique et aux changements environnementaux.

Nicolas BILOT

INRA Centre de Nancy-Lorraine

LERFoB

F-54280 CHAMPENOUX

(nicolas.bilot@nancy.inra.fr)

Encadrants :

Holger WERNSDÖRFER, Meriem FOURNIER — UMR 1092 AgroParisTech-INRA LERFoB — 14 rue Girardet, CS 14216 — F-54042 NANCY CEDEX et F-54280 CHAMPENOUX
(holger.wernsdorfer@agroparistech.fr) (meriem.fournier@agroparistech.fr).

Yann ROGAUME — LERMAB — 27 rue Philippe Seguin, CS 60036 — F-88026 ÉPINAL
(yann.rogaume@univ-lorraine.fr).

Remerciements

Merci à François de Coligny, responsable de la plateforme CAPSIS, pour son assistance dans l'implémentation du simulateur sur la plateforme.

Le projet de thèse (Nicolas Bilot, 2011-2014) au sein duquel est développé ce travail est intégralement financé par l'ONF.

L'UMR 1092 LERFoB bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence n° ANR-11-LABX-0002-01 (laboratoire d'excellence ARBRE).

BIBLIOGRAPHIE

CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE. — Conseil européen de Bruxelles, 11 et 12 décembre 2008. Conclusions de la présidence. — Bruxelles : Union européenne, 2009 (doc. 17271/1/08).

[En ligne] : http://europa.eu/rapid/press-release_DOC-08-5_fr.pdf.

GENET (A.), WERNSDÖRFER (H.), MOTHE (F.), BOCK (J.), PONETTE (Q.), JONARD (M.), NYS (C.), LEGOUT (A.), RANGER (J.), VALLET (P.), SAINT-ANDRÉ (L.). — Des modèles robustes et génériques de biomasse. Exemple du Hêtre. — *Revue forestière française*, vol. LXIII, n° 2 spécial "Ateliers REGEFOR 2009. La forêt face aux défis énergétiques", 2011, pp. 179-190.

RIVOIRE (M.), LONGUETAUD (F.), SAINT-ANDRÉ (L.), VALLET (P.), MORNEAU (F.), BOUVET (A.), GAUTHIER (A.), DELEUZE (C.). — Une base de données unique en France de cubages d'arbres individuels (volumes, biomasses) au service d'une modélisation générique de la ressource en bois énergie. — *Revue forestière française*, vol. LXIII, n° 2 spécial "Ateliers REGEFOR 2009. La forêt face aux défis énergétiques", 2011, pp. 171-178.

COMMENT RAISONNER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET LA DURABILITÉ DE LA FILIÈRE DE MISE À DISPOSITION DE PLAQUETTES FORESTIÈRES POUR L'ÉNERGIE ? [Résumé]

Les engagements ambitieux en termes de développement des énergies renouvelables en Europe nécessitent une connaissance précise des ressources et des implications de leur exploitation. Les filières doivent être évaluées en termes de performances énergétiques mais également de durabilité de production des ressources. L'étude porte sur la filière de mise à disposition de biomasse forestière pour l'énergie, et en particulier sous la forme de plaquettes combustibles. L'objectif est de développer une méthode permettant d'évaluer les bilans énergétiques et les exportations minérales, selon les choix de gestion tout au long de la filière. On développe pour cela un simulateur de la filière de mise à disposition, depuis l'abattage des arbres en forêt jusqu'à la livraison des plaquettes sur leur lieu de valorisation. Le simulateur de la filière, nommé ForEnerChips, est implémenté sur la plateforme logicielle CAPSIS et s'articule dans un premier temps au simulateur de croissance et production forestière Fagacées. Le simulateur est finalement employé pour évaluer et comparer différents scénarios d'exploitation représentatifs des tendances actuelles ou exploratoires de nouvelles pratiques à envisager.

WORKING OUT THE ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY EQUATION FOR THE WOOD FUEL CHIP SECTOR? [Abstract]

The rapid development of renewable energies in Europe requires accurate knowledge of the resources and of the consequences of their utilisation. The various sources must be evaluated in terms of energy performance but also for their sustainability. This study considers the production of forest biomass particularly in the form of wood fuel chips. The aim is to develop a method for evaluating the energy balance and the mineral export according to various management scenarios along the production chain. For that purpose, a simulator was developed, covering the entire process, from felling of the trees in the forest to the delivery of the chips to the end user. The simulation tool, named ForEnerChips, is implemented on the software platform CAPSIS, and is first connected to the growth and yield simulator Fagacées. In the final stage, the simulation tool is used to evaluate and compare various production and supply scenarios that are representative of current trends or serve to explore potential alternative practices.
