

Évaluation économique et technique du potentiel de prélèvement de pin sylvestre

Dans la perspective d'une contractualisation de l'approvisionnement de la centrale biomasse de Gardanne

par Marie de GUIZA et Gilles MARTINEZ

Alors que beaucoup s'interrogent sur la disponibilité de la biomasse ligneuse pour produire de l'énergie, cet article apporte des éléments concrets sur les différentes modalités technico-économiques de prélèvement dans un massif de pin sylvestre de la montagne de Lure (Alpes-de-Haute-Provence).

Avertissement

Cet article fait suite au travail réalisé dans le cadre d'un stage de fin d'études (AgroParisTech, dominante Gestion Forestière) au sein du Centre régional de la propriété forestière Provence-Alpes-Côte-d'Azur, en lien avec le groupe E.On France. Il s'agit d'un résumé. Le lecteur souhaitant plus de détails pourra se référer au mémoire en ligne sur le site www.agroparistech.fr.

Introduction

L'arrivée d'opérateurs industriels pour la production d'électricité à partir de la combustion de biomasse (E.ON à Gardanne, INOVA à Brignoles) vient réveiller autant que bousculer les réflexions autour de la gestion des espaces forestiers méditerranéens.

Sur un plan économique, des filières installées comme la papeterie, s'inquiètent de possibles effets d'éviction de la ressource et d'un renchérissement des coûts d'approvisionnement. D'autres filières en cours de structuration, notamment dans le secteur du bois-énergie suivant des modèles territorialisés de « circuits-courts », craignent de ne pas avoir le temps de s'installer et de sécuriser leur fonctionnement. La question du partage de la valeur ajoutée, de la forêt jusqu'aux chaudières, stimule les demandes, en particulier de la part des propriétaires forestiers qui souhaiteraient intensifier leur gestion et qui subissent la pression d'une société qui réclame un meilleur « entretien » des espaces boisés.

Carte de la localisation du projet au sein de la région
Provence Alpes Côte d'Azur

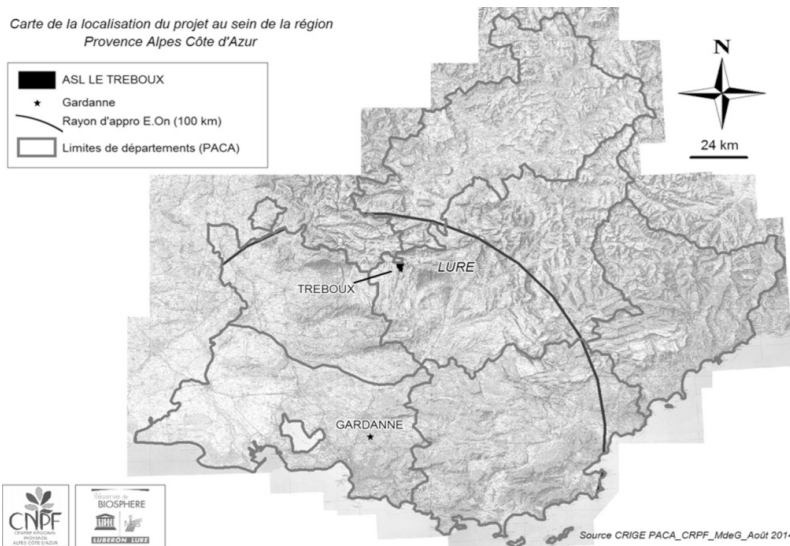


Fig. 1 (en haut) :
Carte de situation de
l'ASL du Tréboux en
région PACA et rayon
d'approvisionnement
d'E.ON.

Photo 1 (ci-contre) :
La plateforme Bois
de Banon (Alpes de
Haute-Provence).
Photo M.de G.



Sur un plan environnemental, la perspective d'un recours accru à la biomasse ligneuse dans le bouquet énergétique national inquiète fortement ceux qui, après avoir milité pour une transition énergétique vers des énergies renouvelables, avancent à présent les risques de mobilisation sans garde-

fous et brandissent le retour inéluctable aux taux de boisement méditerranéens de l'après-guerre. Ces opposants invoquent aussi bien les risques qui en découleraient en matière de dégradation des sols que les conséquences dramatiques en matière de perte de biodiversité et de paysage, le tout dans un contexte de changement climatique particulièrement impactant pour la forêt méditerranéenne. Des collectifs se sont ainsi montés pour réclamer l'annulation des autorisations administratives ayant permis l'installation des centrales énergétiques biomasse dans le cadre du projet CRE4 (Cf encadré p. 303), sans que l'on puisse faire la part des choses entre cibles politiques et enjeux techniques...

Confronté à ces débats, le groupe E.ON France a lancé un « appel à initiatives » dont le but est d'accompagner financièrement des expérimentations apportant des éléments de réponse contextualisés. L'association syndicale libre (ASL) Le Tréboux, dans les Alpes-de-Haute-Provence (Cf. Fig. 1) s'est inscrite dans cette démarche et a cherché à montrer comment la mise en œuvre d'une garantie de gestion durable pouvait s'articuler techniquement et économiquement avec l'approvisionnement d'une centrale biomasse comme celle de Gardanne.

Dans le cadre d'un stage de fin d'études AgroParisTech piloté par le Centre régional de la propriété forestière Provence-Alpes-Côte d'Azur, une méthode de mobilisation des acteurs locaux a été testée pour produire de la biomasse énergétique suivant différentes modalités technico-économiques pouvant répondre au cahier des charges d'E.ON, tout en garantissant l'approvisionnement de la filière courte organisée autour de la plateforme Bois de Banon (Cf. encadré ci-contre).

Un protocole a été établi pour caractériser les produits énergétiques, selon une typologie de peuplements de pin sylvestre fondée sur la qualité marchande et les itinéraires techniques de mobilisation. L'installation de chantiers pilotes sur les unités de gestion de l'ASL Le Tréboux a permis de produire des données. L'analyse des résultats a abouti à la détermination des coûts de production permettant d'alimenter le référentiel régional que le groupe E.ON souhaite installer pour orienter son approvisionnement vers des itinéraires techniquement réalistes, économiquement viables et socialement responsables.

Une journée de restitution a eu lieu (24 juin 2015) sur la commune de La

Mobiliser les acteurs locaux

La méthode de mobilisation des acteurs locaux a reposé sur l'implication des personnes suivantes :

- les propriétaires forestiers regroupés en association syndicale libre. Pratiquement, le conseil syndical a représenté les propriétaires pour assurer le suivi des opérations ;
- la coopérative Provence Bio Combustibles, gestionnaire de la plateforme Bois de Banon. Cette coopérative intervient sur l'ensemble des opérations depuis les chantiers en forêts jusqu'à la mise en marché des produits. Elle a été constituée pour structurer une filière courte bois-énergie et sécuriser l'approvisionnement des chaufferies locales ;
- le Centre régional de la propriété forestière PACA. Organisme technique chargé de l'encadrement de la gestion en forêt privée, le CRPF a accompagné le montage du projet de gestion concertée sur le site du Tréboux depuis son origine. Il participe également à l'appui technique pour le développement des filières bois sur ce territoire ;
- AgroParisTech forme des ingénieurs forestiers sur son site de Nancy (ex-ENGREF) et des enseignants ont encadré le stage, apportant notamment une contribution méthodologique à la démarche ;
- la commune de La Rochegiron où se situait l'expérimentation.

Un comité de pilotage a été constitué entre les représentants de ces structures, associant E.ON. Des échanges réguliers ont eu lieu lors des réunions des organes de gouvernance de l'ASL Le Tréboux.

Rochegiron. Elle a permis de réunir les différents acteurs forestiers régionaux et locaux, porteurs de points de vue variés sur les projets énergétiques et de progresser dans la convergence pour faire de ces projets des opportunités pour le développement des forêts méditerranéennes.

Éléments de contexte

L'ASL Le Tréboux regroupe une quarantaine de propriétaires forestiers représentant 1 007 hectares sur la commune de La Rochegiron (Cf. Fig. 1). Elle gère ce massif suivant un plan simple de gestion (PSG) concerté qui lui confère une garantie de gestion durable. Les objectifs de l'ASL sont centrés sur la reconquête d'espaces pastoraux mais les actions intègrent l'ensemble des enjeux du site (amélioration de la desserte et de la ressource en eau, protection incendie, préservation de l'environnement, organisation des usages...). La forêt est certifiée PEFC.

La remontée biologique sur le massif est importante depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale en raison de phénomènes connus de déprise agricole et d'évolution des pratiques pastorales. Les peuplements sont capitalisés et le plan de gestion est caractérisé par des sylvicultures de « rattrapage¹ ». A titre d'illustration, sur les 10 ans de durée d'exécution du plan de gestion, il est prévu de passer une surface de 476 hectares en éclaircies. Les futaies de pin sylvestre, en peuplements purs ou mélangés, couvrent une surface de 336 hectares et représentent 221 hectares de coupes. En 4 ans, 136 hectares d'éclaircies résineuses ont permis de valoriser 8 464 tonnes de bois.

Ces peuplements constituent ainsi un enjeu majeur pour la gestion du site et la valorisation de la ressource ligneuse.

Les informations du PSG sont présentées dans le Tab. I.

L'ASL Le Tréboux a passé un contrat d'approvisionnement avec la coopérative Provence Bio Combustibles, gestionnaire du pôle bois de Banon. Son plan de gestion est ainsi « connecté » à la stratégie territoriale de développement de la filière bois-énergie.

Cet engagement juridique répond aux inquiétudes exprimées par des élus du territoire sur les risques de discontinuité dans l'approvisionnement des chaudières locales

Nomenclature SRGS des interventions	Nomenclature SRGS des peuplements	Surface (ha)
Défrichement	Futaies de pin sylvestre issues de colonisation récente	51,44
	Futaies communes de pin sylvestre	19,23
Eclaircie de rattrapage	Futaies communes de pin sylvestre	1,97
Extraction des résineux	Futaies de pin sylvestre avec semis en sous-étage	16,25
	Peuplements mélangés de hêtre et de pin sylvestre	18,41
Intervention spécifique	Futaies de pin sylvestre issues de colonisation récente	17,46
	Futaies communes de pin sylvestre	96,36



Tab. I (ci-dessus) : Peuplements de pin sylvestre de l'ASL Le Tréboux et interventions sylvicoles prévues par le PSG. Source ASL Le Tréboux, 2008.

Photo 2 (ci-contre) : Journée de restitution à La Rochegiron (Alpes de Haute-Provence). Photo M. de G.

et de « détournement » des outils (plateforme, etc.) installés dans le cadre de politiques publiques territorialisées.

C'est notamment dans ce cadre qu'une étude, dénommée Plan d'approvisionnement territorial, avait permis d'évaluer la disponibilité résiduelle en biomasse énergétique à l'échelle d'un vaste territoire couvrant le Parc naturel régional du Luberon et son extension sur l'adret de la montagne de Lure. Cette ressource mobilisable s'établissait à 54 000 tonnes par an (à 30% d'humidité) pour un besoin territorial estimé à environ 15 000 tonnes de bois « sec » annuelles, suivant un scénario optimiste de montée en puissance dans l'installation des chaudières rurales.

Ainsi, les études territoriales, comme les expériences issues de la mise en œuvre de plans de gestion, concluent à un excédent à court-terme de la disponibilité en ressource ligneuse « bois-énergisable » par rapport aux besoins locaux, posant la question des conséquences d'une capitalisation des peuplements. Cette problématique ouvre les perspectives de solutions pour un approvisionnement maîtrisé des installations industrielles, en complément de l'ap-

1- L'idée de « sylvicultures de rattrapage » repose sur le fait que le Schéma régional de gestion sylvicole (SRGS PACA), cadre technique garantissant la gestion durable des différents types de peuplements régionaux, est basé sur une séquence d'interventions tout au long de la vie du peuplement, depuis des opérations de dépressage jusqu'à l'ultime prélèvement lors de la coupe définitive. Pour des raisons souvent économiques, les interventions intermédiaires ne sont pas réalisées par les propriétaires et les peuplements se capitalisent. Dès lors le technicien se trouve confronté à la nécessité d'adapter l'intensité de prélèvement en volume et de « rattraper » le retard sans déséquilibrer ni compromettre l'avenir du peuplement.

2 - On rappelle que la possibilité correspond à la quantité de bois que le gestionnaire prévoit de prélever chaque année sur la série (possibilité globale), durant toute la durée d'application du plan de gestion. La possibilité est assise par contenance (Pc) ou par volume (Pv). Elle est recrutée prioritairement sous forme de récolte des chablis, bois d'emprises puis par des coupes de régénération et des coupes d'amélioration (futaie régulière).

3 - Le Pouvoir calorifique inférieur (PCI) correspond à l'énergie (par unité de masse ou de volume) produite par combustion complète d'un corps lorsque toute l'eau des produits de la réaction est à l'état de vapeur.
Source : ADEME/FCBA, 2008.

4, 5 - Source E.On Service Approvisionnement Biomasse, 2014

provisionnement des circuits-courts. Pour autant ce schéma vertueux doit être raisonné dans un cadre spatial et temporel représentatifs des possibilités globales² de mobilisation.

Cahier des charges de la centrale de Gardanne

Les principaux critères de caractérisation des plaquettes forestières figurant actuellement dans le cahier des charges des chaufferies et des centrales biomasses sont définis par la norme européenne CEN/TS 14961 :

- **La granulométrie.** Elle varie en fonction des caractéristiques du broyeur (écartement des mailles des grilles utilisées) mais également en fonction de la dimension des éléments broyés (rémanents, perches, feuilles, etc.). Ainsi la norme définit des classes de granulométries suivant la taille des particules (P) de chaque composante de plaquettes : fraction principale (80 % de la masse), fraction fine (< 20 % de la masse), fraction grossière (< 1 % de la masse).

- **Le taux d'humidité.** Il représente la composante principale pour la détermination du Pouvoir calorifique inférieur (PCI)³ de la plaquette. Plus le taux d'humidité est faible, plus le PCI correspondant est élevé. Le taux d'humidité varie en fonction de l'essence, du stade de développement du peuplement, de la période d'exploitation et des conditions de stockage. Les plaquettes forestières issues d'un broyage de bois « vert » ont un taux d'humidité compris entre 50 et 60 %. Ce taux peut descendre à 30 % après ressuyage à l'air libre et jusqu'à 20 % après stockage sous abri.

Les classes d'humidité (M) sont données en fonction du taux d'humidité brut (*masse d'eau / masse totale*).



Photo 3 :
Plaquette forestière.
Photo M.de G.

- **Le taux de cendre sur produit sec** (A). Les cendres sont un sous-produit de la combustion et le taux dépend de la teneur du bois en minéraux (FIBOIS ALSACE, 2007). L'écorce et les branches contiennent plus de minéraux que le tronc.

- **La teneur en chlore sur produit sec** (Cl). Cette composante s'est révélée peu pertinente pour différencier les produits forestiers.

Les protocoles d'échantillonnage et d'analyse font également l'objet de normes. Elles sont consultables dans le Référentiel sur les plaquettes forestières publié par l'ADEME et le FCBA (2008). Dans le cas du Tréboux, les échantillons de plaquettes forestières ont été transférés par le Service Approvisionnement Biomasse d'E.On à un laboratoire spécialisé, indépendant.

De par sa puissance (150 MW), la centrale de Gardanne accepte une plus grande variabilité de plaquettes forestières que les petites chaufferies rurales. L'unité de transaction reste la tonne mais le prix s'établit sur la base combinée du tonnage et du PCI. En effet, le groupe industriel étant engagé sur un prix de vente fixe du kilowattheure dans le cadre de l'appel d'offre CRE4, il préfère raisonner en énergéticien et « acheter des mégawattheures ».

Le paiement de la biomasse est donc fondé sur son PCI, calculé à partir du taux d'humidité selon la formule suivante⁴ :

$$PCI = PCI_0 \times (1 - H \%) - (678,6 \times H \%)$$

où *H %* est le taux d'humidité sur masse brute du bois et *PCI₀* le pouvoir calorifique inférieur du bois anhydre en kWh / t, fixé à 5 000 kWh / t dans le cahier des charges.

L'ensemble des spécifications des produits plaquettes forestières figure dans le cahier des charges des biocombustibles acceptés par la centrale de Gardanne.

Par ailleurs trois « bonus » peuvent augmenter le prix de base⁵ pour encourager des « fournisseurs champions » :

- **Bonus « bois + ».** Il nécessite une fiche de coupe, remise à E.On. Il est d'environ 2€/MWh, soit 10% du prix brut hors transport. Le « bois + » « s'entend de tout bois de qualité « énergie » ou « trituration » issu d'une coupe dont les coûts de revient selon les meilleures pratiques en vigueur sont supérieurs aux prix proposés par les marchés géographiquement les plus proches pour ces produits, à un moment donné. Afin de préciser, les coûts liés à l'exploitation, au

débardage, aux ruptures de charge et au transport doivent être au moins égaux à 85% des prix constatés sur les marchés. Ces constatations peuvent également être faites sur les prix observés bord de route ».

L'IFN évalue à 25% le taux de prélèvement de l'accroissement forestier annuel dans la région PACA. La stratégie d'approvisionnement d'E.On repose sur l'intensification de ce prélèvement et s'intéresse aux 75% de l'accroissement qui ne sont pas prélevés. On rencontre classiquement deux composantes :

- des bois de diamètre commercialisable mais « bloqués » en forêt pour des raisons techniques (pente, desserte), foncières (morcellement) ou culturelles (refus des coupes) ;
- des bois de diamètre et/ou de conformation non commercialisables dans les circuits traditionnels (notamment l'industrie) qui pourraient entrer dans l'approvisionnement d'un énergéticien sous la forme de broyats.

Il s'agit dans les deux cas d'un prélèvement quantitatif supplémentaire, sans effet d'éviction sur l'approvisionnement des autres filières, voire avec un effet de levier si un tri des produits peut être mis en œuvre. Le coût de mobilisation de ces produits est plus élevé, ce que le bonus prix vise à compenser.

- **Bonus « certification »**. Il s'applique en cas de mobilisation de bois certifié selon l'un des schémas de certification de gestion forestière durable. Le prix dans ce cas est majoré de 0,33€/MWh pour la biomasse livrée suivant un contrat apportant les garanties de traçabilité, sans limite de quantité autre que celle prévue dans le plan d'approvisionnement. Ce bonus concerne les bois ronds et les plaquettes. L'objectif d'E.On est d'atteindre 100% de produits certifiés en 10 ans (P.-J. MOUNDY, 2014). Ce bonus encourage fortement la certification forestière et la relocalisation de la part de la ressource qui sera initialement importée.

- **Bonus « Spécification »** : un bonus de 5 % par rapport au prix de base hors transport s'applique pour des livraisons de bois dont l'humidité est strictement inférieure à 33%, sur des volumes de plaquettes contractualisés dans le cadre du plan d'approvisionnement, afin d'avoir une régularité dans la qualité.

Le contrôle de la qualité des produits aura lieu à l'entrée de la centrale. Un échantillon de 60 litres sera prélevé de façon systématique (5 à 6 l sur chaque camion), au niveau

Les normes du produit « plaquette forestière »

Un référentiel sur les plaquettes forestières a été publié en 2008 par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et l'Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement (FCBA). Les plaquettes forestières sont définies comme « combustibles obtenus par broyage ou déchetage de tout ou partie de végétaux ligneux issus de peuplements forestiers et de plantations n'ayant subi aucune transformation (directement après exploitation). [...] Du fait de leur origine, les plaquettes forestières peuvent contenir des fragments de bois, d'écorce, de feuilles ou d'aiguilles ».

Les biocombustibles solides dans lesquels s'inscrivent les plaquettes forestières ont fait l'objet d'une classification et d'une normalisation à l'échelle européenne dont les spécifications techniques ont été rédigées et publiées par le Comité technique 335 du Centre européen de normalisation (CEN TC335 biocombustibles solides). Ainsi la classification CEN/TS 14961 segmente la biomasse solide en trois compartiments suivant son origine (ligneuse, herbacée, fruitière). Elle a été traduite dans la réglementation française sous la référence NF EN 14961-1 (octobre 2010) qui classe tous les biocombustibles et précise leurs propriétés.

des baies de déchargement. L'échantillon sera rebroyé pour qu'il ne soit composé que de particules de bois inférieures à 30 mm de section (norme du protocole d'échantillonnage). Un extrait de 5 à 6 litres de cet échantillon sera ensuite envoyé dans un laboratoire spécialisé qui gèrera les échantillons par types de produits et par fournisseurs. L'analyse portera sur un échantillon moyen issu de la mutualisation des échantillons de dix camions (même produit, même fournisseur).

Dans la suite de l'article, le terme « qualité » des plaquettes désignera les spécifications des plaquettes comme elles ont été définies précédemment.

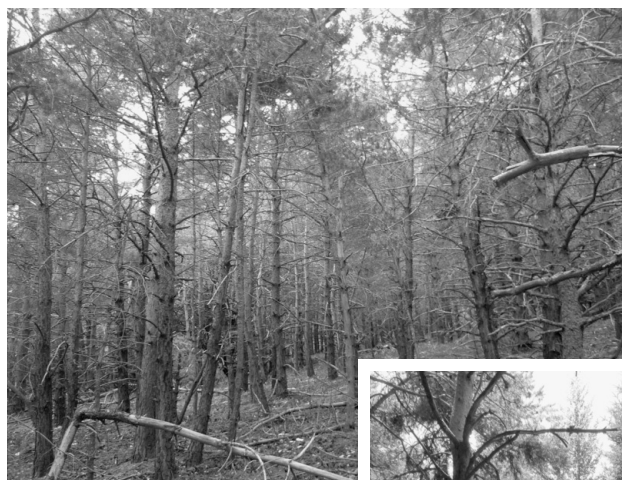
La Commission de régulation de l'énergie (CRE)

La programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité a été fixée pour la période 2009-2020. Elle s'inscrit dans l'objectif national de multiplier par six la production d'énergie électrique issue de la biomasse entre 2006 et 2020, soit une capacité installée de 2 300 MW en 2020. La loi* prévoit que lorsque les capacités de production d'électricité utilisant l'énergie issue de la biomasse, ne répondent pas aux objectifs de la programmation, le ministre en charge des énergies peut recourir à des appels d'offres. La procédure est confiée à la Commission de régulation de l'énergie (CRE) qui rédige le cahier des charges de la consultation et instruit les offres. Elle formule un avis sur les dossiers qu'elle transmet au ministre qui arrête les projets retenus. Les candidatures validées bénéficient, pour une durée déterminée, de conditions d'achat spécifiques de l'électricité calculées en fonction du volume d'énergie produite, du prix proposé et des éventuelles pénalités pour non-respect des engagements contractuels. Le dossier du candidat intègre un plan prévisionnel d'approvisionnement et les types de biomasse ciblés.

* Loi n°2000-108 du 10 février 2000 modifiée

Évaluation de la ressource de bois mobilisable pour la production de plaquettes forestières

La première étape a consisté à évaluer la qualité marchande des peuplements et le volume sur pied de pins sylvestres valorisables en plaquettes forestières. Pour ce faire, quatre unités de gestion ont été échantillonnées au travers d'un dispositif de placettes statistiques.



Photos 4 :
Les trois types de peuplements échantillonnés.
En haut : accrus de pin sylvestre.
Ci-dessus : futaie commune et ci-contre : peuplement mélangé.
Photos M.de G.

La qualité de la plaquette forestière (hors séchage et criblage) dépend principalement de la part relative de la masse de bois et de la masse d'aiguilles dans le produit total. En effet, les aiguilles de pins sont plus riches en éléments « indésirables » (cendres, composés chimiques) que le bois. Un pin sylvestre en croissance libre porte plus de branches basses et son houppier est plus développé qu'un arbre en peuplement.

Ainsi les conditions de croissance vont contribuer à déterminer une segmentation suivant le ratio massique bois/éléments fins, aboutissant à une typologie simplifiée des peuplements de pin sylvestre. Elle croise la nomenclature du Schéma régional de gestion sylvicole (SRGS) et comprend les informations suivantes :

- le volume valorisable en plaquettes forestières ;
- la spécification des produits (en lien avec l'analyse des échantillons en laboratoire) ;
- les coûts de production des différents produits.

Elle aboutit à un référentiel des produits acceptés et refusés par la centrale, avec leurs coûts de production et les itinéraires techniques associés.

L'échantillonnage des peuplements de pin sylvestre de l'ASL Le Tréboux a débuté par le parcours de peuplements identifiés préalablement par SIG (Système d'information géographique). L'analyse de photos aériennes croisée avec la codification SRGS, a permis de prédéfinir trois types de peuplements (Cf. Photos 4) :

- peuplement de bonne qualité correspondant à des futaies de pin sylvestre avec semis en sous-étage ;
- peuplement de qualité moyenne correspondant aux futaies communes de pin sylvestre ;
- peuplement de mauvaise qualité correspondant aux futaies de pin sylvestre issues de colonisation récente. Ce type de peuplement a la particularité d'être clairsemé, irrégulier (plusieurs classes d'âge et de diamètre) avec des arbres bas-branchus et des houppiers développés.

L'échantillonnage s'est fondé sur la représentativité des critères de qualité marchande (bonne, moyenne, mauvaise) mais également sur les conditions d'accessibilité. Le but étant de mettre en place des chantiers pilotes, il était important d'avoir des peuplements desservis (routes et pistes forestières, traînes de débardage, places de dépôt).

Par ailleurs les modalités techniques ont été « contraintes » par les itinéraires sylvicoles prévus dans le plan de gestion, eux-mêmes fondés sur les objectifs de gestion (sylvopastoralisme, amélioration sylvicole, DFCI, valorisation paysagère, préservation de la biodiversité...).

Enfin, l'échantillonnage a été regroupé géographiquement afin de limiter les coûts (notamment liés aux déplacements du matériel forestier et des hommes), tout en tenant compte de l'ordre de passage en coupe prévu dans le plan de gestion. En synthèse, le dispositif expérimental s'inscrit dans le respect de la mise en œuvre des règles de gestion durable, sous contrainte économique.

Les critères de gestion des peuplements ont été croisés avec les itinéraires techniques de production de plaquettes forestières afin d'échantillonner les chantiers d'exploitation. La comparaison entre abattage mécanique et manuel est intéressante pour connaître les différences de productivité. Pour autant, dans les peuplements mélangés de bonne qualité et dans les peuplements purs de qualité médiocre, l'abattage ne peut se faire que manuellement, soit parce que les arbres sont mal conformés pour une tête d'abattage, soit parce que la circulation des engins est contrainte. En revanche, l'abattage mécanique a été possible dans une futaie régulière de pin sylvestre sur bonne station (Cf. Photos 5).

Pratiquement, le relevé des données terrain est issu d'un protocole d'échantillonnage destructif portant sur quatre unités de gestion :

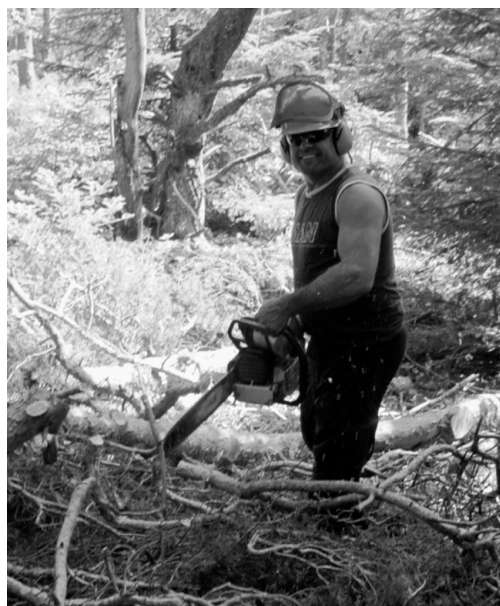
- Site 1 : peuplement mélangé, extraction résineuse sur 17,7 ha ;
- Site 2 : futaie homogène médiocre, coupe d'amélioration sur 21,79 ha ;

- Site 3 : futaie homogène sur bonne station, coupe d'amélioration sur 0,94 ha ;
- Site 4 : accrus récents, éclaircie massale (ou « dépressage tardif ») sur 4,1 ha.

Un maillage statistique a été établi aléatoirement au préalable sous ArcGis⁶ avec un point (représentant le centre de la placette) tous les cent mètres, ce qui correspond à un échantillonnage d'une placette par hectare. Les placettes sont circulaires, avec un rayon fixe de 10 mètres. Hormis pour le site 3, dans la pratique le protocole statistique a pu être valablement installé. Pour chaque placette, les données dendrométriques et la qualité des arbres pré-comptables (classe de diamètre 15 et plus) et celle des perches (classe de diamètre 10) ont été relevées.

La bibliographie ne renseigne pas sur des normes de qualités de pins sylvestres à destination de produits bois-énergie et nous avons défini les cinq classes suivantes :

6 - ArcGis est un système d'information géographique (SIG) qui fonctionne comme une plateforme géomatique gratuite, accessible via Internet. Le système permet de créer, gérer et partager des données géographiques (cartes et modèles d'analyse) via des applications bureautiques et un serveur.



Photos 5 :
Les deux itinéraires d'exploitation.
Ci-contre abattage manuel.
Ci-dessous: abattage mécanique et résultat.
Photos M.de G.



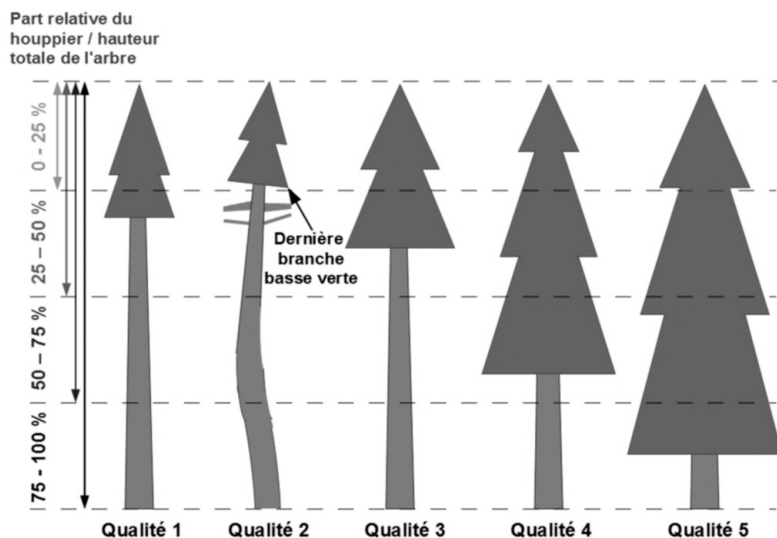


Fig. 2 :
Classes de qualité bois-énergie (BE) chez le pin sylvestre.

– Qualité 1 : grume valorisable en bois d'œuvre, longueur 5 m, sans gros défaut (un nœud noir accepté) et rectiligne.

Pour les quatre classes suivantes, on note la branche verte la plus basse pour déterminer la part relative du houppier par rapport à la hauteur totale de l'arbre :

– Qualité 2 : qualité bois-énergie (BE) avec une part relative du houppier comprise entre 0-25 % (le houppier représente au plus le quart de la hauteur totale de l'arbre) ;

– Qualité 3 : qualité BE dont la part relative du houppier est de 25-50 % ;

– Qualité 4 : qualité BE dont la part relative du houppier est de 50-75% ;

– Qualité 5 : qualité BE dont la part relative du houppier est de 75-100 %.

Cette classification est illustrée de la façon suivante dans la Fig. 2.

Cet échantillonnage représente un coût de 10 hommes/jour, soit 4 100 € HT en reprenant les tarifs de coopératives.

Les erreurs relatives obtenues sur la surface terrière (G en m²/ha), à 95% d'intervalle de confiance sont de 18,5 % pour le peuplement homogène médiocre, 14,2 % pour le

peuplement mélangé et 31,3 % pour les accrus, ce qui est satisfaisant. En revanche avec seulement deux placettes faites sur 0,94 ha de futaie homogène sur bonne station, les données sont difficilement interprétables (erreur relative de 192,9 % au risque statistique de 5 %...).

La synthèse des données dendrométriques figure dans le tableau II.

Dans un second temps, on a cherché à estimer le volume aérien total des peuplements cibles à partir des données de terrain.

Une des méthodes pour calculer ce volume consiste à appliquer des scalaires d'expansion « branches » au volume bois fort (découpe 7 cm fin bout, branches comprises). Localement dans les forêts publiques⁷, le volume bois fort « inventaire » des pins sylvestres est calculé selon la formule :

$$V = f \times G \times h_{tot}$$

où *f* est le coefficient de forme⁸ avec une difficulté cependant qui est qu'il correspond mal au pin sylvestre issu de régénération naturelle, alors que la multiplication d'un facteur d'expansion par le volume bois fort entraîne un biais supplémentaire. *G* est la surface terrière et *h_{tot}* la hauteur moyenne totale en mètre.

Il existe également des tarifs de cubage qui permettent de calculer directement le volume aérien total de l'arbre. Ce sont les tarifs⁹ établis par VALLET *et al.* (2006). Ils sont issus de l'analyse d'une base de données importante sur sept essences dont le pin sylvestre. Le volume aérien total est calculé à partir de la circonférence à 1,30 m et de la hauteur totale :

$$V = \frac{C^2_{1m30} \times h_{tot}}{4 \times \pi} \times \left(\alpha + \beta \times C_{1m30} + \frac{\gamma \times (\sqrt{C_{1m30}})}{h_{tot}} \right) \times \left(1 + \frac{\delta}{C^2_{1m30}} \right) + \varepsilon$$

où α , β , γ et δ sont des paramètres à ajuster en fonction de l'essence, ε un résidu, *V* en m³, *C_{1m30}* en m et *h_{tot}* en m. Les paramètres du pin sylvestre sont : $\alpha = 0,297$; $\beta = 0,000318$; $\gamma = 0,384$; $\delta = 204,0$.

7 - Source ONF, UT de Manosque, 2014.

8 - $f = 0,45$ pour les peuplements de pin sylvestre équiens de 40 ans (Pardé J., 1963).

9 - Le rapport Carbofor (Loustau, 2004) préconise l'utilisation de ces tarifs pour évaluer le volume aérien total.

Tab. II :
Données des peuplements d'étude avant coupe (arbres pré-comptables).
N : densité ;
Hg : hauteur ;
Dg : diamètre.

	N (tiges/ha)	Hg (m)	Dg (cm)	Volume aérien total (m ³ /ha)	Biomasse aérienne totale (t à 50%/ha)	Qualité du peuplement
Peuplement mélangé	607	12,3	25	238,0	202,3	mauvaise
Peuplement homogène médiocre	902	10,6	20	209,4	178,0	mauvaise
Peuplement homogène sur bonne station	1050	15,3	20	364,7	310,0	bonne
Accrus récents	684	9,8	20	147,7	125,5	très mauvaise

En synthèse :

- le peuplement mélangé possède 7 % de tiges de qualité 1 et 27 % de qualité 2. 66 % des tiges sont réparties en qualités 3, 4 et 5 ;
- le peuplement homogène médiocre comprend 6 % de tiges de qualité 1 et 27 % de qualité 2. 67 % des tiges restantes sont réparties dans les qualités 3, 4 et 5.

L'intérêt du peuplement mélangé réside dans la qualité de ses sapins avec 59 arbres précomptables /ha de qualité 1 soit 84% et 39 perches/ha de qualité 1, soit 71 % des perches.

Quant aux accrus récents, ils ont seulement 8 % de tiges de qualité 1 et 2.

Les résultats de la typologie simplifiée de qualité sont indiqués dans le tableau II.

Mise en place d'itinéraires techniques de production de plaquettes forestières

Les itinéraires techniques établis pour les chantiers pilotes ont été contraints par le matériel dont dispose le prestataire, la coopérative Provence Bio Combustibles, à savoir :

– **abattage** : une abatteuse 8 roues de type Ponsse Cobra HS10 et deux bûcherons salariés. Le bras de l'abatteuse a une portée maximale de 10 mètres ;

– **débardage** : deux porteurs articulés 8 roues de type Ponsse Buffalo. Les deux porteurs ont une capacité de charge de 14 tonnes et font 3 m de largeur. La grue a une portée maximale de 10 m. Le panier fait 5 m de longueur ;

– **broyage** : un broyeur mobile avec un moteur indépendant de 610 cv de type Doppstadt Panther DH-910. La machine est montée sur un châssis de remorque à trois essieux centraux. En utilisation bord de route, son rendement maximal est de 60 t/h. La grille d'écartement utilisée pour les trois chantiers est de 80 mm. Le diamètre maximal des arbres que la machine peut broyer est de 90 cm pour les bois tendres et de 68 cm pour les bois durs. Le broyeur est conduit sur places de dépôt ;

– **transport** : un camion à fond mouvant de 90 m³ avec une capacité de charge de 29 tonnes.

Le camion à fond mouvant a pu se rendre jusqu'aux places de dépôt des chantiers pilotes (Cf. Photo 6).

Les conditions d'exploitabilité sont classées « facile » à « moyenne » selon la définition de l'IFN.

En fonction des types de peuplement et des interventions sylvicoles, deux modalités d'abattage ont été testées : manuel ou mécanique. Le façonnage a été de deux types :

- arbre entier ;
- découpe 5 mètres avec une alternative :
 - * une seule bille de pied de 5 m et le reste étant qualifié de « tête longue », c'est-à-dire avec potentiellement une part de bois importante liée à la longueur de la surbille ;
 - * une bille de pied de 5 m, une surbille ébranchée de 5 m et donc un résidu de « tête courte » correspondant au houppier et aux branches.

Quatre produits ont pu être testés :

- plaquette issue d'arbre entier ;
- plaquette issue de billons ;
- plaquette issue des têtes courtes ;
- plaquette issue de têtes longues.

On comprend que la différence dans le produit échantillonné va porter sur l'importance relative des fines.

Des cloisonnements d'exploitation ont été marqués, correspondant aux différents façonnages, tel que le présente la figure 3.

Le porteur a circulé sur les cloisonnements et vidangé les différents produits sur place de dépôt, en quatre tas qui ont ensuite été broyés avant d'être échantillonnés.

Les prix de revient « départ place de dépôt » et « rendue usine » d'une tonne de plaquettes forestières ont été calculés pour chaque itinéraire technique de production.

Photo 6 :
Organisation d'un chantier de broyage.
Photo M. de G.



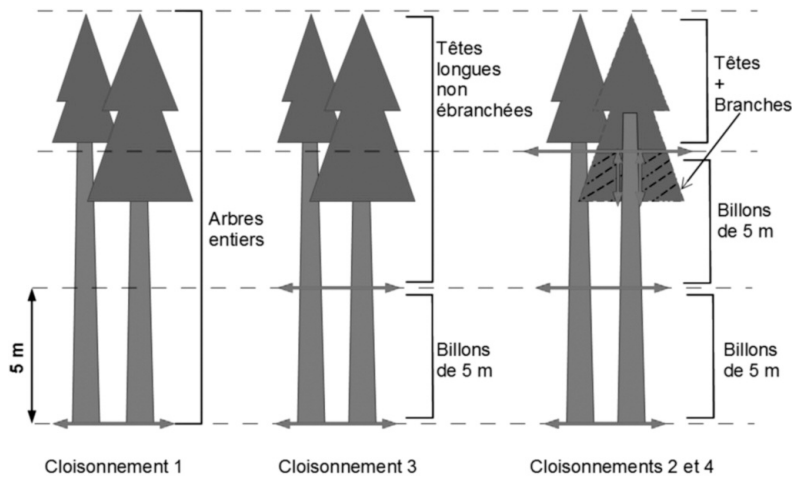


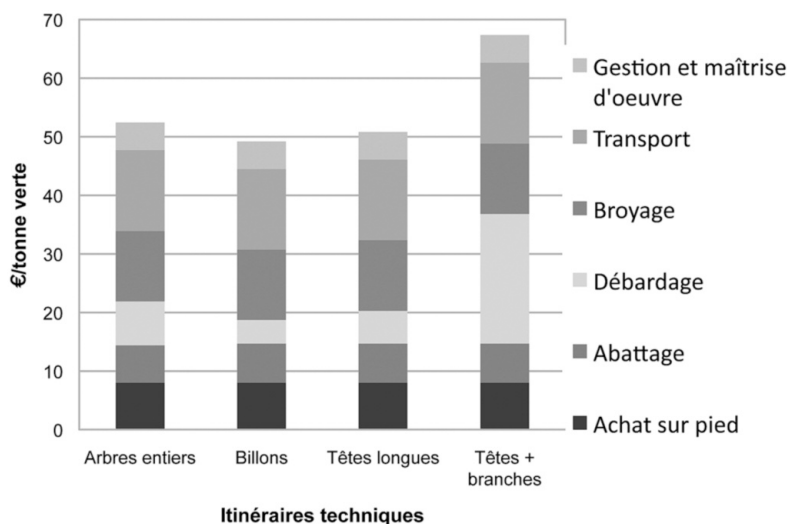
Fig. 3 :
Cloisonnements d'exploitation en fonction des différents façonnages.

Les plaquettes vertes ont été transportées directement depuis la place de dépôt jusqu'à l'usine.

La productivité de chaque phase a été chronométrée et les tonnages sont connus à partir des bons de livraison qui indiquent le poids de la marchandise du semi-remorque à fond mouvant. La productivité est exprimée en t/h. Ici la tonne correspond à 1 tonne verte de plaquettes forestières à un taux d'humidité mesuré lors de la prise des échantillons après broyage.

Le taux d'humidité a été mesuré pour chaque échantillon selon le protocole du « four à micro-ondes » défini par la Mission bois-énergie Lozère et Gard (2010) suite aux travaux du FCBA et de l'ADEME. Ce protocole est utilisé par les usagers (propriétaires de chaudière), les fournisseurs et les associations de communes forestières souvent chargées de suivre la qualité de l'approvisionnement. Il n'est pas normé.

Fig. 4 :
Les différentes composantes de coûts en fonction des itinéraires techniques.



Les coûts de production d'une tonne de plaquettes (exprimés en €/t) ont été calculés en appliquant les prix de revient jour du matériel employé, tels que communiqués par la coopérative.

Le temps consacré au suivi des chantiers est important et les coûts sont dégressifs en fonction du tonnage prélevé. Pour avoir un ordre d'idée, si le chantier fait 10 ha avec 1 000 tonnes récoltées (soit une moyenne de 100 t/ha prélevées sur les peuplements de pin sylvestre dans le cadre d'éclaircies sylvo-pastorales), le coût total de gestion et de maîtrise d'œuvre est ramené à 4,7 €/t (avec 1,5 hommes/jour pour le marquage des limites et des départs de cloisonnement, 6 hommes/jour pour le suivi des chantiers et 3 hommes/ jours pour la mise en place des placettes de relevés).

L'analyse des différentes composantes de la structure de coûts a été détaillée. Elle est représentée dans la figure 4.

L'étude détaillée de la structure des coûts des différents produits croisés avec les différents itinéraires a mis en évidence l'intérêt pour le propriétaire de valoriser des billes de 5 mètres lorsque c'est possible. En particulier dans le cas où l'on peut valoriser les fines en bois-énergie, il est plus intéressant d'appliquer un itinéraire « billon » + « tête longue », qu'un itinéraire « arbre entier ». En effet l'itinéraire technique qui permet de produire des « têtes longues » et des billes de 5 m maximise la valeur ajoutée du chantier en s'insérant dans deux filières : bois-énergie et bois « palette » ou « petits sciages ». En développant cette modalité, on se rapprocherait en forêt méditerranéenne du modèle économique nordique où le bois-énergie est issu de ce qui était historiquement laissé comme rémanents ou des travaux sylvicoles, alors que le revenu principal est assuré par la valorisation des grumes de bois d'œuvre. On retrouve ici une des variantes possibles de la notion de « bois + ».

Tous ces résultats reposent sur un contexte précis, avec des distances de débarquement assez courtes (en moyenne 100 m), des pentes limitées, des places de dépôt-broyage accessibles aux camions... Or ces critères influencent fortement la construction du prix de revient.

Par ailleurs ces résultats reflètent une certaine homogénéité de la qualité marchande des peuplements, notamment au regard de la taille des houppiers et des ratios branches / billons. Or le poste de débardage est le plus

sensible et la productivité du porteur est très variable suivant que le panier est rempli de « têtes » plus ou moins volumineuses, c'est-à-dire plus ou moins légères avec une manutention plus longue.

Cette relativité des conditions de production et des types de produits devrait être reflétée dans une segmentation plus fine des prix d'achat des différentes composantes d'un arbre et dans le prix de vente des différents broyats.

Dans ces conditions, les premiers résultats d'analyse des échantillons de plaquettes ne montrent pas de différence au regard des spécifications des produits acceptés par la centrale et à prix de vente égaux des broyats, l'itinéraire « tête longue + billon » est plus rentable que l'itinéraire « billon » si :

- le poids d'un panier du porteur rempli de « têtes longues » est supérieur à la moitié du poids d'un panier de porteur rempli de billons et,

- le tonnage des billons seuls est inférieur ou égal à 85 % du tonnage total théorique « arbre entier ».

Conclusion

Tous les échantillons du Tréboux ont respecté le cahier des charges d'approvisionnement de la centrale de Gardanne, y compris les produits issus du broyage des houppiers. Pour autant les niveaux d'humidité ont différencié et ont abouti à un barème de prix en fonction de ce critère. C'est donc le taux d'humidité qui est le facteur déterminant du prix des broyats forestiers. La granulométrie et la teneur en éléments fins, du broyat, n'impactent que pour autant qu'ils modifient l'humidité du produit par rapport à de la plaquette de billons. La voie est ainsi ouverte vers une valorisation bois d'œuvre des billes de pied de qualité et une valorisation bois énergie des têtes (longues) broyées, qui auront un niveau d'humidité satisfaisant pour offrir une rentabilité.

L'étude a posé les bases d'une typologie de peuplements fondée sur leur qualité dans le but de définir la quantité de biomasse valorisable dans différentes filières dont le bois-énergie. Elle avance les itinéraires de production les mieux adaptés même s'ils se limitent à un contexte particulier, à savoir un plan de gestion, une coopérative et des marchés industriels et locaux précis.

Le projet Provence 4 Biomasse

Le projet porté par le groupe E.On France a été validé lors du quatrième appel de la CRE. Il consiste à convertir la tranche 4 de la centrale thermique de Gardanne, fonctionnant au charbon et au coke de pétrole pour une puissance électrique de 250 mégawatts (MW), en une unité de production utilisant la biomasse pour une puissance électrique de 150 MW. Au total, la consommation annuelle de biomasse sera de 855 000 tonnes, dont 168 000 tonnes de ressources forestières * (bois ronds et plaquettes).

Le projet Provence 4 Biomasse permettra un passage en base pour la production d'électricité en Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), région qualifiée de « péninsule énergétique », confrontée à une saturation de ses capacités. 250 millions d'euros d'investissements renforceront l'efficacité énergétique de l'installation.

Un plan initial d'approvisionnement a été arrêté pour la période 2016 – 2018. Il prévoit des importations à hauteur environ de la moitié des besoins, part appelée à diminuer progressivement pour s'éteindre au bout de dix ans. Les approvisionnements viendront d'un rayon maximum de 250 km autour de Gardanne, la région PACA devant représenter 50 % du volume.

Le groupe E.On s'est lancé dans une politique de contractualisation pluriannuelle de ses achats et affiche la volonté que le projet Provence 4 Biomasse puisse contribuer au développement de critères d'excellence en matière de gestion durable des espaces forestiers méditerranéens (bois issu de forêt gérées durablement, produits certifiés pour assurer la traçabilité et la transparence des flux...).

Les premières livraisons de bois ronds pour des essais de broyage ont eu lieu en 2015 et le démarrage des essais de combustion de biomasse est prévu début 2016.

* Estimation pour l'année 2016. Source E.On, 4^e Comité régional biomasse

Comme le souhaite le groupe E.On France, cette approche gagnerait à être élargie à d'autres peuplements méditerranéens, intégrant vraisemblablement d'autres produits et itinéraires techniques.

L'étude a par ailleurs permis de mettre en exergue la problématique du séchage des plaquettes. E.On en tant qu'énergéticien souhaite « acheter du PCI » et donc des plaquettes plus sèches (et plus légères). Néanmoins cette approche révolutionne le fonctionnement d'une filière forêt-bois installée dans des habitudes héritées du « modèle papetier » où les prix établis à la tonne encourageaient la filière à vendre des produits frais sans grande préoccupation sur leur origine et où l'ajustement économique se faisait souvent sur la composante « transport » du prix de vente rendu usine.

Enfin, d'autres voies de valorisation sont à explorer à partir d'un meilleur tri des bois pour accroître la rentabilité des chantiers.

M.G., G.M.

Marie de GUISA
Gilles MARTINEZ
Ingénieurs forestiers
AgroParisTech
Més :
mariedeguisa@
gmail.com
gmartinez@
imagreen.fr

Bibliographie

- ADEME, INSTITUT TECHNOLOGIQUE FCBA. 2008 – *Référentiel combustible bois-énergie : les plaquettes forestières. Définition et exigences.* – 45 p.
- AFOCEL, IDF, ADEME, UNION DE LA COOPÉRATION FORESTIÈRE FRANÇAISE, INRA. 2006 – *La récolte raisonnée des rémanents en forêt.* – Angers : A.D.E.M.E. – 20 p.
- COMITÉ INTERPROFESSIONNEL DU BOIS-ÉNERGIE. 2011 – *Classification professionnelle des combustibles bois déchiquetés* – 4 p.
- FIBOIS Alsace. 2007 – Panorama de la filière bois-énergie en Alsace – p.6-9.
- IDF 2005 – Le pin sylvestre en zone méditerranéenne. – Toulouse : I.D.F. – 12 p.
- MISSION BOIS ENERGIE LOZÈRE ET GARD. 2010 – Etude de validation de la mesure du taux d'humidité du bois déchiqueté grâce à un four micro-ondes – 14 p.
- LOUSTAU D. (Coord.). 2004 – Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. – Bordeaux : INRA, p. 58-59.
- PARDE, J. 1963 – Une méthode rapide de cubage approchée des peuplements forestiers équiennes. *Revue Forestière Française*, n°8-9, p. 714-720.
- CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES FORESTIÈRES DU MORBIHAN. 2009 – Étude de faisabilité pour la production de plaquettes forestières en Bretagne. – Vannes : C.E.T.E.F., C.A. du Morbihan – 92 p.
- ENERGICO. 2009 – Maillage des plateformes et hangars de stockage pour l'approvisionnement en bois-énergie sur le Morvan : schéma stratégique de développement – Synthèse. – 10 p.
- MEWTON, S. 2007 – Etude opérationnelle de la mobilisation de plaquettes forestières pour l'approvisionnement de deux centrales de cogénération en Gironde (Mémoire de fin d'études). – 141 p.
- VALLET P., DHOTE J-F., LE MOGUÉDEC G., RAVART M. et PIGNARD G. 2006 – Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. – *Forest Ecology and Management* (229). – p. 98-110.
- VUILLERMOZ P. 2014 – Exploitation forestière dans des peuplements de Pin sylvestre publiques du sud de la montagne de Lure. – Communication personnelle le 30.04.2014.

Résumé

La société E.On France convertit une centrale thermique du charbon à la biomasse. Elle a financé une expérimentation visant à installer sur la montagne de Lure (Alpes-de-Haute-Provence), un cluster pour produire de la biomasse énergétique, dans le cadre de la mise en œuvre d'un plan simple de gestion à une échelle de massif.

Des résultats issus de chantiers pilotes ont permis de déterminer les coûts de production d'une typologie de plaquettes forestières en fonction de différentes modalités techniques de mobilisation. Ces données alimentent le référentiel que le groupe E.On souhaite installer pour orienter son approvisionnement vers des itinéraires techniquement réalistes et économiquement viables.

L'étude a par ailleurs permis de mettre en évidence la problématique du séchage des plaquettes. E.On en tant qu'énergéticien souhaite « acheter du PCI (pouvoir calorifique inférieur) » et donc des plaquettes sèches (et plus légères). Cette approche révolutionne le fonctionnement d'une filière Forêt-Bois installée dans des habitudes héritées du « modèle papetier » où les prix étaient établis à la tonne avec un ajustement économique se faisant souvent sur la composante « transport » du prix rendu usine. Ces premiers résultats appellent de nouveaux développements, en particulier vers un meilleur tri des bois pour accroître la rentabilité des chantiers et approvisionner différentes filières.

Summary

Technical and economic assessment of potential Scots pine volumes from culling with the aim of contracting for supplies of biomass to the Gardanne central heating plant

The E.On company is converting a coal-fired central heating plant to biomass. It has funded trial experimentation aimed at setting up on Mount Lure (Alpes-de-Haute-Provence, S. E. France) a cluster of suppliers for producing biomass for energy within the framework of a simplified management plan covering the whole mountain massif.

The results obtained at various pilot sites have made it possible to determine the production costs for a range of chip products as a function of the various technical features involved. This data will underlie the reference grid that the E.On group wants to draw up in order to orientate its supply chain in the light of methods that are feasible both technically and economically. The study has also highlighted the problems involved in drying the chips. As an energy supplier, E.O.n seeks "to buy low-level calory output" i.e. chips that are dry (thus lighter in weight). This approach is revolutionizing the practices of the forest-and-wood sector whose customary methods inherited from the days of "pulp and paper" included prices based on tonnage, with a sliding adjustment factored into transport costs for delivery to the mill yard. These initial results should drive new developments, especially for better sorting of wood in order to enhance site profitability and supply a variety of sectors.