



UTILISATION DU BOIS ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE DES SERRES

Bilan des connaissances et du parc des équipements
de chauffage des serres par la biomasse.
Analyse des opportunités et des contraintes pour les filières.

Juillet 2011

Etude réalisée par le Ctifl, l'Astredhor, Légumes de France et la FNPHP, avec
le soutien de l'ADEME, Convention n°1060C0052

Auteurs

Ariane GRISEY, Eric BRAJEUL et Marc DELPORTE, Ctifl
Marie MOREL, Astredhor
Kora MENEGOUZ, Anne Sophie LE MENN et Stéphanie GUILLOCHAIN, Producteurs de
Légumes de France
Delphine VERNIER, FNPHP

Coordination technique

Cédric GARNIER, Service agriculture et Forêts, ADEME

L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. L'agence met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public et les aides à financer des projets dans cinq domaines (la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit) et à progresser dans leurs démarches de développement durable.

www.ademe.fr

Copyright

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

REMERCIEMENTS

Caroline RANTIEN, ADEME
Lise LAMBERT, ADEME
Sylvain BORDEBEURE, ADEME

Gilles MARTY, AD3E/INSE Rodez
Gwenaël POSTEC, Ecovolta

Pierre HABERSCHILL, Président de l'Astredhor
Bruno PARIS, Creat
Emilie POWAGA, Ctifl

Nathalie BINDA, producteur de tomates sous serres dans le Lot-et-Garonne,
Benjamin MERLAND et son épouse, producteurs de tomates sous serres en Ardèche,
Jean THIREAU, producteur de tomates et de concombres sous serres en Loire-Atlantique,
Jean-François VINET, producteur de tomates et de concombres sous serres en Loire-Atlantique,
Gabriel GARDET, producteur de plantes en pots fleuries,
David LECOMPTE, producteur de plantes en pots fleuries,
Pascal et Sophie PROVENT, producteurs de fleurs coupées,

Et tous les producteurs ayant participé à l'enquête.

GLOSSAIRE ET DEFINITIONS

AAP : Appel à Projet.

ACT : Autorisation de Commencement des Travaux

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AOP : Association d'Organisations de Producteurs

APCA : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture

ASTREDHOR : Association Nationale des Structures d'Expérimentation et de Démonstration en Horticulture

BCIAT : Biomasse Chaleur Industrie et Agriculture Tertiaire

BIBE : Bois Industrie et Bois Energie

CEE : Certificat d'Economie d'Energie

CPER : Contrats de Projets Etat Régions

CRE : Commission de Régulation de l'Energie

Ctifl : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

CUMA : Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole

Cumac : Les actions d'économies d'énergie sont comptabilisées en « kWh cumac », « cumac » étant la contraction de « cumulé et actualisé ». Le cumac représente ainsi l'unité de mesure de l'économie d'énergie primaire générée par l'installation d'un équipement

DDT : Direction Départementale des Territoires

DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer

DIDEME : Direction de la Demande et des Marchés Energétiques

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement

EARL : Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée

EnR : Energies Renouvelables

FCBA : L'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement

FEADER : Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural

FEDER : Fonds Européen de Développement Régional

FNPHP : Fédération Nationale des Producteurs de l'Horticulture et des Pépinières

GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

GIE : Groupement d'Intérêt Economique

Granulométrie : Grandeur liée au degré d'élaboration du combustible (cotes moyennes des morceaux, pourcentage de fines, pourcentage et longueur maximale des gros morceaux).

ha : hectare

HT : Prix Hors Taxes

Humidité (en %) : Masse d'eau contenue dans le bois / masse totale du bois (humidité sur masse brute) ou masse d'eau contenue dans le bois / masse de bois anhydre (humidité sur masse anhydre)

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

IFN : Inventaire Forestier National

JA : Jeunes Agriculteurs

m : mètre, unité de longueur

m² : mètre carré, unité de surface

m³ : mètre cube, unité de volume

MAP : Mètre cube Apparent de Plaquettes, unité de volume occupée par du bois déchiqueté dans un mètre cube

Masse volumique (en kg/m³) ou densité : Poids d'un volume donné

MB : Menu Bois : biomasse de la tige et des branches comprise dans les bois de diamètre inférieur à 7 cm

OP : Organisation de Producteurs

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur, quantité de chaleur que dégage la combustion complète de 1 kg ou 1 Nm³ de ce composé

PID : Proportionnel Intégral Dérivé, algorithme de régulation classique utilisé pour qu'une mesure tende de manière rapide et fiable vers une consigne

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur, quantité de chaleur que dégage la combustion complète de 1 kg ou 1 Nm³ de ce composé, lorsque l'on peut récupérer la chaleur latente de condensation

de l'eau

PVE : Plan Végétal pour l'Environnement

SAS : Société par Actions Simplifiée

t : tonne, unité de masse

tep : tonne équivalent pétrole, $1 \text{ tep} = 11\,630 \text{ kWh}$, $1 \text{ ktep} = 1\,000 \text{ tep}$, $1 \text{ Mtep} = 1\,000\,000 \text{ tep}$

UTH : Unité de Travail Humain

VINIFLHOR : Office National Interprofessionnel des Vins, des Fruits, des Légumes, et de l'Horticulture, ancien office agricole spécialisé devenu FranceAgriMer

W : Watt, unité utilisée pour exprimer une puissance électrique ou thermique. On utilisera W_e pour une puissance électrique et W_{th} pour une puissance thermique. $1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$; $1000 \text{ kW} = 1 \text{ MW}$

Wh : Watt-heure, unité utilisée pour exprimer une quantité d'énergie électrique ou thermique
 $1000 \text{ Wh} = 1 \text{ kWh}$; $1000 \text{ kWh} = 1 \text{ MWh}$

SOMMAIRE

Introduction	9
1. Les ressources en bois énergie.....	11
1.1. Le bois énergie sous toutes ses formes.....	11
1.1.1. Combustibles bois issus de la forêt.....	11
1.1.2. Combustibles bois issus de l'industrie.....	13
1.1.3. Combustibles bois issus de la filière déchets	15
1.2. Disponibilité en bois énergie en France	17
1.2.1. Combustibles bois issus de la forêt ou de l'agriculture	17
1.2.2. Combustibles bois issus de l'industrie.....	21
1.2.3. Combustibles bois issus de la filière déchets	22
1.3. Les autres gisements de biomasse.....	23
2. La production et fourniture d'énergie	25
2.1. Technologies de production de chaleur à partir de biomasse.....	25
2.1.1. Chaudières biomasse	25
2.1.2. Typologies des chaudières.....	26
2.1.3. Cogénération biomasse	30
2.2. Conception et paramètres clés de l'installation	30
2.2.1. Stockage du bois	31
2.2.2. Alimentation automatique.....	33
2.2.3. Spécificités de la chaudière polycombustible	35
2.2.4. Traitement des fumées	35
2.2.5. Gestion des cendres et des mâchefers.....	38
2.2.6. Commande et régulation.....	39
2.2.7. Raccordement aux réseaux de distribution de chaleur.....	41
2.2.8. Ballons de stockage d'eau chaude « Open-buffer »	42
2.2.9. Injection de CO ₂	42
3. Le montage des projets bois-énergie	43
3.1. Les acteurs du projet	43
3.2. Pré-étude de faisabilité ou (pré-)diagnostic énergétique	44
3.3. Etude de faisabilité	46
3.3.1. Approvisionnement en combustible	46
3.3.2. Contrat d'approvisionnement	46
3.3.3. Dimensionnement de l'installation.....	49
3.3.4. Dimensionnement économique.....	52
3.3.5. Bilan de l'étude de faisabilité.....	55
3.4. Mise en œuvre du projet.....	56
4. L'exploitation de la chaufferie et réglementation	57
4.1. Réglementation sur les installations de combustion.....	57
4.2. Réglementation sur les contrôles périodiques des installations	59
4.2.1. Chaudière de 4 à 400 kW	59
4.2.2. Chaudière de 400 kW à 20 MW	59
4.3. Contrôles et maintenance des chaufferies	60
4.3.1. Mise en route	60
4.3.2. Gestion au quotidien	60
4.3.3. Contrat de maintenance.....	61
5. Les aides et mécanismes de soutien	62
5.1. Soutiens aux investissements.....	62
5.1.1. Aides publiques	62
5.1.2. Les Certificats d'Economies d'Energie	69
5.2. Aides à la décision.....	70

6. Retours d'expérience du bois-énergie dans les serres	72
6.1. Méthodologie de l'étude.....	72
6.2. Installation d'une chaudière bois : un réel intérêt économique	73
6.3. Découverte d'un nouveau métier : la gestion du bois.....	73
6.3.1. La biomasse utilisée	73
6.3.2. Les équipements	74
6.3.3. Les différences techniques par rapport à une chaudière à énergie fossile	75
6.4. Une réelle opportunité économique	76
6.4.1. L'étude de faisabilité	76
6.4.2. Le coût d'investissement.....	76
6.4.3. Les aides et mécanismes de soutien	77
6.4.4. Les coûts de fonctionnement : maintenance et approvisionnement	77
6.5. Craintes sur l'approvisionnement à long terme	78
6.5.1. Le bois, une ressource abondante ?	78
6.5.2. La crainte des producteurs : le prix et l'approvisionnement.....	78
6.5.3. Des positions et stratégies qui diffèrent.....	80
6.6. Bilan des opportunités et contraintes	82
7. Conclusion.....	83
8. bibliographie.....	85
9. Annexes	87
9.1. Annexe 1 - Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents combustibles bois .	87
9.2. Annexe 2 - Plan d'un camion polybenne – échelle 1/50.....	89
9.3. Annexe 3 - Classification professionnelle des combustibles bois déchiquetés.....	90
9.4. Annexe 4 - Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents types de biocombustibles issus des cultures énergétiques	93
9.5. Annexe 5 - Contrat-type d'approvisionnement en combustible bois.....	95
9.6. Annexe 6 - Liste de bureaux d'études qualifiés pour l'installation de chaufferie bois en entreprises horticoles et maraîchères.....	109
9.7. Annexe 7 - Plaquette Alsace énergivie « les aides pour le secteur agricole »	110

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Répartition du nombre de chaudières biomasse, et des surfaces de serres chauffées pour la filière maraîchage en France, par département, en 2011	10
Figure 2 : Caractéristiques des principaux combustibles selon le taux d'humidité, la granulométrie et le pouvoir calorifique (source : guide « Mise en place d'une chaufferie au bois », ADEME-EDP Sciences, 2007)	11
Figure 3 : Les différentes étapes de l'approvisionnement en plaquettes forestières	13
Figure 4 : Disponibilité technico-économique de BIBE totale (en milliers de m3/an)	17
Figure 5 : Disponibilité nette en BIBE (en m3/ha/an)	18
Figure 6 : Evaluation des prélèvements de BE et de BI d'origine forestière (en milliers de m3/an)	18
Figure 7 : Disponibilité supplémentaire en BIBE (en milliers de m3/an)	18
Figure 8 : Disponibilité supplémentaire en MB (en milliers de m3/an)	18
Figure 9 : Disponibilités supplémentaires en IBE et MB en peupleraies et en haies (x 1000 m3/an)	19
Figure 10 : Evolution des disponibilités supplémentaires en BIBE et en MB en fonction du prix du BIBE	20
Figure 11 : Disponibilité brute des ressources annexes (tMS/an)	20
Figure 12 : Schéma d'une installation classique d'une chaufferie bois automatique (Source : www.adhume.org)	25
Figure 13 : Chaudière à poussée inférieure à tubes d'eau (Source : Vyncke)	26
Figure 14 : Chaudière à grilles mobiles (Source : Weiss)	27
Figure 15 : Briques réfractaires de la chambre de combustion (foyer à grilles mobiles)	27
Figure 16 : Echangeur de chaleur à tubes de fumées (Source : Biomasse Normandie)	28
Figure 17 : Implantation des projets retenus en janvier 2010 dans le cadre de l'appel d'offres	31
Figure 18 : Description d'une chaufferie bois (d'après WEISS)	31
Figure 19 : Schéma de régulation d'une chaudière bois (source : Compte.R)	41
Figure 20 : Les étapes du montage d'un projet de chaufferie bois	43
Figure 21 : Exemple de courbe monotone de chauffage	51
Figure 22 : Evolution du coût d'investissement d'une chaufferie industrielle au bois en fonction de sa puissance (en milliers d'euros HT) Source : Ademe / CTBA - Enquête 2002	55
Figure 23 : Résumé de la réglementation française applicable aux installations de combustion : ajouter en légende (Source : ATEE)	57

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Proportion de produits connexes de scierie selon l'essence (Source : CTBA)	22
Tableau 2 : Proportion de produits connexes dans l'ameublement et la menuiserie industrielle (Source : CTBA)	22
Tableau 3 : Présentation des différents biocombustibles et de leurs coût (source : Perspectives Agricoles – étude Régix)	24
Tableau 4 : Évolution de la production d'électricité à partir de biomasse : capacité installée (MW) et production brute d'électricité (GWh) (source www.enr.fr)	30
Tableau 5 : Humidité et teneur en cendres de différents types de bois combustible (Source : Aide-Mémoire du Thermicien, 1997)	38
Tableau 6 : Comparaison de concentration en CO ₂ et en polluants issue d'une combustion bois et gaz (source : Umwelt Perspektiven, 2008)	42
Tableau 7 : Exemples de variation des prix en fonction des combustibles	48
Tableaux 8 : exemple de bilan technico-économique d'une étude faisabilité pour une entreprise horticole (surface chauffée : 3 500 m ²)	53
Tableau 9 : Coût d'investissement d'une chaufferie au bois en fonction de la puissance et du type de combustible (Source : Ademe/CTBA – Enquête 2002, mise à jour ASTREDHOR 2011)	55
Tableau 10 : Valeurs Limites d'Emission (VLE) de polluants atmosphériques appliquées aux chaudières selon l'arrêté du 25 juillet 1997 (valeurs exprimées en mg/Nm ³) (Source : ATEE)	58
Tableau 11 : VLE de poussières exigées pour le Fonds Chaleur Renouvelable	63
Tableau 12 : Aides du Fonds Chaleur en fonction de la production énergétique	64
Tableau 13 : Exemples de bilans économiques avec simulation des aides du FCR	65
Tableau 14 : Bilans des appels à projets BCIA (2008-2009) et BCIAT (2009-2010) du Fonds Chaleur	65
Tableau 15 : description des actions éligibles au PVE	68
Tableau 16 : Prix de référence des CEE pour des opérations en serres	70
Tableau 17 : Répartition des puissances selon les surfaces et les équipements en horticulture ornementale	74
Tableau 18 : Références technico-économiques du chauffage des serres par le bois	76
Tableau 19 : Recensement des prix du bois sur la période 2010-début 2011 par producteur	81
Tableau 20 : bilan de l'enquête sur les opportunités et contraintes liées au bois énergie	82

INTRODUCTION

En France, la production de chaleur représente environ un tiers de la consommation d'énergie finale. Elle est principalement produite par des énergies fossiles, émettrices de gaz à effet de serre. Pourtant, la chaleur peut tout à fait être produite à partir de sources d'énergie renouvelable. Le développement des biocombustibles (bois, paille, cultures énergétiques, etc.) pour la production de chaleur et d'électricité constitue ainsi l'une des principales voies choisies par l'Union Européenne et la France pour limiter le recours aux énergies fossiles et lutter contre le changement climatique.

Le Grenelle de l'Environnement a proposé un objectif d'accroissement de la production de chaleur renouvelable de 10,1 Mtep à l'horizon 2020, avec un objectif de 5,5 Mtep supplémentaires pour l'habitat collectif, le tertiaire, l'agriculture et l'industrie. Les énergies renouvelables concernées sont la biomasse sylvicole ou agricole (objectif de 1,7 Mtep en 2012), l'énergie solaire (objectif de 25 ktep en 2012) et la géothermie valorisée directement ou par l'intermédiaire de pompes à chaleur (objectif de 1,1 Mtep en 2012).

Parmi les secteurs d'activité potentiellement concernés par ces projets de substitution énergétique, les serres chauffées semblent en particulier réunir tous les atouts pour une valorisation énergétique optimale de la biomasse. Le contexte énergétique actuel, notamment la forte fluctuation et la tendance haussière du coût des énergies fossiles, impacte en effet très fortement la viabilité des exploitations utilisant des serres chauffées. A ce constat économique, il faut ajouter une forte concurrence des pays du Sud (Espagne, Maroc...) mais également du Nord (Pays-Bas...), ainsi qu'une préoccupation environnementale de plus en plus forte, notamment par rapport aux émissions de gaz à effet de serre (GES) et à la qualité de l'air (émissions de particules et divers polluants).

Les productions horticoles et maraîchères sous serres chauffées représentent en France environ 2600 ha répartis équitablement entre les deux secteurs d'activité. Ce système de production vise à assurer une activité toute l'année avec un développement optimal de la culture par la maîtrise du climat et des problèmes phytosanitaires, et une meilleure efficacité en eau. L'énergie est le deuxième poste de charge après la main d'œuvre, pouvant représenter 25 à 35 % des coûts de production pour la filière maraîchère, et de 10 à 20 % pour la filière horticole. Le chauffage des serres représente en France 520 ktep par an, soit 13 % de la consommation énergétique totale de l'agriculture, représentant elle-même 2,5 % environ de la consommation d'énergie nationale. L'énergie utilisée pour le chauffage représente ainsi environ 1,3 Mt_{eqCO2} soit 1,2 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole.

En France, le gaz naturel est utilisé en combustible principal sur 77 % de la surface des serres maraîchères et 41 % des serres horticoles. Cependant, pour répondre aux nouvelles contraintes, une augmentation de l'utilisation des énergies alternatives a été observée ces dernières années, et principalement l'utilisation de la biomasse. En effet, les surfaces de serres utilisant la biomasse ont été multipliées par 3 en 4 ans, représentant actuellement environ 190 ha de serres chauffées (Figure 1).

L'étude présentée par ce rapport a pour objectif de fournir aux serristes un bilan le plus complet possible sur l'opportunité, les contraintes et les intérêts de l'utilisation du bois énergie dans l'état actuel des connaissances et des retours d'expériences des professionnels.

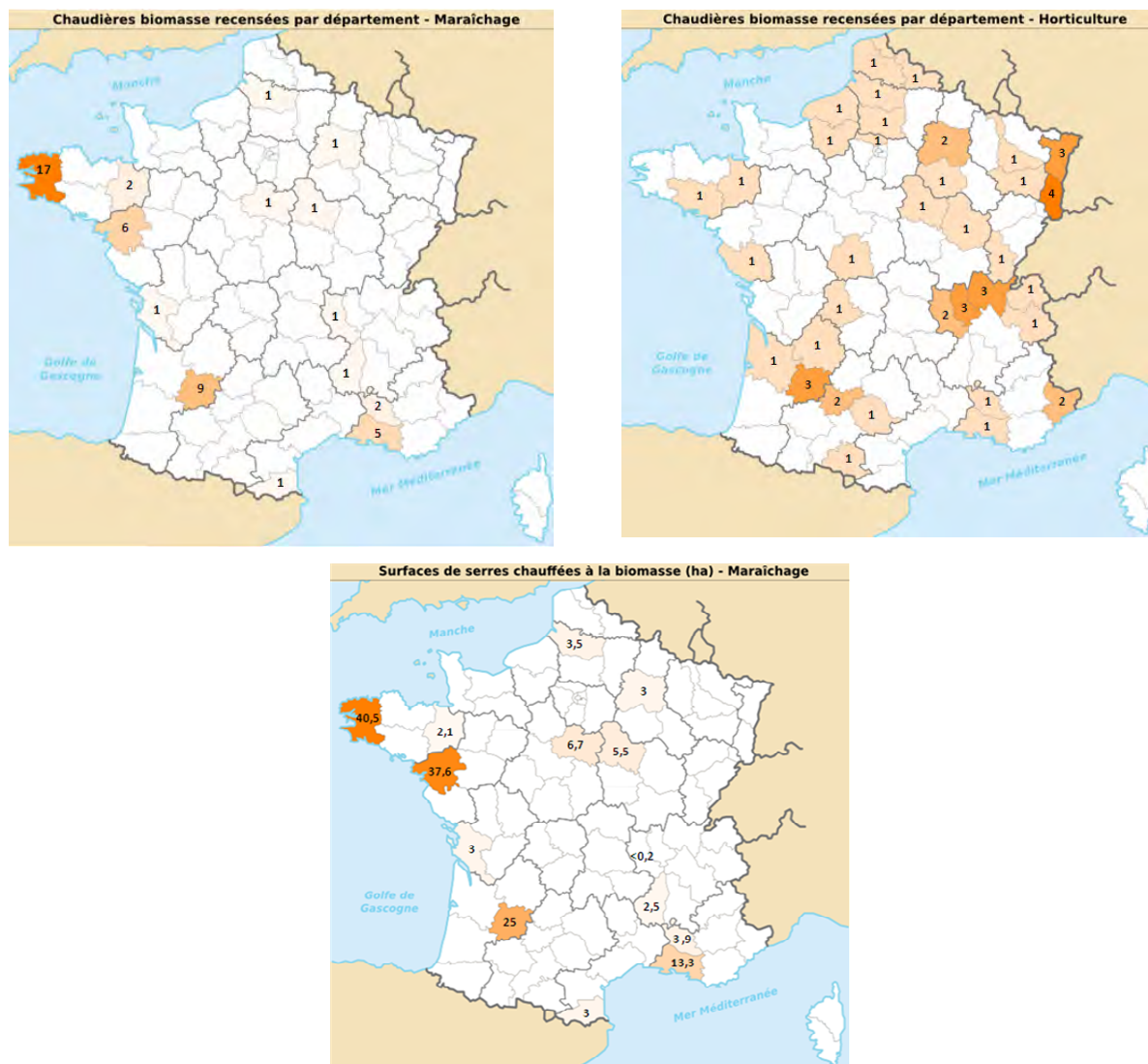


Figure 1 : Répartition du nombre de chaudières biomasse, et des surfaces de serres chauffées pour la filière maraîchage en France, par département, en 2011

Après une présentation des principales ressources en biomasse, les technologies de production de chaleur et les paramètres clés de l'installation d'une chaufferie biomasse seront abordés. Les différentes étapes du montage d'un projet et les mécanismes de soutien seront ensuite présentés, suivis des points clés de l'exploitation de la chaufferie. La dernière partie sera consacrée à l'analyse des réponses d'une enquête nationale réalisée auprès des producteurs serristes utilisant une chaufferie biomasse, afin de partager les retours d'expérience et les avis de la profession sur ce type de projet.

La plupart des informations contenues dans ce rapport sont issues des sources suivantes :

- www.dispo-boisenergie.fr : étude « Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020 », ADEME, FCBA, IFN et Solagro, 2010
- *Mise en place d'une chaufferie au bois*, ADEME-EDP Sciences, ISBN 978-2-86883-961-9
- *Serres chauffées : réduire ses dépenses énergétiques*, Ctifl, 2007
- *État de l'art de la technologie générateur d'air chaud à partir de biomasse*, ADEME, CRITT Bois d'Épinal et ENSTIB/LER, 2010

1. LES RESSOURCES EN BOIS ÉNERGIE

Le « bois bûche » constitue en France l'essentiel du « bois-énergie » utilisé par les foyers français. Dans les secteurs tertiaire, industriel ou agricole, le bois énergie est de plus en plus utilisé, et se présente sous des formes très diverses, adaptées aux systèmes de chauffage industriels et facilitant la manutention, depuis le silo de réception jusqu'au foyer.

1.1. Le bois énergie sous toutes ses formes

L'exploitation du bois génère différents sous-produits, utilisables comme combustibles dans des appareils de chauffage au bois. Ces derniers peuvent être extraits de forêts, de peuplements non forestiers (haies, parcs, etc.), ou peuvent provenir de l'industrie du bois (de la première transformation dans les scieries, de la deuxième transformation dans les menuiseries, les tourneries, etc.), ou encore de la valorisation de bois de rebut (palettes, emballages bois, etc.). Les combustibles bois peuvent se présenter sous plusieurs formes : bûches, plaquettes, écorces, sciures, copeaux, chutes, briquettes et granulés, etc., chacune d'entre elles ayant des caractéristiques différentes (Annexe 1). De manière générale, plus le combustible est calibré et sec, plus son prix est élevé (Figure 2).

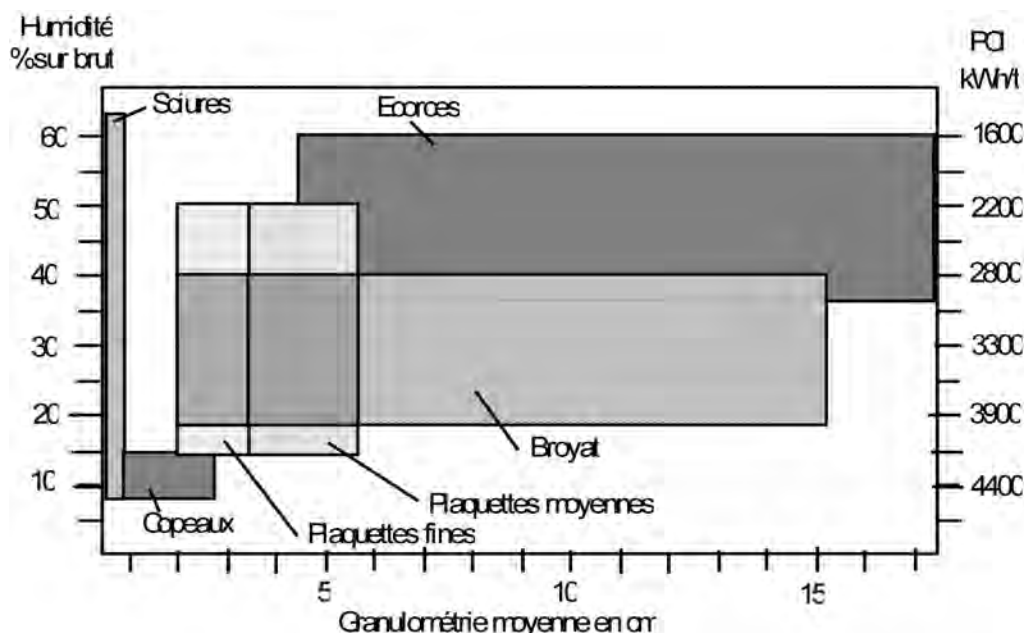


Figure 2 : Caractéristiques des principaux combustibles selon le taux d'humidité, la granulométrie et le pouvoir calorifique (source : guide « Mise en place d'une chaufferie au bois », ADEME-EDP Sciences, 2007)

1.1.1. Combustibles bois issus de la forêt

L'exploitation forestière est naturellement la première ressource en combustible bois. La ressource forestière mobilisable pour le bois énergie peut être classée en deux groupes : les sous-produits non marchands résultant des travaux de sylviculture et de récolte (cimes¹, houppiers², branches, etc.), et des bois de faible valeur marchande auxquels le bois énergie est susceptible ponctuellement de donner une plus-value (rondins³, billons⁴, perches, etc.). Lors de l'exploitation forestière pour la récolte du bois d'œuvre, il y a production de 70 % de déchets pour les arbres feuillus et 47 % pour les résineux. Ces sous-produits sont valorisables sous forme de bûches et de

¹ Cime : partie supérieure d'un arbre

² Houppier : partie supérieure d'un arbre (cime + branches) au delà de la découpe du bois d'œuvre

³ Rondin : section de tronc ou de branche d'arbre de longueur fixe

⁴ Billon : section de tronc ou de branche d'arbre de longueur fixe

plaquettes forestières.

Les bûches



C'est le mode d'utilisation du bois comme source de chauffage le plus ancien et encore le plus utilisé en France. Le bois doit être utilisé, de préférence, très sec car les bûches ont alors un meilleur pouvoir calorifique. Il est donc souhaitable de le faire sécher sous abris pendant 18 à 24 mois pour atteindre une humidité de 20 %. **En effet, le bois contenant un taux d'humidité très important entraîne une mauvaise combustion qui détériore prématurément l'appareil de chauffage et génère plus d'émissions polluantes.**

Le conditionnement peut se faire en rondins ou en quartiers de 33 cm, 50 cm ou 1 m. L'unité de mesure officielle est le m³ apparent (MAP) de bois, bien que le stère (un lot de bûches de 1 m de long, empilées de façon à constituer un parallélépipède de 1 m de côté et 1 m de hauteur) soit encore largement utilisé. D'après l'Itebe (site consulté le 12 août 2010), le contenu énergétique des bûches est en moyenne de 3 900 kWh par tonne, soit 1 500 kWh par MAP. Le prix moyen pratiqué est généralement compris entre 38 et 54 € par MAP, soit 0,03 à 0,04 €/kWh en moyenne. Ce prix moyen varie énormément selon les coûts de transport et le produit (suivant qu'il est livré, conditionné et séché).

On distingue 3 types d'approvisionnement pour le bois bûche :

- approvisionnement en bois provenant des propriétés de l'utilisateur,
- autoconsommation de bois provenant de l'affouage⁵ ou de bois provenant de propriété d'autrui,
- achat de bois à des réseaux officiels.

Les plaquettes forestières



L'exploitation forestière, l'élague, le défrichage produisent un grand nombre de branches et de résidus (cimes) qui peuvent être déchiquetés pour l'alimentation des chaufferies automatiques, produisant ainsi les plaquettes forestières.

L'approvisionnement en plaquettes forestières entre dans un processus allant de l'abattage des arbres au déversement des plaquettes dans un silo. Ce processus peut durer plusieurs mois selon que l'on préfère laisser sécher le bois sur le chantier avant de le déchiqueter ou sécher les plaquettes après avoir déchiqueté le bois frais.

Les différentes étapes de ce processus sont (Figure 3) : l'abattage(1), le façonnage(2) et le débardage(3), éventuellement la mise en bord de route(4), le déchiquetage(5), le transfert des plaquettes sur véhicule routier(6) pour le transport sur le lieu de criblage/dépoussiérage/séchage/stockage (communs à plusieurs chaufferies), la reprise et la livraison par camion benne (Annexe 2).

Pour les petits chantiers, le conditionnement et le transport peuvent être réalisés dans les remorques de petites déchiqueteuses à disque entraînées par un tracteur et alimentées manuellement par des bois de petits diamètres. La production est de 5 m³/heure avec 2 à 3 personnes. Pour les chantiers plus importants, une déchiqueteuse autonome à disque ou à tambour équipée d'une grue et d'une contre grille est utilisée. Cette machine est réservée à des approvisionnements de plusieurs milliers de mètres cubes. L'unité de mesure la plus utilisée est le volume apparent de plaquettes (mètre cube apparent de plaquettes, ou « MAP », correspondant à l'unité de volume occupée par du bois déchiqueté dans un mètre cube) ou la tonne pour les

⁵ Afflouage : droit de prendre du bois dans une forêt

grosses chaufferies. Le déchiquetage peut se faire sur coupe ou en bord de coupe. La productivité des chantiers est très liée à sa bonne organisation, l'alimentation de la déchiqueteuse, la masse unitaire et la conformation des bois déchiquetés, la biomasse par hectare, la distance de débardage et l'état du terrain.



Figure 3 : Les différentes étapes de l'approvisionnement en plaquettes forestières

Il est possible de déchiqeter du bois vert : son humidité initiale est de l'ordre de 50 % et diminue rapidement durant le stockage du fait des phénomènes de fermentation qui échauffent le tas. On obtient ainsi une humidité de 20 à 25 % après un stockage de quelques mois sous abri et sur dalle (pour éviter les remontées d'humidité). Il est également possible de déchiqeter du bois sec : les bois coupés en fin d'hiver et déchiquetés en septembre après un été passé dans un endroit aéré et ensoleillé ont une humidité de 30 à 35 % et sont stables durant le stockage. Après déchiquetage et quelques mois sous abris, leur humidité descend autour de 20 %.

Le contenu énergétique des plaquettes forestières vertes est en moyenne de 2 200 à 2 800 kWh par tonne pour une humidité de 40 à 50 %, et de 3 300 à 3 900 kWh par tonne pour une humidité de 20 à 30 % avec des plaquettes forestières fines et sèches. Le prix rendu au serriste généralement pratiqué est compris entre 45 et 100 € par tonne (Grisey et Brajeul, 2007).

Pour les différentes sources d'approvisionnement en plaquettes forestières, on distingue 2 types d'approvisionnement :

- L'approvisionnement en flux tendu (direct) : le bois est transformé en plaquettes en forêt et directement transporté chez l'utilisateur. Cet approvisionnement est bon marché car il ne comporte qu'un minimum de manutentions et ne prévoit pas de stockage intermédiaire. La production des plaquettes forestières peut se faire sur la coupe avec une automotrice ou en bord de route.
- L'approvisionnement avec rupture de charge (indirect) : les plaquettes sont stockées hors de la forêt. Le bois est transformé en plaquettes soit en forêt soit à l'entrepôt intermédiaire. L'approvisionnement indirect est cher car il nécessite un entrepôt intermédiaire et plus de manutentions. En revanche, les plaquettes peuvent être séchées et le stockage sous abri permet une bonne sécurité d'approvisionnement dans les régions à forte couverture neigeuse.

Les plaquettes fines et sèches sont utilisées dans les petites chaudières automatiques des habitations individuelles ou des petits réseaux de chaleurs de plusieurs logements. Les grosses plaquettes sont utilisées dans des chaufferies collectives et des réseaux de chaleur.

1.1.2. Combustibles bois issus de l'industrie

L'industrie du bois, lors de chaque étape de sa transformation, génère des sous-produits. Les entreprises de la première transformation, notamment les scieries, sont celles qui produisent l'essentiel des déchets et des produits connexes (environ 45 %). Le bois étant généralement scié vert, les sous-produits de première transformation sont humides. Ces produits peuvent être classés en trois grandes familles : les écorces, les sciures et copeaux, les chutes courtes et les chutes diverses. La plupart des déchets de scierie peuvent trouver des débouchés vers les industries de trituration (pâte à papier, panneaux de particules) ou une valorisation énergétique (chaufferie). Le rendement matière d'une scierie est de l'ordre de 65 % pour les bois résineux et de 45 % pour les bois feuillus.

Les écorces



Seules les plus grosses scieries (ayant un volume supérieur à 6 000 m³ de grumes/an pour les feuillus et à 10 000 m³ de grumes/an pour les résineux) sont munies d'écorceuses. Les scieries de résineux sont généralement mieux équipées que les scieries de feuillus. En fonction des essences et des habitudes d'exploitation, la totalité ou une partie de l'écorçage peut être effectué en forêt, mais ce dernier tend à disparaître. Mis à part une valorisation sous forme de paillage, le principal débouché des écorces est la combustion.

Le contenu énergétique des écorces est en moyenne de 1 600 à 2 800 kWh par tonne pour une humidité de 40 à 60 %. Le prix rendu serriste généralement pratiqué est compris entre 10 et 30 € par tonne (d'après l'Itebe, site consulté le 12 août 2010). Les écorces sont utilisées pour le bois énergie dans de grosses chaufferies (de puissance supérieure à 1 MW) pour combustibles humides (chaudières alimentées par tapis ou chaînes à racleurs, nécessitant des coûts d'investissement et de maintenance élevés), soit en autoconsommation directement dans les scieries pour alimenter des séchoirs, soit dans des chaufferies collectives pour alimenter des réseaux de chaleur.

Les copeaux et les sciures



Les copeaux et sciures sont produits au cours des différentes opérations effectuées sur la matière première.

La granulométrie des copeaux et des sciures varie selon l'essence du bois et le mode de production : scies à ruban, alternatives ou circulaires. La sciure est généralement captée par aspiration et stockée en silo. Son humidité initiale est celle du bois scié (entre 50 et 70 %) et diminue rapidement durant le stockage.

On peut distinguer les sciures "propres", aspirées directement au dessus des machines, des sciures "sales", récupérées à même le sol et souvent mélangées à des corps étrangers et à des écorces. Les sciures propres sont bien valorisées dans la fabrication des panneaux de particules ou dans la fabrication de granulés à usage énergétique (compression). L'ensemble des sciures et copeaux trouve également des débouchés en litière animale. Le contenu énergétique des copeaux est en moyenne de 4 400 kWh par tonne pour une humidité de 10 à 15 %. Par contre, pour une humidité de 40 à 60 %, le contenu énergétique des sciures est en moyenne de 1600 à 2800 kWh par tonne. L'utilisation des sciures humides en chaufferie nécessite des technologies adaptées.

Les plaquettes de scieries



Les dosses⁶ et délignures⁷, les chutes de tronçonnage, les nez de sapin, les noyaux de déroulage, les chutes de découpe de petites dimensions, doivent en général être broyés sous forme de plaquettes avant d'être utilisés en chaufferie.

Les dosses et délignures fraîches ont une masse volumique de 320 à 350 kg/m³ pour les résineux et de 400 à 450 kg/m³ pour les feuillus.

Le contenu énergétique de ces plaquettes est en moyenne de 2 200 à 3 400 kWh par tonne pour une humidité comprise entre 30 et 50 %. Le prix rendu serriste généralement pratiqué est compris

⁶ Dosse : chute de bois provenant du débit des grumes en plots, présentant une face convexe et une face plane

⁷ Délignures : chutes de bois provenant du débit des grumes en plots, correspondant aux côtés des plateaux

entre 20 et 50 € par tonne selon l'humidité du bois et la quantité échangée (d'après l'Itebe, site consulté le 12 août 2010).

Selon leur qualité, les plaquettes peuvent également être valorisées auprès des industriels de la trituration, pour la fabrication de panneaux de particules, ou sur le lieu de production avec une chaudière automatique pour le chauffage des bureaux, des ateliers ou l'alimentation de séchoirs.

Les granulés



Utilisé pour la première fois aux États-Unis au milieu des années 1970 suite à la première crise pétrolière, le granulé, également appelé pellet, est un petit cylindre de sciure de bois très fortement compressée. Ce combustible très dense dispose d'un pouvoir calorifique minimum de 4 600 kWh par tonne avec une humidité sur poids brut du granulé de 8 %. Sa masse volumique est de 0,7 tonne/m³, ce qui facilite le transport et le stockage.

Le prix généralement pratiqué est d'environ 180 - 250 € la tonne livrée par camion souffleur selon la distance et la quantité échangée, et de 250 - 300 € la tonne en sac, départ usine (d'après l'Itebe, site consulté le 12 août 2010).

Les briquettes ou bûchettes reconstituées



Les briquettes ou bûchettes reconstituées sont fabriquées à l'aide d'une presse à partir de copeaux et de sciures des scieries et des entreprises de la seconde transformation du bois. Elles se présentent sous la forme d'un cylindre de 30 mm de diamètre et de 20 à 50 cm de longueur.

Le contenu énergétique des briquettes reconstituées est en moyenne de 4 600 kWh par tonne pour une humidité de 8 % sur le poids brut. Les briquettes ou bûchettes de bois reconstituées sont conditionnées en sacs ou en cartons. Il est également possible de se faire livrer sur palettes. Le prix généralement pratiqué est compris entre 280 à 350 € par tonne livrée selon la distance et la quantité échangée (d'après l'Itebe, site consulté le 12 août 2010).

Il est à noter que les produits connexes de la seconde transformation du bois (chutes, copeaux, sciures sèches, poussières de ponçage, etc.) ne peuvent être utilisés dans des installations de combustion classiques que s'ils respectent les points suivants :

- pas de traitement de préservation ni d'ignifugation,
- aucun revêtement de type chant PVC,
- les finitions utilisées ne contiennent ni métaux lourds ni composés organohalogénés.

1.1.3. Combustibles bois issus de la filière déchets

Les bois de rebut correspondent à des produits en bois « en fin de vie » ou usagés. Ils se répartissent dans plusieurs catégories : les bois issus des chantiers de démolition, les déchets de bois industriels, meubles et objets divers, emballages (palettes, cagettes, caisses, etc.).

Ces produits proviennent des industries (automobile, électroménager, etc.), des centres de tri de DIB (Déchets Industriels Banals) ou des déchetteries (exutoires des particuliers). Une fois triés, les objets en bois peuvent être soit réparés (meubles, palettes multirotations, etc.) puis réemployés, soit utilisés comme matière première (pour la fabrication de panneaux de particules), soit consommés comme combustible bois.

Les professionnels de la filière distinguent 3 types de bois de rebut, sans que cette classification ait une valeur réglementaire :

- Classe A : ce sont les bois de rebuts non souillés qui peuvent être utilisés dans des chaufferies bois. Il s'agit d'emballages lourds (palettes unirotation ou réutilisables) ou d'emballages légers (cageots, cageottes, caisses, planches, bois de coffrage, etc.).
- Classe B : ce sont les bois de rebut souillés mais non dangereux, qui comportent des colles, vernis ou peintures, qui sont de produits organiques théoriquement totalement oxydés lors de la combustion, à l'exception des colles phénoliques du fait de leur résistance au feu, Néanmoins, certains adjuvants ou leurs composants (durcisseurs de colle, pigments, revêtements) peuvent poser des problèmes de pollution (chlore, soufre, métaux lourds). Ces bois de démolition, portes, fenêtres, vieux meubles, etc. sont la plupart du temps dirigés vers des centres d'enfouissement techniques, utilisés pour la fabrication de panneaux de particules (sous réserve d'un conditionnement spécifique) ou brûlés dans des chaufferies industrielles adaptées.
- Classe C : ce sont les bois de rebut dangereux, traités à la créosote (traverses de chemin de fer, poteaux téléphoniques ou EDF, etc.) ou autoclavés et imprégnés de sels métalliques (piquets de vigne ou en arboriculture, écrans acoustiques, glissières de sécurité, etc.). Leur élimination nécessitant des équipements adaptés en raison notamment des risques d'émission dans l'atmosphère de divers composés organiques volatils et de métaux lourds, ces bois sont détruits en usines d'incinération de déchets spéciaux ou utilisés dans des fours de cimenteries. Quelques alternatives pour les valoriser sont néanmoins testées en France depuis peu, notamment l'élimination des créosotes par thermolyse et celle des sels métalliques par minéralisation du bois avec récupération de graphite pour la production d'acier, d'électrodes et de batteries.

Le bois de rebut



Seuls les bois non souillés peuvent être utilisés comme combustible pour chaufferie bois. Une plate-forme de conditionnement est nécessaire pour fabriquer du combustible à partir de bois de rebut. Elle se compose :

- 1 : d'un pré-broyage grossier,
- 2 : d'un broyage fin (les broyeurs sont à cisaille ou à marteau),
- 3 : d'un déferraillage, voire d'une démétallisation,
- 4 : d'un criblage.

Les broyâts sont un produit sec mais relativement grossier, les morceaux ayant tendance à s'emboîter les uns dans les autres, ce qui provoque des voûtages de silos et nuit à la fluidité du produit (nécessité de dessileurs à racleurs et de convoyeurs à tapis). Le contenu énergétique du broyât de bois de rebut est en moyenne compris entre 3 300 et 3 900 kWh par tonne pour une humidité de 20 à 40 %.

Contrairement aux idées reçues, la valorisation des déchets du bois a un coût, principalement dû à la préparation du déchet avant sa valorisation : broyage, tri, etc. Le coût du conditionnement varie entre 15 et 45 € par tonne et le coût du transport entre 10 et 15 € par tonne (d'après l'Itebe, site consulté le 12 août 2010).

Un tableau récapitulant les caractéristiques des différents combustibles bois est présenté en annexe 1.

1.2. Disponibilité en bois énergie en France

1.2.1. Combustibles bois issus de la forêt ou de l'agriculture

D'après l'étude menée en 2008-2009 par l'IFN, le FCBA et l'association Solagro pour le compte de l'ADEME, les forêts, les peupleraies et les haies portent l'essentiel du gisement potentiel de bois énergie au niveau national.

A retenir

Cette étude de ressources, dont les résultats sont détaillés ci-après, répond à une question de l'Administration au niveau national, échelle pour laquelle elle fournit des éléments de cadrage. Elle ne permet pas en revanche de répondre directement aux questions locales concernant par exemple l'approvisionnement de la chaufferie X dans la région Y.

A cette échelle, il reste indispensable d'établir un plan d'approvisionnement (appuyé sur les résultats de la présente étude) étayé par une analyse approfondie des données techniques et économiques disponibles localement, en relation avec les acteurs économiques chargés de l'approvisionnement en bois énergie. L'ensemble des hypothèses, méthodes et domaines de validité des résultats est précisé dans le document original, disponible sur le site www.dispo-boisenergie.fr.

Dans ces ressources, la disponibilité moyenne en bois sur la période 2006-2020 s'élève à :

- 15,8 millions de tep/an de BIBE⁸ (71 millions de m³/an) dont 10,3 millions exploitables (46,1 millions de m³/an) dans les conditions économiques actuelles et compte tenu des contraintes techniques de récolte (Figure 4) ;
- 3,3 millions de tep/an de Menu Bois⁹ (MB) (14,9 millions de m³/an) dont 1,6 million exploitables (7,2 millions de m³/an).

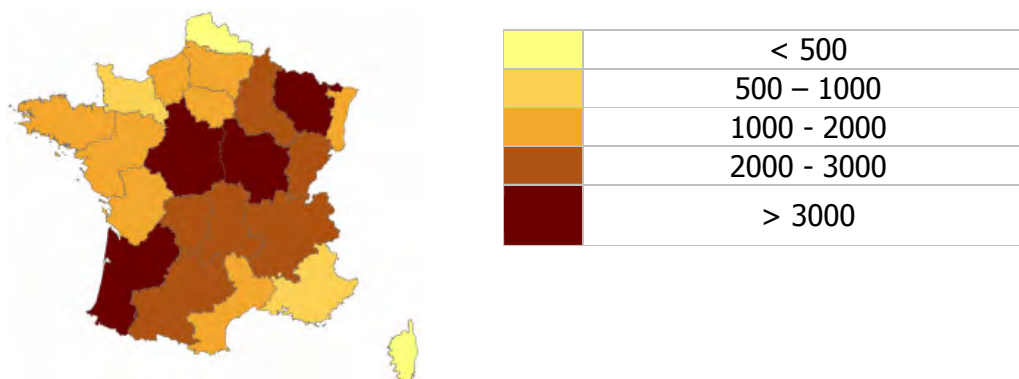


Figure 4 : Disponibilité technico-économique de BIBE totale (en milliers de m³/an)

Les régions de montagne (et celles qui bordent la Méditerranée) se distinguent par des niveaux de disponibilité forestière nette en BIBE à l'hectare relativement faibles, en lien avec la dynamique de croissance plus lente (cas des espèces méditerranéennes) et les coûts d'exploitation plus élevés en montagne que dans les régions de plaine du Nord et de l'Ouest du pays (Figure 5).

Dans le contexte économique actuel, la disponibilité supplémentaire en bois énergie, au-delà des consommations actuelles, s'établit sur la période 2006-2020 à :

- + 2,7 millions de tep/an en moyenne de BIBE (soit + 12 millions de m³/an) (Figures 6 et 7) ;
- auxquels s'ajoute un gisement potentiel de + 1,6 million de tep/an de MB (soit + 7,2 millions de m³ par an), ces derniers étant *a priori* plus difficiles à mobiliser que les précédents (Figure 8).

⁸ BIBE = Bois Industrie et Bois Energie

⁹ MB = Menu Bois : biomasse de la tige et des branches comprise dans les bois de diamètre inférieur à 7 cm

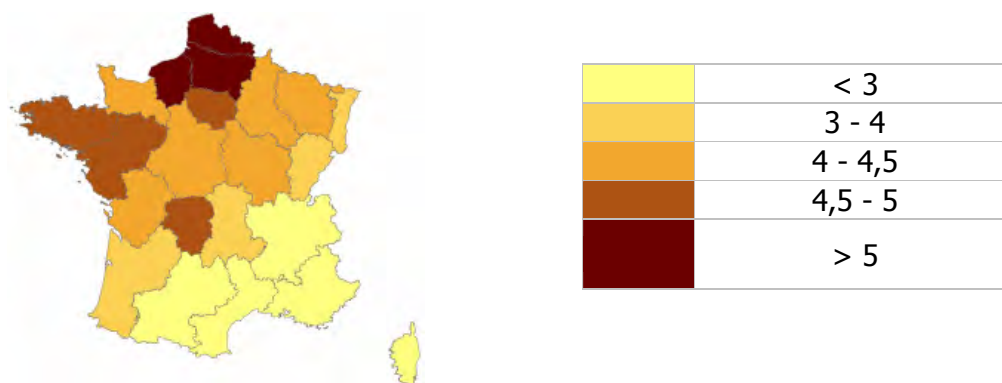


Figure 5 : Disponibilité nette en BIBE (en m³/ha/an)

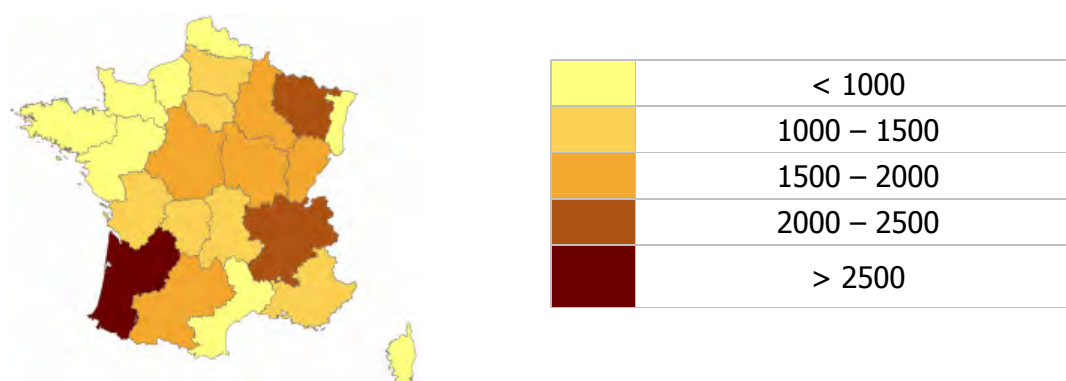


Figure 6 : Evaluation des prélèvements de BE et de BI d'origine forestière (en milliers de m³/an)

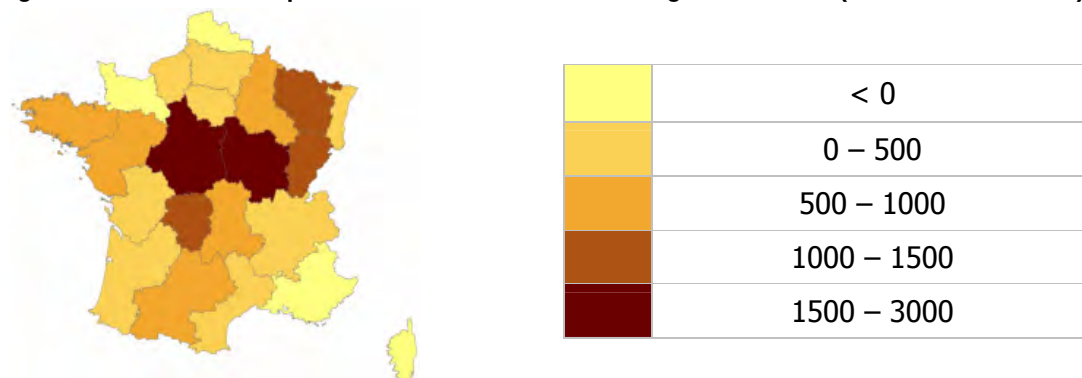


Figure 7 : Disponibilité supplémentaire en BIBE (en milliers de m³/an)

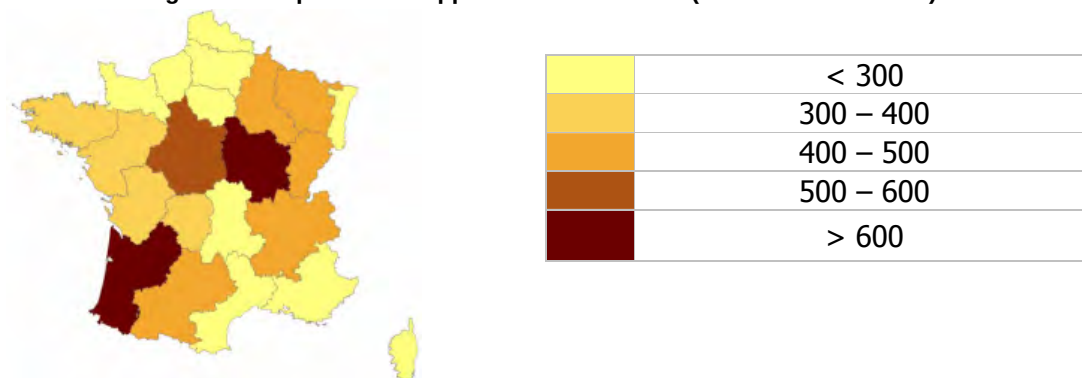


Figure 8 : Disponibilité supplémentaire en MB (en milliers de m³/an)

La disponibilité additionnelle en BIBE se situe pour l'essentiel en forêt (95 %), devant les haies (4 %) et les peupleraies (1 %). Ces deux derniers types de ressources constituent des gisements d'intérêt au niveau local.

Les disponibilités supplémentaires sont majoritairement feuillues (85 %) et localisées en forêts privées (75 %). Elles se rencontrent essentiellement dans les régions situées le long d'une diagonale verte allant de Toulouse à Nancy en passant par la région Centre. *A contrario*, les régions PACA, Corse, Basse-Normandie et Nord-Pas-de-Calais ne semblent pas présenter de disponibilités supplémentaires.

Concernant les peupleraies, les rémanents de l'exploitation des peupliers représentent un gisement de biomasse relativement mineur au niveau national et en comparaison avec les autres sources de biomasse ligneuse : 0,8 % de la disponibilité brute totale de BIBE d'origine forestière, populicole et bocagère. Ils peuvent toutefois constituer une ressource d'appoint pour les acteurs locaux. En effet, lorsqu'elles sont implantées dans un territoire, les peupleraies ont la particularité d'être facilement accessibles. En outre, ces bois ne semblent pas actuellement faire l'objet d'une valorisation systématique ; ils sont parfois andainés en bout de parcelle et brûlés sur site. Ces volumes sont donc accessibles pour l'énergie. Néanmoins, la disponibilité supplémentaire en bois de peupliers est relativement réduite au niveau national (majoritairement dans le Nord-Ouest et le Centre-Est) : 43 ktep/an (soit 290 000 m³/an), dont 15 de BIBE (soit 101 000 m³ par an).

Concernant les haies, les disponibilités brute et supplémentaire se situent majoritairement dans le grand Nord-Ouest et en Midi-Pyrénées (Figure 9). Le bocage porte un gisement supplémentaire de BIBE et de MB évalué à 382 ktep/an, (soit 1,74 million de m³/an), dont près des ¾ sous la forme de menus bois, valorisables en plaquettes.

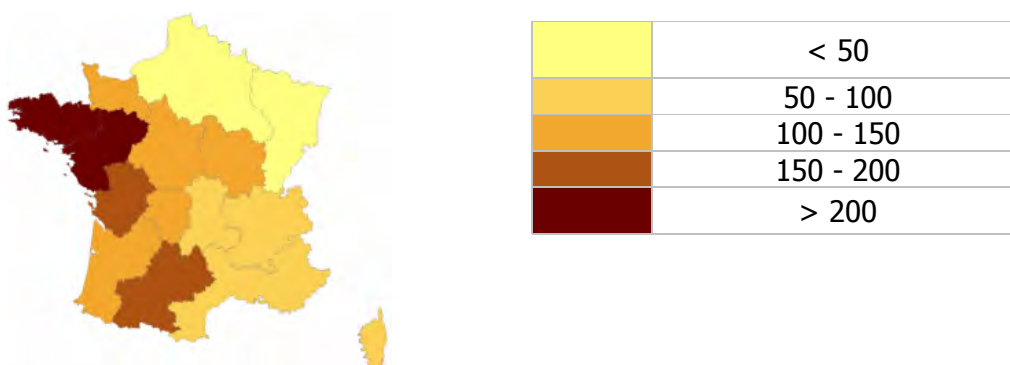


Figure 9 : Disponibilités supplémentaires en IBE et MB en peupleraies et en haies (x 1000 m3/an)

Disponibilité et prix du bois

Les résultats montrent la sensibilité des disponibilités supplémentaires en BIBE et MB à une hausse du prix du BIBE bord de route, tous les autres paramètres économiques restant inchangés (Figure 10). L'analyse concerne la variation de la disponibilité supplémentaire des trois types de ressources cumulés (forêts, peupleraies, haies).

Les résultats font apparaître une réaction sensible de l'offre à une hausse du prix du BIBE bord de route, surtout dans la gamme des prix les plus proches de ceux observés actuellement. Pour autant, ces résultats demeurent des estimations dépendantes des approches et hypothèses retenues. Il est en effet peu probable que des paramètres économiques tels que le contexte économique général, le prix du Bois d'Œuvre (BO), les conditions d'accessibilité, les matériels d'exploitation ou la rentabilité des modes d'exploitation restent inchangés dans le cas d'une augmentation du prix du BIBE. D'autre part, le comportement des propriétaires n'est pas pris en compte par le modèle, alors même que le Cemagref montrait l'importance de cet aspect en 2007 (faible élasticité de l'offre).

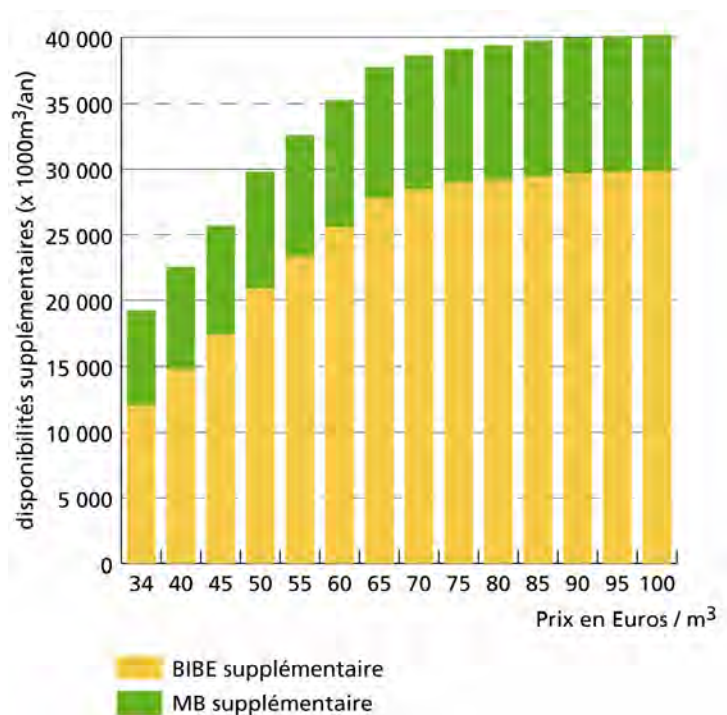


Figure 10 : Evolution des disponibilités supplémentaires en BIBE et en MB en fonction du prix du BIBE

Enfin, il existe un lien potentiel entre le prix du bois énergie et celui des énergies fossiles (notamment lié au coût du transport), la rentabilité du bois énergie étant d'autre part très liée à l'écart de prix entre ces deux types de combustibles.

Le volume de bois disponible est donc compatible avec les objectifs fixés par le COMOP EnR¹⁰ et les Assises de la Forêt aux horizons 2012 et 2020. Sa mobilisation requiert toutefois un important effort de poursuite de remise en gestion des peuplements forestiers surcapitalisés ou délaissés par leurs propriétaires.

Les autres ressources

Les résultats de l'étude soulignent l'intérêt local pour le développement de valorisations énergétiques de la biomasse des autres ressources ligneuses telles la vigne, les vergers et les arbres urbains. Les conditions techniques, économiques et environnementales pour la mobilisation effective de ces gisements restent toutefois largement à préciser. La figure 11 résume la disponibilité brute d'origine arboricole, viticole et urbaine par région.

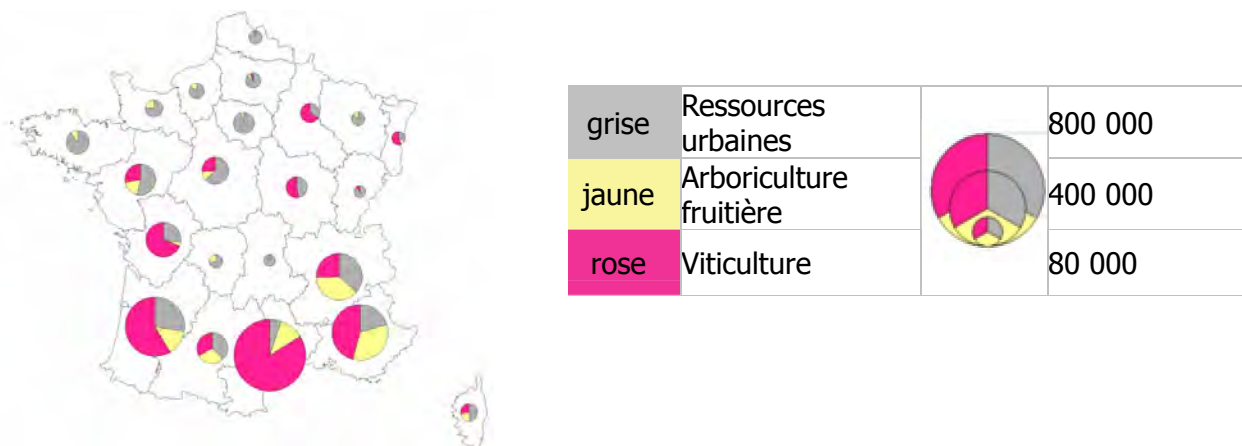


Figure 11 : Disponibilité brute des ressources annexes (tMS/an)

¹⁰ Comité Opérationnel Energie Renouvelable du Grenelle de l'Environnement

Elle correspond à 569 ktep/an pour les ressources urbaines, 278 ktep/an pour l'arboriculture fruitière et 700 ktep/an pour la viticulture. Pour comparaison, les besoins d'une serre maraîchère sont en moyenne de 0,26 ktep/ha/an.

Concernant la viticulture, la mobilisation des sarments de vigne pour l'énergie ne doit pas se faire au détriment de la fertilité des sols dont la teneur en matière organique est déjà faible. Les ceps peuvent être mobilisés dans des filières locales, notamment dans des installations automatiques équipées de filtres performants pour garantir une bonne qualité de l'air. Des études techniques et sanitaires seraient nécessaires pour mieux évaluer la faisabilité de la mobilisation des ceps. Cet enjeu est particulièrement important en Languedoc-Roussillon compte tenu de l'important gisement résultant des politiques actuelles d'arrachage.

Concernant l'arboriculture, la capacité à mobiliser le bois des tailles d'entretien pour l'énergie varie selon le groupe d'espèces, sous l'influence de la fréquence des tailles (diamètre des coupes) et des risques phytosanitaires. Les fruitiers à noyau et à coque sont exclusivement renouvelés par arrachage. La totalité de la biomasse de ces vergers, y compris la souche, est donc disponible pour l'énergie (bûche, plaquette). Le renouvellement des vergers de fruits à pépins produirait principalement du bois déchiqueté.

En viticulture comme en arboriculture, les interventions de taille et d'abattage/arrachages sont obligatoires. Les frais de mobilisation du bois pour l'énergie sont donc limités aux frais de broyage et de manutention (stockage, livraison, séchage).

Le menu bois d'élagage des arbres publics est aujourd'hui principalement orienté vers les plates-formes de compostage, en mélange avec les autres déchets verts (tonte, feuilles), ce qui permet de produire un compost équilibré. La mobilisation des bois d'élagage à des fins énergétiques est souvent souhaitable, car ils entraînent un excès de structurant sur les plates-formes de compostage. Seul le menu bois des élagages de printemps ne peut être mobilisé pour l'énergie en raison de la présence de feuilles. Ce volume reste réduit avec certainement moins de 20 % de la disponibilité totale.

La mobilisation du bois d'origine urbaine ne génère pas de frais supplémentaires au cours des chantiers de taille et d'abattage. Les modalités d'abattage et de façonnage du bois (mise en sécurité, dégagement des façades, etc.) sont identiques par rapport aux destinations actuelles du bois. Le coût de mobilisation du bois pour l'énergie est donc limité aux frais de broyage et de manutention (stockage, livraison, séchage).

Cependant, une partie du bois de coupe urbain est également utilisée de plus en plus par les collectivités, par les services des espaces verts pour le paillage et le Bois Raméal Fragmenté : Le paillage des espaces végétalisés urbains lors des plantations permet de limiter la consommation en eau des végétaux et de limiter l'utilisation de désherbants chimiques. Le Bois Raméal Fragmenté est une méthode utilisée pour amender et fertiliser le sol par enfouissement de broyat de bois.

1.2.2. Combustibles bois issus de l'industrie

Les tableaux ci-dessous proposent des estimations de ratios en volume de produits connexes potentiellement utilisables comme combustibles, au niveau des industries de première et de seconde transformation du bois.

Pour plus d'informations, le FCBA (l'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement) a réalisé pour le compte de l'ADEME une étude, dont l'objectif est d'établir un référentiel sur les produits bois traités et souillés, afin de définir les conditions qui permettraient d'en valoriser tout ou partie comme combustible en chaudière (FCBA, ADEME, 2010).

Tableau 1 : Proportion de produits connexes de scierie selon l'essence (Source : CTBA)

Essence	Produits connexes (% du volume de grume sur écorce)				
	Dosses et délignures	Chutes de tronçonnage	Sciures	Ecorces	Total
Chêne	25,7	6,2	9,2	10,9	52,0
Hêtre	19,9	3,4	7,2	6,5	37,0
Peuplier	21,0	1,7	13,9	10,4	47,0
Merisier, frêne, châtaignier	17,5	5,2	11,1	9,7	43,5
Sapin/épicéa	20,1	2,2	9,7	9,0	41,0
Pin maritime	20,2	1,6	12,1	21,0	54,9
Pin sylvestre	18,4	1,5	11,1	12,1	43,1

Tableau 2 : Proportion de produits connexes dans l'ameublement et la menuiserie industrielle (Source : CTBA)

Matières premières consommées et nature des sous-produits		Taux de sous-produits (% du volume entrant)	
		Ameublement	Menuiserie industrielle
Sciages	Chutes courtes	31,7	22,1
	Sciures	5,6	8,4
	Copeaux	14,5	19,8
	Poussières de ponçage	3,0	1,5
	Total	54,8	51,8
Panneaux		12,0	16,0
Placages		33,0	5,0

1.2.3. Combustibles bois issus de la filière déchets

Les emballages de classe A (bois non traités et non souillés) sont classés en deux catégories :

- **Emballages lourds (palettes, caisses-palettes et caisses)**

Les palettes représentent la très grande majorité du gisement et sont de deux types :

- les palettes unirotation ou emballages perdus (8 à 12 kg, 70 % du marché, durée de vie 12 mois),
- les palettes réutilisables, dites multirotation (20 à 25 kg, 30 % du marché, durée de vie de 4 à 5 ans).

Les flux sont concentrés dans les zones urbaines, industrielles et commerciales, et dans les entreprises de collecte et/ou de réparation. Une part importante du gisement est encore mise en décharge ou brûlée à l'air libre (mode d'élimination inacceptable du point de vue environnemental, interdit par les réglementations européenne et française).

Les palettes unirotation ne posent aucun problème pour la valorisation en chaufferie bois car il est facile d'identifier le producteur et de garantir un bois exempt de traitement. Les palettes multirotation, qui représentent l'essentiel des palettes disponibles pour une valorisation en bois énergie, sont à l'inverse susceptibles d'avoir reçu un traitement de préservation : leur utilisation en chaufferie nécessite de prouver qu'elles n'ont pas été traitées (courrier du 30 décembre 2003 du sous-directeur des déchets du ministère de l'Écologie et du Développement durable à la DRIRE Lorraine relatif à l'élimination des déchets de bois).

- **Emballages légers (cageots, cagettes, bourriches, boîtes à fromage, etc.)**

Confrontés au problème du recyclage des emballages légers en bois usagés (cagettes, barquettes, etc.), les producteurs et distributeurs se sont organisés en créant le système GROW International. Sur le territoire national, GROW-France gère l'organisation et la coordination de la récupération des emballages auprès de leur détenteur final (principalement la grande distribution). Actuellement, les emballages légers ne subissent aucun traitement chimique pour leur préservation.

Un tableau récapitulant les avantages et inconvénients des différents combustibles bois est présenté en annexe 1 et l'annexe 3 reprend les éléments sur la classification professionnelle des combustibles bois déchetés.

1.3. Les autres gisements de biomasse

L'une des voies de valorisation énergétique des productions agricoles correspond à la combustion des grains ou de ses fractions, de la paille ou de la plante entière pour produire de l'énergie (chaleur, électricité). C'est ce qu'on appelle les cultures énergétiques (ou cultures dédiées). Elles peuvent se séparer en trois catégories (cf. étude REGIX : <http://www.biomasse-info-energie.fr/> et annexe 4) :

- *les espèces annuelles*, telles que le triticale, le blé, le sorgho, le lin, le colza, le tournesol ;
- *les espèces pérennes herbacées*, récoltées soit une fois par an (ex. : miscanthus, switchgrass), soit plusieurs fois par an (p. ex. luzerne, fétuque) ;
- *les espèces pérennes ligneuses*, récoltées à l'issue de cycles successifs de plusieurs années (ex. : Taillis à Très Courte Rotation (TTCR) d'eucalyptus, de peuplier ou de saule).

Par rapport aux cultures annuelles, les cultures pérennes présentent en général une meilleure efficacité de l'azote, nécessitent souvent moins de pesticides et offrent davantage de séquestration du carbone. Les cultures annuelles présentent quant à elles une bonne efficacité de l'eau, et restent donc des cultures intéressantes à condition d'optimiser les systèmes dans lesquels elles sont cultivées (par exemple en intégrant des légumineuses dans la rotation ou directement en association d'espèces).

Mix énergétique

Les biocombustibles sont à combiner avec une énergie secondaire, utilisée en appoint pendant les périodes les plus froides de l'hiver ou en dépannage en cas de dysfonctionnement de la chaudière à biomasse.

Bilan carbone attractif

Contrairement aux énergies fossiles, la combustion de la biomasse agricole est considérée comme neutre au niveau des émissions de gaz à effet de serre sous condition de gestion raisonnée des ressources. La combustion des végétaux rejette en effet le CO₂ qu'ils ont capté dans l'air pour leur croissance par la photosynthèse.

Néanmoins, l'utilisation du bois (d'origine forestière) comme source d'énergie se distingue par une séquestration du carbone particulièrement efficace (sol non cultivé) par rapport aux cultures agricoles annuelles.

L'aspect éthique : utiliser des céréales pour produire de l'énergie

La combustion de grains peut sembler éthiquement incorrecte, contestable d'un point de vue environnemental (car la production de céréales nécessite de l'énergie) et elle peut poser des problèmes de maintenance des installations. Il est néanmoins important de noter que les biocombustibles utilisés sont prioritairement les résidus non utilisables en alimentation humaine ou animale, notamment les grains déclassés et les cultures dédiées (en plante entière). Ceci restera d'autant plus vrai qu'une compétition avec la filière alimentaire pourrait avoir pour conséquences des problèmes de disponibilités de la ressource et une augmentation importante des prix.

La réflexion sur l'utilisation possible de ces combustibles au niveau d'une exploitation serriste doit prendre en compte de nombreux paramètres : les caractéristiques propres de chaque biocombustible, l'approvisionnement, le stockage, les techniques de combustion et la gestion des sous-produits.

Le tableau ci-dessous présente les différentes espèces végétales potentiellement intéressantes en tant que combustibles.

Tableau 3 : Présentation des différents biocombustibles et de leurs coût (source : Perspectives Agricoles – étude Régix)

Espèce végétale	PCI (kWh / t de matière sèche)	Coût (€/MWh)
Triticale	4580	26
Sorgho	4600	26
Céréales à paille	4680-5480	15-18
Miscanthus	4400-5000	24
Switchgrass	4800-5400	23
Fétuque	4760	30
Peuplier (TCR ou TTCR) ¹¹	4900	
Saule (TTCR)	4800	

Les hypothèses ci-dessous sont prises afin d'estimer la surface à planter en TTCR pour pouvoir chauffer une serre maraîchère :

- consommation énergétique de la serre : 320 kWh/m².an, soit une consommation annuelle de 6400 MWh pour 2 ha,
- productivité énergétique des TTCR : 49 MWh/ha, avec 10 t/ha.

Avec ces hypothèses, la surface de TTCR nécessaire pour chauffer une serre de 2 ha serait donc de 130 ha. Il est alors facile de conclure que l'utilisation des TCR ou TTCR pour le chauffage des serres ne pourra correspondre qu'à une partie très limitée de l'approvisionnement en termes de taux de couverture des besoins thermiques.

Après avoir fait le point dans ce chapitre sur les différentes ressources en bois énergie, le chapitre suivant présente les éléments techniques relatifs aux différents équipements de la chaufferie.

¹¹ TCR : Taillis à Courte Rotation et TTCR : Taillis à Très Courte Rotation

2. LA PRODUCTION ET FOURNITURE D'ÉNERGIE

Les éléments techniques relatifs aux différents équipements de la chaufferie sont présentés dans cette partie (Figure 12) : la chaudière ou la cogénération bois, le silo de stockage, l'alimentation automatique, le traitement des fumées, la gestion des cendres et des mâchefers, l'armoire de commande et régulation, le raccordement au réseau de distribution de chaleur. Les seules caractéristiques techniques seront abordées, les paramètres liés au dimensionnement étant traités dans les parties suivantes.



Figure 12 : Schéma d'une installation classique d'une chaufferie bois automatique (Source : www.adhume.org)

2.1. Technologies de production de chaleur à partir de biomasse

Trois gammes de puissances reflètent généralement la mise en œuvre des différentes technologies de production de chaleur par combustion de la biomasse (alimentation en combustible et foyer). Cette classification reste indicative, notamment parce que la prise en compte du taux d'humidité du combustible peut amener à considérer des gammes intermédiaires de 300-500 kW et 500-1 000 kW.

	Gammes de puissance		
	Petite	Moyenne	Forte
Puissance (kW)	< 500	500 – 1 500	>1 500

Dans le secteur des serres maraîchères, la puissance des chaufferies installées se situe dans les gammes de puissance moyenne et forte. Dans le secteur horticole, la puissance des chaufferies installées se situe dans les gammes de puissance petite et moyenne. Le choix technique relatif au type de chaudière dépendra principalement de la puissance installée.

2.1.1. Chaudières biomasse

La chaudière (ou plus précisément le générateur de chaleur) est une enceinte dans laquelle la combustion se déroule : l'énergie contenue dans le combustible est libérée et transmise au fluide caloporteur (eau chaude principalement). Elle est généralement composée de deux éléments principaux : le foyer et l'échangeur de chaleur entre les fumées et le fluide caloporteur.

La combustion du bois est une réaction chimique avec dégagement de chaleur s'effectuant en quatre phases :

- le séchage,
- la pyrolyse (dégagement des gaz inflammables),
- l'oxydation des gaz,
- la combustion du résidu charbonneux.

Ces 4 phases vont se réaliser dans la chaudière de manière horizontale mais également verticale. La réaction complète se résume de la manière suivante :



2.1.2. Typologies des chaudières

Il existe trois technologies de chaudière présentées ci-après qui permettent de répondre aux caractéristiques variées des combustibles de type biomasse (granulométrie, humidité et composition), les deux premières étant plus fréquemment rencontrées chez les serristes. Ces technologies se distinguent par le type de foyer utilisé, le foyer étant le lieu de la première phase de la combustion, alimenté en combustible et en air primaire. Le constructeur de la chaudière préconise les caractéristiques des combustibles admissibles pour un fonctionnement optimal de la chaudière : nature, humidité, granulométrie.

Chaudière à poussée inférieure

La chaudière à poussée inférieure (ou foyer volcan/foyer à creuset) n'accepte que du combustible sec bien calibré (ex. plaquettes forestières assez fines) possédant une teneur en eau de 5 à 40 %. Le combustible est amené par le bas via une vis d'alimentation qui le pousse vers le haut, dans un espace évasé de forme similaire à un volcan, jusqu'à l'entrée dans la chambre de combustion (Figure 13). Les chaudières à poussée inférieure sont fréquemment utilisées pour des puissances inférieures à 500 kW, mais couvrent une gamme allant de 20 kW à 1 MW.



Figure 13 : Chaudière à poussée inférieure à tubes d'eau (Source : Vyncke)

Chaudière à grille

Deux types de chaudières à grille sont présents sur le marché, selon le type de grille :

- grille fixe : le foyer est constitué d'une grille sur laquelle le combustible est introduit et à travers laquelle l'air primaire est injecté. Cette technologie est simple et de grande robustesse, mais peut conduire à une combustion incomplète dans certaines conditions. Cette chaudière convient pour les puissances comprises entre 15 kW et 5 MW, avec des combustibles plutôt secs de 5 à 40 % d'humidité, et est utilisée avec des granulés (au Danemark notamment).
- grilles mobiles (Figure 14) : la combustion est mieux contrôlée grâce aux mouvements de va-

et vient des grilles pour étaler le lit de combustible et maîtriser son temps de séjour dans la chambre. L'air primaire est injecté sous les grilles et l'air secondaire est injecté au dessus du lit solide, dans la flamme, pour apporter l'oxygène nécessaire à la combustion complète des gaz issus de la dégradation thermique de la biomasse. Cette chaudière convient pour les puissances comprises entre 400 kW et 25 MW, avec des combustibles au taux d'humidité très variable, de 10 à 60 %. Du fait de la large gamme de puissances disponibles et de la possibilité d'utiliser des combustibles humides, ce type de chaudière est largement installé dans le secteur des serres.



5 : Poussoir hydraulique d'alimentation
6 : Foyer grille mécanique
7 : Echangeur tubes fumées

Figure 14 : Chaudière à grilles mobiles (Source : Weiss)

Chaudière à lit fluidisé

Le principe consiste à faire brûler un combustible dans une masse inerte chaude, généralement du sable, qui sert de catalyseur aux réactions thermochimiques. Les particules combustibles (la granulométrie du combustible bois peut aller jusqu'à 50 mm, 10 mm étant un bon ordre de grandeur) sont mises en suspension dans un courant d'air primaire à haute vitesse. La fluidisation permet une homogénéisation du milieu réactif et une amélioration des échanges thermiques. Ces chaudières sont utilisées pour les fortes puissances, supérieures à 2 MW.

2.1.2.1. Chambre de combustion

La chambre de combustion est le plus souvent revêtue de béton réfractaire, dont le fort pouvoir de rayonnement favorise le séchage du combustible et permet de maintenir une température adéquate. La flamme se développe dans la chambre de combustion, dans laquelle est injecté l'air secondaire pour permettre une oxydation complète des gaz et limiter les émissions d'imbrûlés. La masse de béton réfractaire est augmentée pour la combustion de bois humide et réduite pour le bois sec. Le volume et la géométrie de la chambre de combustion doivent être dimensionnés par le constructeur pour permettre d'avoir un temps de séjour des gaz suffisant dans cette zone chaude pour brûler entièrement, pour favoriser le mélange entre les gaz de combustion et l'air, et ainsi bien oxyder l'ensemble.



Figure 15 : Briques réfractaires de la chambre de combustion (foyer à grilles mobiles)

2.1.2.2. Echangeurs de chaleur

L'échangeur de chaleur va permettre d'assurer le transfert de chaleur du fluide chaud (fumées issues de la combustion) au fluide froid (fluide caloporteur qui va alimenter la serre). Plusieurs types d'échangeurs de chaleur existent : ils sont classifiés selon la configuration d'écoulement des

fluides considérés et selon leur type de construction. La technologie la plus fréquemment utilisée dans les chaudières installées dans des serres est l'échangeur à tubes de fumées (Figure 16) : les gaz de combustion circulent dans des tubes immergés dans le fluide caloporteur de la chaudière (eau chaude ou surchauffée, vapeur).



Figure 16 : Echangeur de chaleur à tubes de fumées (Source : Biomasse Normandie)

Pour les entreprises de petites tailles n'ayant que de faibles besoins de chaleur et n'étant pas équipées d'un réseau de distribution hydraulique, il existe d'autres systèmes de chauffage à partir de biomasse. Les générateurs d'air chaud ou chaudières à air pulsé peuvent répondre à une volonté de passer au bois, en s'adaptant à une installation de chauffage simple tout en limitant les coûts d'investissement.

Les équipements liés à l'installation de générateurs d'air chaud fonctionnant à partir de biomasse sont similaires à ceux des chaufferies à réseau de distribution hydraulique : silo de stockage, alimentation automatique en combustibles (pellets, granulés, paille), chambre de combustion (grille mobile, grille fixe, foyer volcan ...), filtration des fumées. La différence réside dans le système de distribution de chaleur qui passe non plus par l'eau mais par l'air. Un échangeur permet le transfert de la chaleur des fumées vers un flux d'air ambiant. La diffusion de l'air réchauffé dans la serre se fait soit directement par des ventilateurs, soit au travers de gaines percées pour une diffusion plus homogène dans la serre.

Un état de l'art des technologies de générateurs d'air chaud à partir de biomasse est disponible sur le site de l'ademe¹², reprenant l'inventaire et la description des différentes technologies de générateurs, d'équipements de comptage et de traitement des fumées, et le référencement des principaux fournisseurs.

2.1.2.3. Rendements d'une chaudière bois

Deux types de rendement sont utilisés pour quantifier la performance de la chaudière :

Rendement de combustion

Le rendement de combustion est souvent exprimé par la formule de Siegert¹³ :

$$\eta_{\text{comb}} = 100 - f \times (T_{\text{fumées}} - T_{\text{amb}}) / \%CO_2$$

où :

- $T_{\text{fumées}}$ = la température des fumées à la sortie de la chaudière [°C]
- T_{amb} = température ambiante de la chaufferie [°C]
- $\%CO_2$ = la teneur en CO_2 des fumées [%]
- f = facteur dépendant principalement du type de combustible

On relève les trois éléments clés de cette formule qui doivent être mesurés :

¹² <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&id=71335&m=3&p1=30&ref=12441>

¹³ pour la définition des rendements, extraits de www.energieplus-lesite.be

1. la température des fumées,
2. la température ambiante de la chaufferie, qui correspond à la température de l'air aspiré par le brûleur. La différence de température entre l'air de la chaufferie et les fumées symbolise la chaleur perdue dans la cheminée,
3. le pourcentage de CO₂ contenu dans les fumées, qui se calcule à partir de la mesure de la quantité d'oxygène encore présente dans celles-ci, par la formule :

$$\%CO_2 = \%CO_{2, \max} \times (21 - \%O_2) / 21$$

où :

- %O₂ = la teneur en oxygène mesurée dans les fumées [%].
- %CO_{2, max} = la teneur en CO₂ des fumées si la combustion était idéale

La détermination de ce rendement permet de s'assurer du fonctionnement optimal de la chaudière en temps réel, et de valider les paramètres de réglage de celle-ci. Il est généralement compris entre 85 et 92 %.

Rendement utile ou de production

Ce rendement est établi pour une durée de fonctionnement déterminée, et défini comme le rapport entre l'énergie fournie en sortie de chaudière (mesurée par un compteur de calories) et l'énergie contenue dans le combustible :

$$\eta_{\text{utile}} = P_u / P_a$$

où :

- P_u = puissance utile de la chaudière ou puissance fournie à l'eau de chauffage
- P_a = puissance contenue dans le combustible = débit de combustible x son pouvoir calorifique PCI (ou PCS)

Il s'agit d'un rendement instantané qui peut varier en fonction des conditions d'exploitation de la chaudière. Le fabricant doit pouvoir fournir sa valeur à charge nominale et dans des conditions de combustion idéales (rendement nominal) dans leur documentation technique.

La différence entre la puissance utile fournie à l'eau (P_u) et la puissance contenue dans le combustible est constituée de pertes :

- vers la cheminée : les fumées de combustion sont évacuées encore chaudes. Cette chaleur est perdue.
- vers la chaufferie : la chaudière, malgré l'isolation des parois, se comporte comme un radiateur qui émet de la chaleur vers l'ambiance de la chaufferie.
- si le compteur de calories est situé dans une sous-station distante de la chaufferie, le rendement obtenu prend en compte les pertes liées à la distribution de la chaleur (circuit primaire).

Rendement global

Au final, le rendement global de la chaufferie intègre, outre les pertes de production de chaleur par la chaudière, les pertes liées à la distribution de la chaleur et à la régulation :

$\text{Rendement global d'exploitation} = \text{rendement de production} \times \text{rendement de distribution} \times \text{rendement de régulation}$

Les ordres de grandeur généralement constatés pour ces rendements sont les suivants :

- rendement de production : 80 à 85 % ;
- rendement de distribution : 92 à 98 % ;
- rendement de régulation : 94 à 96 % ;
- rendement global d'exploitation : 70 à 80 %.

Le rendement global d'exploitation pourrait être amélioré par la mise en place d'un récupérateur à condensation sur les fumées, mais cette technique n'est pas utilisée en production sous serre.

2.1.2.4. Constructeurs

Les principaux constructeurs de chaudières à biomasse rencontrés dans le secteur des serres sont les suivants :

Nom	Pays	Sites Internet
Compte.R	France	www.compte-r.com
KIV	Slovénie	www.kiv.si
KÖB/Viessman	Autriche	www.kob.cc
KWB	Autriche	www.kwb.at
Reka-France	Danemark	www.reka-france.fr
Polytechnik	Autriche	www.polytechnik.at
Polzenith GmbH & Co. KG	Allemagne	www.polzenith.de
Vyncke	Belgique	www.vyncke.com
Wärtsilä	Finlande	www.wartsila.com
Weiss	France	www.weiss-france.fr

2.1.3. Cogénération biomasse

Comme pour les sources d'énergies fossiles, il est possible de mettre en place un système de cogénération à partir de biomasse, produisant à la fois de la chaleur et de l'électricité. Afin de promouvoir la production d'électricité par des sources d'énergie renouvelable, les pouvoirs publics ont instauré un système incitatif de tarifs d'achat de l'électricité produite, liant contractuellement le producteur et EDF ou les entreprises locales de distribution (ELD) pour une durée de 20 ans¹⁴. L'électricité est alors injectée sur le réseau, et la chaleur valorisée sur site. Les petites et moyennes unités de cogénérations à biomasse sont cependant encore très peu développées en France.

Tableau 4 : Évolution de la production d'électricité à partir de biomasse : capacité installée (MW) et production brute d'électricité (GWh) (source www.enr.fr)

	2008		2010		2015*		2020*	
	(MW)	(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)	(GWh)
Biomasse	877	4 391	1 052	5 441	1 895	10 496	3 007	17 171
dont solide	755	3 708	888	4 506	1 531	8 366	2 382	13 470
dont biogaz	122	683	164	935	363	2 129	625	3 701

* Trajectoire du Grenelle de l'environnement
Source : Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables - MEEDDM - Juillet 2010

Des unités de cogénération de grande capacité fonctionnant avec de la paille existent au Danemark, en Angleterre et en Espagne, mais pas encore en France. Des projets de centrales de production d'électricité en cogénération biomasse sont d'ores et déjà lancés, initiés par les appels d'offre de la Commission de Régulation de l'Energie (CRE) (Figure 17).

La production d'électricité à partir de biomasse nécessite cependant d'être associée à une valorisation de la chaleur produite pour être économiquement viable (prime sur tarif d'achat dépendant du taux de valorisation de la chaleur) et énergétiquement pertinente. Dans cette configuration, les serristes peuvent se positionner afin d'utiliser la chaleur produite par la cogénération pour le chauffage des serres.

2.2. Conception et paramètres clés de l'installation

Comme déjà présenté, une chaufferie bois est un système de production de chaleur comprenant quatre éléments essentiels, adaptés à l'utilisation d'un combustible solide (Figure 18) :

- un silo de stockage (1),
- un système d'extraction et de transfert du bois vers le générateur de chaleur (2),
- un générateur de chaleur (3),
- un système d'épuration des rejets gazeux et d'évacuation des cendres (4).

¹⁴ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-tarifs-d-achat-de-l-12195.html>

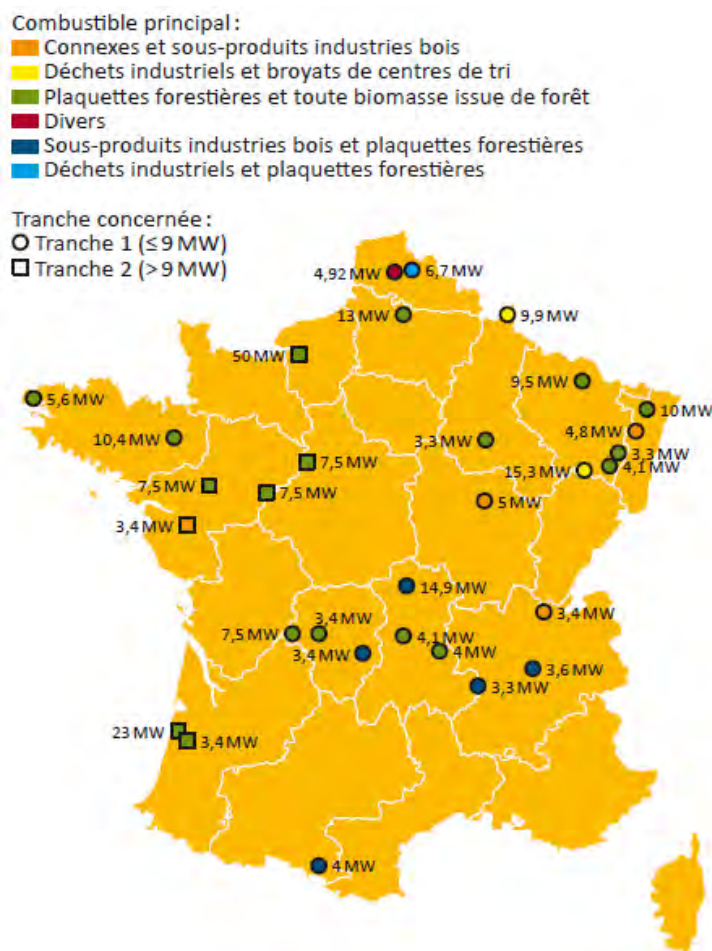


Figure 17 : Implantation des projets retenus en janvier 2010 dans le cadre de l'appel d'offres « biomasse n°3 » (source www.enr.fr)

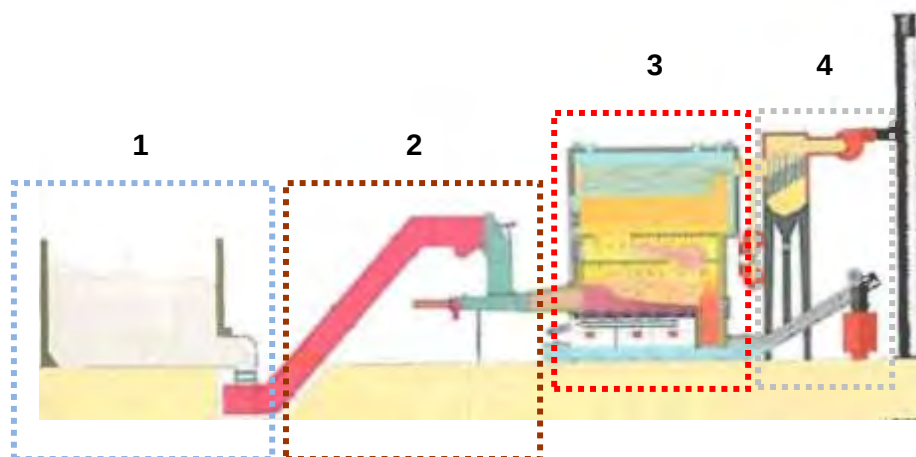


Figure 18 : Description d'une chaufferie bois (d'après WEISS)

2.2.1. Stockage du bois

L'utilisation du bois énergie nécessite souvent de disposer de grandes aires de stockage pour les combustibles. En effet, il est important de protéger le bois des aléas climatiques afin de limiter un abaissement du PCI du bois dû à l'humidité, et une aire de stockage importante garantit un approvisionnement constant de la chaufferie, avec une moindre crainte de rupture de stock si des problèmes d'approvisionnement surviennent (en général lors des périodes de chauffe, et dus aux conditions climatiques extrêmes...).

2.2.1.1. Types de silos

Le combustible livré en chaufferie est déchargé dans un silo de stockage qui constitue la réserve tampon pour l'alimentation de la chaudière. Trois types de silos sont proposés :

Les silos enterrés

De 30 à 200 m³ utiles, ils sont adaptés à des chaufferies de puissance inférieure à 3 MW et associés à divers systèmes de dessilage : pales ou vis rotatives, plutôt réservées à des silos de petite taille (moins de 90 m³), ou échelles de racleurs (toutes puissances). La livraison est possible par tracteur avec benne agricole ou par camion benne (basculante ou à fond mouvant). Ils respectent une bonne intégration architecturale.

Il est important d'être bien attentifs aux points suivants :

- Vérifier la présence d'eau dans le sol et prévoir un cuvelage du silo si nécessaire
- Pour optimiser la gestion des approvisionnements, le volume utile du silo doit correspondre au minimum à 1,5 fois la capacité du camion de livraison
- Bien concevoir les toits des silos pour favoriser les livraisons (éviter notamment d'utiliser les anciennes soutes à charbon comme silo)
- Bien positionner les trappes d'accès pour l'entretien des dessileurs à pales
- Du combustible très humide peut geler et prendre en masse dans le silo

Les conteneurs métalliques

De 15 à 30 m³ utiles, ils sont adaptés à des chaufferies de puissance inférieure à 800 kW. Pré-équipés avec racleurs et vérins pour la vidange, il s'agit de la solution la moins coûteuse en génie civil, avec une intégration architecturale moins facile. Le stockage du bois sur le site de la chaufferie est assuré par deux conteneurs au maximum (un troisième est prévu pour assurer les rotations, tous les 3 à 8 jours selon la consommation). Ce système convient s'il existe une logistique d'approvisionnement organisée spécifiquement pour ce type de livraison. Dans le cas où les livraisons sont prévues avec deux conteneurs, il faut prévoir un support vide pour faciliter les rotations. Il est important de débrancher les flexibles hydrauliques à chaque manutention de conteneur.

Le stockage principal de plain-pied associé à un silo ou une trémie tampon

Le stockage principal est un bâtiment de plain-pied couvert, fermé sur trois côtés et ventilé. La livraison s'effectue par camion avec tout type de benne, de préférence à fond mouvant. Rappelons qu'il ne s'agit pas du stockage dont dispose le fournisseur de combustible en forêt ou sur plate-forme. Le stockage principal de plain-pied doit être adapté selon le type de chaufferie :

- **Pour les chaufferies de petite ou moyenne puissance (500 - 1 500 kW)**
Deux cas d'implantation du stockage principal sont possibles : dans un rayon maximum de 2km autour de la chaufferie, ou sur le site même de la chaufferie (l'intégration architecturale est moins facile, la surface nécessaire étant plus importante).

La chaufferie est équipée d'un silo tampon d'une capacité de quelques dizaines de m³, maçonné ou métallique, enterré ou aérien et adapté à différents systèmes de dessilage. Le transfert du combustible du lieu de stockage principal vers le silo tampon est effectué à l'aide d'un tracteur équipé d'un godet (et d'une remorque agricole si le stockage n'est pas réalisé sur le site de la chaufferie). Ce système présente deux avantages majeurs. D'une part : une autonomie accrue avec, pour les chaufferies qui consomment moins de 100 tonnes par an, un volume de stockage principal correspondant à la moitié, voire à la totalité des besoins annuels.

Pour les chaufferies plus importantes qui peuvent consommer jusqu'à 500 ou 600 tonnes de bois par an, le stockage principal représente de 1 à 2 mois de consommation hivernale. D'autre part : une souplesse d'approvisionnement, avec la possibilité de livraison de bois par volume important (60 à 80 m³), même si le silo tampon de la chaufferie est de plus petite capacité.

- **Pour les chaufferies de forte puissance (> 1 500 kW)**
Le stockage de plain-pied devient nécessaire quand les limites de mise en œuvre d'un silo enterré sont atteintes (300 m³ utiles au maximum). Deux cas peuvent être distingués :

- o Stockage principal associé à une trémie tampon aérienne (30 à 50 m³) avec chargement de celle-ci à l'aide d'un grappin automatisé monté sur pont roulant. Le stockage principal présente un volume mort important : une accumulation de poussières voire de bois composté est observée sur les côtés et dans les angles, ces zones n'étant jamais complètement vidangées. Une fosse enterrée de 150 à 200 m³ permet le déchargement des camions.
- o Stockage de plain-pied (400 à 800 m³ de bois) en partie équipé d'un système de dessilage à racleurs avec chargement de ce dernier à l'aide d'un engin de manutention. Il est nécessaire de prévoir un passage régulier (quotidiennement ou tous les deux jours) de l'opérateur pour l'alimentation du silo tampon.

2.2.1.2. Dimensionnement

La conception du silo doit prendre en compte les paramètres suivants :

- la puissance de la chaudière et l'autonomie souhaitée (nombre de jours à pleine puissance),
- les modes de livraison (type de benne, volume des camions) et de remplissage retenus,
- les contraintes d'intégration (surface disponible, nature du sol),
- la disponibilité des équipements et du personnel sur le site.

Il convient de distinguer le volume réel du silo et son volume utile qui prend en compte les volumes « morts » (impossibilité de remplir à ras le silo, combustible ne pouvant atteindre le système de dessilage). Il est nécessaire d'optimiser le volume utile du silo, sachant que :

- dans un silo enterré carré avec un dessilleur à pales, les volumes morts peuvent représenter jusqu'à 40 % du volume réel du silo,
- dans un silo enterré rectangulaire équipé d'un système de dessilage à racleurs, les volumes morts sont de l'ordre de 25-30 %.

L'autonomie est plus importante si le PCI du bois est plus élevé et moindre dans le cas contraire. Elle est presque doublée en mi-saison.

2.2.2. Alimentation automatique

L'alimentation automatique d'une chaufferie bois permet d'acheminer le combustible depuis le silo jusqu'au foyer. Elle comprend trois étapes :

- le dessilage du combustible,
- son convoyage vers un sas de sécurité (trémie intermédiaire ou écluse),
- son introduction dans le foyer.

La nature du combustible (solide et de granulométrie parfois irrégulière) nécessite des précautions particulières au niveau de l'alimentation automatique pour éviter des dysfonctionnements que l'on ne rencontre pas avec les combustibles liquides ou gazeux. Une attention particulière sera portée au choix et au dimensionnement des équipements constituant la chaîne d'alimentation automatique, qui devront être adaptés au type de combustible retenu (nature, granulométrie, humidité).

2.2.2.1. Dessilage

Il s'agit d'un mécanisme intégré au silo d'une chaufferie bois, permettant d'en extraire le combustible et de l'acheminer jusqu'au convoyeur. Le dessilage gravitaire n'est plus utilisé que dans les installations individuelles au bois déchiqueté. Il existe trois technologies pour les chaufferies collectives ou industrielles :

Dessilage à pales

L'extracteur est placé dans le silo. Les pales (lames souples ou bras articulé), repliées au centre lorsque le silo est plein, s'écartent progressivement au fur et à mesure de la vidange du silo :

- gamme de puissance de 50 à 200 kW,
- capacité maximale du silo de 50 m³,
- extraction à l'extérieur du silo par une vis sans fin.

L'inclinaison maximale de la vis d'extraction est de 15°.

Dessilage par vis sans fin, à mouvement rotatif ou pendulaire

La vis sans fin est un système comprenant une hélice tournant autour de son axe dans une goulotte. Le combustible est poussé par le mouvement de la vis :

- gamme de puissance de 50 à 800 kW,
- souvent associé à un convoyage par vis.

Ces deux systèmes de dessilage, à pales et par vis sans fin, ne conviennent que pour des combustibles secs et bien calibrés tels que les plaquettes forestières, bocagères ou de scierie (exemptes de queues de déchetage), les copeaux et sciures des industries de la deuxième transformation ou les granulés.

Dessilage par racleurs

Une ou plusieurs échelles de racleurs, actionnées par des vérins hydrauliques (mouvement de va-et-vient horizontal) et placées en fond de silo font progresser le combustible vers le convoyeur :

- gamme de puissance de 200 kW à plusieurs MW,
- tolère des combustibles humides et de granulométrie plus irrégulière,
- souvent associé à un convoyage par bande.

Au-delà de 3 MW, il faut prévoir un stockage principal de plain-pied et un silo tampon de quelques dizaines de m³ dimensionnés en fonction de la puissance installée et de l'autonomie recherchée. L'alimentation du silo tampon se fait alors à l'aide d'un chargeur ou d'un grappin automatisé.

2.2.2.2. Convoyage

Le convoyage permet l'acheminement du bois extrait du silo jusqu'à un sas de sécurité (trémie intermédiaire ou écluse) situé en amont du système d'introduction dans le foyer.

Convoyage par vis sans fin

Le mouvement de la vis sans fin autour de son axe fait progresser le combustible dans une goulotte jusqu'à la trémie tampon. Si la configuration de l'installation nécessite des changements de direction, une trappe de débouillage sera prévue à chaque extrémité de la vis :

- gamme de puissance jusqu'à 800 kW,
- associé souvent à un dessilage par vis.

L'inclinaison maximale des vis est de 40°. Comme pour le dessilage, ce système de convoyage ne convient que pour des combustibles secs et bien calibrés tels que les plaquettes forestières, bocagères ou de scierie (exemptes de queues de déchetage), les copeaux et sciures des industries de la deuxième transformation ou les granulés. Les vis sont totalement inappropriées lorsqu'il y a des queues de déchetage (risque de blocage), des sciures humides (bourrage) et *a fortiori* des éléments métalliques indésirables.

Convoyage par racleurs

Une échelle de racleurs, actionnée par des vérins hydrauliques et placée au fond d'un caniveau maçonné ou métallique, fait progresser le combustible jusqu'au système d'injection dans le foyer :

- gamme de puissance de 200 kW à plusieurs MW,
- associé souvent à un dessilage par racleurs.



Le génie civil est très important avec cette technologie.
Le transport se fait sur un plan horizontal uniquement.

Convoyage par bande transporteuse

Ce système est constitué soit d'un transporteur à raclettes, soit d'un tapis entraîné par un motoréducteur. Le bois est convoyé jusque dans une trémie tampon. Le transporteur est généralement entièrement caréné et étanche aux poussières :

- gamme de puissance de 200 kW à plusieurs MW,
- associé souvent à un dessilage par racleurs.

-



Inclinaison maximale du transporteur de 45°.

2.2.2.3. Introduction du combustible dans le foyer

Les systèmes qui permettent d'introduire le combustible dans le foyer sont de deux types :

Introduction par vis

La vis sans fin ou vis d'Archimède est placée au fond de la trémie tampon ou en aval de l'écluse de sécurité. La vis, en rotation autour de son axe, introduit le combustible dans le foyer :

- gamme de puissance jusqu'à 800 kW,
- souvent associée à un convoyage par vis et à un foyer à creuset (foyer volcan).



Injection sur un plan horizontal uniquement. Ce système d'introduction ne convient que pour des combustibles secs et bien calibrés tels que les plaquettes forestières, bocagères ou de scierie (exemptes de queues de déchetage), les copeaux et sciures des industries de la deuxième transformation ou les granulés.

Introduction par poussoir

Un poussoir (section circulaire, carrée ou rectangulaire progressivement évasée) actionné par un vérin hydraulique fait avancer le combustible dans le foyer. Le bois descend généralement par gravité de la trémie tampon avant d'être poussé dans le foyer. Ce système convient aux foyers à grilles inclinées, fixes ou mobiles, et aux combustibles assez hétérogènes et de forte humidité. La taille du poussoir doit néanmoins être adaptée à la puissance du foyer et au combustible :

- gamme de puissance de 200 kW à plusieurs MW,
- souvent associé à un convoyage par bande transporteuse et à un foyer à grilles inclinées.



Injection sur un plan horizontal uniquement.

2.2.3. Spécificités de la chaudière polycombustible

Les chaudières polycombustible acceptent généralement toute forme de combustible granuleux et sec : copeaux et granulés de bois, noyaux, grains de maïs ou de blé. Le système d'alimentation est en général une vis sans fin, mais des adaptations peuvent être nécessaires selon le type de combustible.



Ce type de chaudière nécessite des volumes de stockage élevés, situés à proximité pour assurer une alimentation en continu. Les cendres et mâchefers sont importants, et nécessitent une maintenance approfondie et fréquente.

2.2.4. Traitement des fumées

La combustion du bois génère, comme toute combustion, des gaz principalement composés de CO₂ recyclé et de vapeur d'eau. Néanmoins, les fumées comportent des poussières ou particules fines, et certains gaz polluants tels que des composés organiques volatils (COV), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des dioxines, etc.

Ces émissions de poussières et de gaz polluants sont dues :

- à la composition naturelle du bois, matériau complexe contenant certains éléments chimiques sous forme de traces (notamment le chlore) ;
- à la combustion souvent incomplète du bois (présence d'eau, combustion hétérogène, etc.) ;
- aux éventuels autres composés et substances qu'il est possible de trouver dans les gisements de biomasse issus de déchets industriels (peintures, colle, etc.).

Ces risques d'émissions sont à surveiller attentivement mais restent généralement mineurs, et le respect de la réglementation sur les émissions de CO ou de poussières garantit l'absence d'impact

ou de risque sanitaire. Pour respecter cette exigence, les chaufferies doivent être équipées d'un système de traitement de fumées qui permet de les filtrer et de récupérer les particules solides. On distingue deux méthodes de séparation des particules : les voies sèche et humide.

2.2.4.1. Voie sèche

Dans les chaufferies de petite ou moyenne puissance, les particules fines sont extraites par voie gravitaire (cyclone ou multicyclone). Certains constructeurs ne prévoient pas de cyclone mais proposent un système de dépoussiérage intégré à la chaudière, appelé « chambre de tranquillisation ». Pour les chaufferies bois de forte puissance (supérieure à 4 MW en entrée chaudière), on adjoint au multicyclone un filtre à manche ou un électrofiltre afin de respecter les limites réglementaires, plus contraignantes.

Le filtre à manche est le plus performant des systèmes. Sa technique est particulièrement adaptée à la combustion du bois dont la principale pollution est le rejet de poussières plus ou moins chargées d'éléments minéraux ou métalliques. S'il est encore peu utilisé, il semble avoir désormais la préférence des constructeurs de chaudières pour des questions de coût, d'efficacité et d'adaptabilité (possibilité d'injection de réactifs pour le traitement des pollutions gazeuses).

Dépoussiéreurs mécaniques, de type cyclone

Ils utilisent la différence de densité entre éléments solides et gazeux. L'extraction est obtenue par voie gravitaire en deux phases : centrifugation puis sédimentation. Les particules de suie et de poussières sont recueillies dans un pot à suies accroché à la base du dépoussiéreur. Ces procédés ne permettent pas de séparer les particules les plus fines ($< 2 \mu\text{m}$) et donc de satisfaire aux limites réglementaires les plus strictes.

Dépoussiéreurs à couches filtrantes ou filtres à manche

Ils se présentent sous la forme d'un « casing » terminé par une trémie de récupération des poussières. L'ensemble des filtres ou manches (tubes de tissu de verre pour les températures élevées, afin d'empêcher tout risque d'incendie) est réparti en un certain nombre de cellules. Les gaz entrent dans un caisson de détente qui permet l'élimination des grosses poussières puis pénètrent dans le filtre par la base des manches où les poussières plus fines sont piégées. Le nettoyage des manches se fait par secouage ou vibration des différentes cellules, ou par inversion du flux gazeux (la chaudière étant alors à l'arrêt).

Électrofiltres

L'électrofiltre est un mode de dépoussiérage par séparation électrique qui consiste à faire passer les gaz de combustion entre deux électrodes. Il se présente sous la forme d'une ou plusieurs chambres en tôle comportant des trémies à poussières. L'intérieur est compartimenté au moyen de plaques régulièrement espacées dans le sens de l'écoulement des gaz, reliées à la masse et entre lesquelles se trouvent des fils tendus ou barres, reliés à une source électrique continue. Le champ électrique qui en résulte exerce sur les poussières chargées électriquement une force qui les précipite sur les plaques réceptrices et les fait tomber dans une trémie d'où elles sont évacuées. Celles qui adhèrent aux plaques sont décollées par un frappeage périodique.

2.2.4.2. Voie humide ou « lavage des fumées »

Le procédé par voie humide présente l'avantage non seulement de pouvoir traiter les particules solides, mais également de capter ou neutraliser les polluants gazeux. Il consiste à projeter un film d'eau à contre-courant du flux de fumées. On obtient ainsi une boue chargée qui nécessite des traitements complémentaires. Fortement consommatrice en énergie, cette solution est plutôt adaptée aux installations brûlant des combustibles contenant des composés chlorés ou soufrés.

Ce type d'épurateurs peut être associé à la condensation des fumées et à une récupération de chaleur sur l'eau de lavage. Outre la réduction des émissions, une amélioration substantielle de l'efficacité énergétique (10 à 20 points de rendement supplémentaire) peut alors être atteinte, ce qui permet à ces systèmes d'être très compétitifs face à une épuration plus classique par voie sèche. Il est toutefois nécessaire de refroidir les fumées à moins de 50 °C, ce qui implique de disposer d'une source froide comme le retour d'un réseau de chaleur basse température.

Condensation des fumées et récupération d'énergie**Intérêt**

La condensation pour des installations brûlant de la biomasse est développée depuis la fin des années 1980 dans plusieurs pays européens, en particulier au Danemark. Cette technologie est particulièrement intéressante dans le cas du bois, lequel est constitué en partie d'hydrogène qui forme de l'eau lors de la combustion et qui contient de surcroît une forte proportion d'eau à l'état liquide : 20 à 60 % de sa masse selon son origine. Les fumées émises par la combustion du bois ont donc des teneurs en vapeur d'eau élevées, dont la formation a nécessité une importante consommation d'énergie. L'intérêt de la condensation est de récupérer, dans un échangeur adapté une partie de cette chaleur latente contenue dans la vapeur d'eau, en abaissant la température des fumées en dessous du point de rosée humide (entre 50 et 70 °C, en fonction de l'humidité du bois et de l'excès d'air). Pour un bois à 50 % d'humidité, brûlé dans une chaudière performante avec 50 % d'excès d'air, la condensation des fumées peut ainsi faire gagner 10 à 20 points de rendement. Plus le bois est humide, plus l'amélioration du rendement sera sensible.

Autre avantage de l'utilisation d'un condenseur : son effet filtrant permet de réduire considérablement les émissions de particules. En complément d'un dépoussiérage par multicyclone, le condenseur peut, sous certaines conditions, ramener les émissions à moins de 50 mg/Nm³, évitant ainsi la mise en place d'un électrofiltre ou d'un filtre à manche.

Contraintes technologiques

Pour obtenir une condensation efficace des fumées issues de la combustion, il est nécessaire de disposer, au niveau de l'échangeur, d'un fluide dont la température est inférieure à celle du point de rosée humide des fumées (source froide). La configuration la plus simple est celle d'un réseau de chaleur basse température ayant des retours inférieurs à 50 °C : le fluide caloporteur passe dans l'échangeur à condensation et refroidit les fumées ; Il est donc légèrement réchauffé avant d'être injecté dans la chaudière.

Seconde contrainte importante : compte tenu de l'acidité des condensats, les échangeurs doivent être prévus pour résister aux attaques corrosives et sont donc fabriqués à partir de matériaux spécifiques, plus coûteux que ceux d'un échangeur classique. L'acidité varie selon les combustibles et les conditions de combustion. Elle suppose généralement une neutralisation par adjonction d'une base avant rejet dans le réseau d'assainissement public. Des problèmes de concentration de cadmium entraînent également, selon les normes la nécessité d'un filtrage. Le volume de condensats formés varie très largement (production de 150 à 250 litres par MWh produit).

2.2.4.3. Équipements annexes**Extracteur de fumées**

C'est un ventilateur d'extraction des gaz brûlés de type centrifuge, qui a pour rôle de maintenir le foyer en dépression.

Cheminée

La cheminée doit être isolée pour éviter les problèmes de condensation :

- type monoconduit, à double paroi (intérieur acier CORTEN et laine minérale, extérieur acier),
- cône d'éjection en sortie pour faciliter la dispersion des fumées dans l'atmosphère.

Impact sanitaire d'une chaufferie bois

Une analyse de risque sanitaire a été menée pour déterminer l'impact potentiel induit par les émissions polluantes liées à une chaufferie bois en milieu urbain (poussières, COV, dioxines, métaux, etc.). Quatre cas fictifs de chaufferies bois ont été étudiés sur les agglomérations de Vienne, Calais, Orléans et Clermont-Ferrand, suivant les méthodologies ERS recommandées par l'INERIS et l'INVS.

Les simulations aboutissent à des impacts toxiques (sur les systèmes respiratoires, nerveux, immunitaires, etc.) et cancérogènes 2 à 1 000 fois inférieurs aux seuils d'alerte, démontrant un impact acceptable, voire négligeable dans les cas étudiés. Des précisions sur les hypothèses permettraient d'affiner le calcul du risque, puisque certains facteurs d'émissions ont volontairement été majorés en l'absence de données suffisamment détaillées (cas des métaux lourds, des poussières et des COV notamment). Les émissions comptant de manière majoritaire dans les indicateurs de risques sont les poussières, les métaux et les NO_x, les émissions de dioxines n'étant responsable que de 5 % environ des impacts.

Ces résultats montrent qu'un projet de chaufferie collective ou industrielle au bois ne présente pas de risque sanitaire spécifique (même ordre de grandeur que les projets gaz ou fioul). **Si elles sont respectées, la réglementation et les techniques actuelles de traitement de fumées garantissent un niveau de protection suffisant.**

2.2.5. Gestion des cendres et des mâchefers

Au terme du processus chimique de combustion, subsistent des cendres constituées d'éléments inertes présents initialement dans le bois (terre, cailloux, ferrailles...) et de résidus carbonés imbrûlés. Selon les caractéristiques du bois et la qualité de la combustion, les cendres représentent au final entre 1 et 3 % de la masse de bois anhydre. Celles-ci sont formées essentiellement d'éléments minéraux (potasse, magnésium...). L'évacuation automatique des cendres est réalisée par gravité (foyer à creuset) ou mécaniquement (foyer à grilles mobiles). La teneur en cendres varie selon le mode de présentation, de stockage et le type des déchets de bois.

Tableau 5 : Humidité et teneur en cendres de différents types de bois combustible (Source : Aide-Mémoire du Thermicien, 1997)

Type de combustible bois	Humidité (% de la masse brute)	Teneur en cendres (% de la masse anhydre)
Plaquettes sèches (environ 6 mois de stockage sous abri)	20 à 25	0,5 à 1,5
Ecorce	50 à 70	5 à 10

Les cendres peuvent être soit épandues directement, soit indirectement (exemple : co-compostage des cendres avec des déchets verts). Dans les deux cas, pour une valorisation agricole, les cendres doivent respecter des critères d'innocuité, notamment en éléments traces métalliques. Il est notamment à mentionner que les cendres sont considérées comme des déchets pour des puissances de chaufferie inférieures à 20 MW, et ne peuvent être valorisées que pour des puissances supérieures à 20 MW (voir partie réglementation de ce rapport). Cette réglementation est néanmoins amenée à évoluer dans les prochains mois.

Des quantités de mâchefers différentes selon les biocombustibles

La teneur en silice contenue principalement dans les pailles de céréales joue un rôle important dans la formation de mâchefers. La quantité de silice présente dans les biocombustibles varie néanmoins selon les espèces utilisées et la nature des sols où elles sont cultivées.

Le blé contient beaucoup de silice, en moyenne 3 %, certaines variétés de blé étant particulièrement déconseillées pour cette raison. L'avoine et l'orge semblent mieux adaptées à la combustion en chaudière, car elles en contiennent en moyenne 2,5 %. La paille de triticales est celle qui contient le moins de silice avec une teneur moyenne de 1,5 %.

Le décendrage consiste à évacuer les cendres produites dans le foyer lors de la combustion du bois. Il existe deux techniques pour le décendrage automatique des cendres.

2.2.5.1. Décendrage par voie sèche

Une vis sans fin, placée sous le foyer ou à son extrémité, transporte les cendres poudreuses dans un conteneur étanche. Le même système est placé sous le dépoussiéreur pour l'évacuation des suies qui sont dirigées dans un conteneur spécifique :

- gamme de puissance : jusqu'à 800 kW,
- produit récupéré sous forme pulvérulente (densité = 500 à 600 kg/m³ en sortie de foyer, environ 500 kg/m³ en sortie du dépoussiéreur),
- volume des conteneurs de 20 à 1 000 litres,
- conteneurs munis de roulettes pour faciliter leur manutention.

Le décendrage par voie sèche est utilisé pour les chaufferies de petite et moyenne puissance. Il est souvent associé à une reprise des poussières ou suies captées au niveau du dépoussiéreur. Pour les installations de moins de 200 kW, le décendrage peut être manuel (tiroir à cendres à vider régulièrement).

2.2.5.2. Décendrage par voie humide

Les cendres du foyer et les suies du dépoussiéreur tombent dans un bac rempli d'eau, puis sont transportées par un convoyeur à chaîne vers une benne :

- gamme de puissance de 500 kW à plusieurs MW,
- produit récupéré sous forme de boue ou « gâteau » (densité d'environ 1 000 kg/m³, une fois ressuyé),
- volume de la benne de quelques m³ (jusqu'à 8 m³),
- implantation à l'extérieur de la chaufferie ou dans un local fermé adjacent,
- enlèvement par camion doté d'un bras articulé de type ampliroll.

Le décendrage par voie humide est plutôt réservé aux installations de puissance supérieure à 500 kW et dans le cas de combustibles à plus forte teneur en cendres (écorces). Pour les installations comportant un filtre à manches ou un électrofiltre, les systèmes d'extraction des cendres sous foyer et des cendres volantes sont distincts.

2.2.6. Commande et régulation

Une chaudière bois dispose de sa propre armoire de commande équipée d'un automate programmable, «cerveau de l'installation». Elle assure trois fonctions principales.

2.2.6.1. Gestion des automatismes

Ce processus permet le fonctionnement de l'ensemble de la chaîne d'alimentation en combustible (dessilage/convoyage/introduction dans le foyer) en fonction des besoins de chaleur à fournir. Les amenées de bois dans le foyer sont commandées par l'aquastat¹⁵ de régulation de la température de départ de la chaudière (aquastat de marche). Les systèmes d'alimentation en amont peuvent être commandés, en cascade, par des capteurs de niveau (trémie tampon d'alimentation, convoyeur). L'aquastat de marche commande également la mise en route de l'extracteur de fumées et des ventilateurs d'air comburant (primaire et secondaire). Le fonctionnement du décendrage automatique est géré selon un cycle temporisé. La température de consigne pour l'aquastat de marche est généralement comprise entre 90 et 105 °C.

2.2.6.2. Régulation

Les fonctions de régulation ont pour objectif d'optimiser la qualité de la combustion du bois et d'adapter au mieux le fonctionnement de la chaudière bois aux demandes d'énergie :

- Dans le cas le plus simple, la chaudière bois fonctionne en « tout ou rien » : le bois est introduit dans le foyer, l'extracteur et les ventilateurs sont en marche, jusqu'à ce que la température de consigne de l'aquastat de régulation soit atteinte. On passe ensuite en cycle veilleuse.
- Dans les installations de moyenne et forte puissance, une régulation modulante permet

¹⁵ Aquastat : dispositif de régulation réduit à un simple thermostat placé sur un circuit d'eau de chauffage ou sur une chaudière

d'ajuster les amenées de bois et les débits d'air comburant aux besoins de chaleur et d'optimiser la combustion grâce au contrôle de paramètres tels que le taux d'oxygène, la température et la dépression dans le foyer, et la température des fumées.

De manière plus précise, il existe trois boucles de régulation inter opérantes :

- La mesure en continu de la température d'eau de départ chaudière T_E qui, par l'intermédiaire du régulateur de puissance donne une consigne au régulateur de combustion avec prise en compte de la température de foyer T_F . Les différentes interactions ont lieu de manière proportionnelle (PID) sur les cycles d'introduction du combustible, de la vitesse d'avance de la grille et de la modulation des débits d'air primaire dans les différents coussins de distributions situés sous la grille.
- La mesure en continu du taux d'oxygène en sortie de chaudière permet de moduler le débit d'air secondaire et de maîtriser la combustion,
- Un capteur mesure en temps réel la pression dans le foyer P_F , le régulateur de dépression agit sur le variateur de fréquence du ventilateur d'extraction des fumées de façon à maintenir la dépression dans le foyer à une valeur constante (source Compte.R).

Pendant les phases de régulation thermostatique (absence de demande au niveau de l'aquastat), une temporisation est prévue dans l'automate programmable, à l'issue de laquelle, s'il n'y a pas eu d'appel de puissance, une dose de bois est introduite dans le foyer pour le maintenir en veille sans risque d'extinction. Il existe des installations dont la veille, ordinairement assurée par l'admission périodique d'une dose de bois dans le foyer, est remplacée par un système d'allumage automatique.

2.2.6.3. Gestion des sécurités

Il s'agit de l'ensemble des dispositifs destinés à prévenir les dysfonctionnements éventuels de l'installation. On distingue trois grands types de sécurités :

Sécurités relatives à l'alimentation et à l'interface alimentation/foyer

En cas de manque de combustible, un régulateur enregistre une température anormale des fumées mettant en alarme et en arrêt de sécurité toute l'installation. C'est notamment le cas lorsque des corps étrangers ou des bourrages provoqués par des éléments grossiers bloquent l'organe de convoyage du combustible (vis, et dans une moindre mesure échelles de racleurs ou bande transporteuse). Une trémie intermédiaire ou une écluse est installée entre le silo de stockage et le foyer : en cas de remontée de feu du foyer vers l'alimentation automatique, toute propagation est évitée. Une sonde thermostatique, indépendante de l'automate, fonctionne même en cas de défaut électrique. Elle est placée dans le système d'introduction du bois et déclenche un arrosage en cas d'élévation anormale de la température, prévenant ainsi les risques d'incendie.

Sécurités relatives à la combustion et à l'échange de chaleur

Une sonde placée dans le foyer contrôle le niveau de température et arrête l'installation en cas de température trop basse (défaut d'alimentation du combustible ou taux d'humidité de ce dernier trop élevé) ou trop haute (combustible trop sec). Un déprimomètre placé en sortie de foyer garantit que celui-ci est en dépression afin d'éviter les explosions de gaz au démarrage ou les remontées de feu vers l'alimentation automatique. Le capteur électronique de température de fumées permet de détecter un encrassement anormal du faisceau tubulaire et la nécessité de son nettoyage.

Sécurités relatives à la partie hydraulique de l'installation

La mise en sécurité de la chaudière bois est commandée par l'aquastat de température maximale et par le pressostat en cas de détection d'un manque d'eau dans l'installation. Une vanne thermostatique couplée à un serpentin de décharge permet de refroidir l'installation en cas de surchauffe. Les soupapes de sûreté et le vase d'expansion encaissent les éventuelles surpressions dans le circuit de distribution. Dans tous les cas, la présence d'un générateur d'appoint/secours (fioul ou gaz) permet d'assurer le relais et de maintenir une production d'énergie normale.

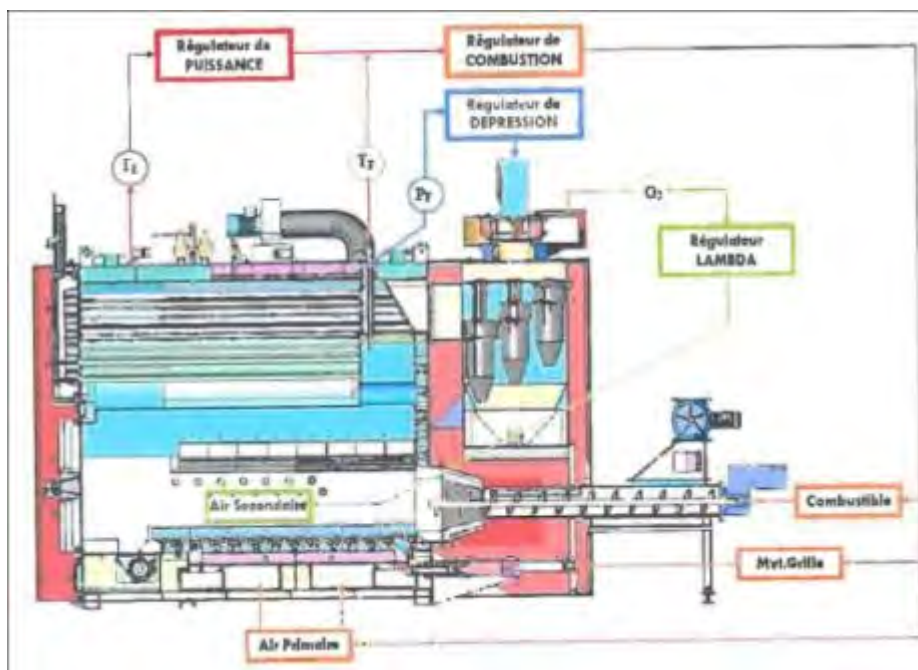


Figure 19 : Schéma de régulation d'une chaudière bois (source : Compte.R)

2.2.7. Raccordement aux réseaux de distribution de chaleur

Le raccordement hydraulique de la chaudière bois aux circuits de distribution de chauffage répond aux règles classiques des installations de chauffage.

Équipements de sécurité

Ils se composent de l'aquastat de température maximale en sortie chaudière, des soupapes de sécurité en sortie chaudière et du vase d'expansion sur le retour chaudière.

Contrôle de la température retour chaudière

Afin d'éviter tout problème de corrosion des parois de la chaudière, la température de retour d'eau doit être maintenue à un minimum de 70 °C. Pour cela, il faut prévoir une pompe de recyclage, couplée éventuellement à une sonde de température sur le circuit retour de la chaudière, asservie aux pompes de distribution de chauffage.

Séparation hydraulique des circuits

Le circuit primaire de la chaudière bois est connecté à une bouteille casse-pression (ou à un collecteur) sur laquelle les circuits secondaires sont raccordés.

Exemple d'une installation bi-énergie bois/fioul ou gaz : la mise en cascade des chaudières

Quand la chaudière bois est couplée à une chaudière d'appoint/secours (au fioul ou au gaz), les deux sont en général installées en parallèle sur la bouteille casse-pression ou sur le collecteur. En fonctionnement normal, la chaudière bois fonctionne seule, en base. En cas d'insuffisance de puissance ou de défaut de la chaudière bois, la mise en cascade automatique du second générateur est commandée par une sonde de température placée sur le départ des circuits de distribution. Si celle-ci devient inférieure à la consigne fixée, le régulateur déclenche les séquences suivantes :

- mise en route du brûleur et de la pompe de recyclage de la chaudière d'appoint,
- ouverture de la vanne deux voies qui coupe l'irrigation du générateur d'appoint quand il n'est pas utilisé,
- mise en route de la pompe de charge qui permet au générateur d'appoint de remonter la température du circuit primaire.

Quand le générateur d'appoint n'est utilisé qu'en secours, le basculement du bois vers l'énergie d'appoint peut être assuré manuellement.

2.2.8. Ballons de stockage d'eau chaude « Open-buffer »

Les paramètres clés relatifs au dimensionnement du ballon de stockage d'eau chaude sont traités dans le paragraphe 3.3.3.4. Pour lisser la demande en énergie et éviter le fonctionnement de la chaudière en dehors des plages nominales (fonctionnement néfaste au matériel et dégrade fortement le rendement de combustion), il est fortement conseillé d'utiliser un ballon de stockage d'eau chaude de type Open-buffer. Ce système permet de découpler la production et la consommation de chaleur, tout en ayant une bonne maîtrise de la température des eaux de retour, afin d'obtenir une bonne stratification des températures verticales dans le ballon de stockage (90 à 95 °C en haut – 40 à 45 °C en bas).

2.2.9. Injection de CO₂

L'état actuel de la technologie ne rend pas envisageable la récupération du CO₂ dans les fumées issues de la combustion du bois ou de cultures énergétiques. En effet, le taux de poussières et la variabilité du combustible (composition, teneur en polluants éventuels...) donc des compositions des fumées interdisent l'utilisation des fumées issues de chaudières pour l'enrichissement carboné des cultures. Néanmoins, dans le cas où une chaudière gaz est utilisée en plus de la chaudière bois, le gaz est un combustible d'appoint qui peut également servir à enrichir les serres en CO₂.

Des travaux sur la valorisation du CO₂ des fumées en chaufferie biomasse ont été réalisés au Canada en 1998 à partir d'un générateur à maïs. Des constructeurs suisses travaillent actuellement sur le sujet également. Des calculs montrent que les valeurs limites d'exposition peuvent être respectées pour une dilution raisonnable des fumées issus de la combustion du bois. Le développement et l'usage de ce type de technologie sont naturellement à mettre en regard des coûts important d'investissement qu'ils peuvent supposer, du gain économique réel et des impacts sanitaires éventuels qu'ils engendreraient sur le personnel en cas de dysfonctionnement.

Tableau 6 : Comparaison de concentration en CO₂ et en polluants issue d'une combustion bois et gaz (source : Umwelt Perspektiven, 2008)

	Bois	Gaz
Dilution	40 fois	13 fois
CO ₂	1625 ppm	7500 ppm
CO	5,5 ppm	6,4 ppm
NO ₂	3 ppm	3 ppm
SO ₂	0,25 ppm	-
Particules en suspension	0,5 mg/m ³	~ 0 mg/m ³

Après avoir fait le point dans ce chapitre sur les éléments techniques relatifs aux différents équipements de la chaufferie, le chapitre suivant présente les différentes étapes du montage d'un projet d'installation de chaufferie biomasse, ainsi que les éléments de choix et de dimensionnement de son installation.

3. LE MONTAGE DES PROJETS BOIS-ÉNERGIE

Le passage à une énergie renouvelable pour le chauffage d'une entreprise horticole ou maraîchère est une démarche par nature longue et complexe. En effet, la mise en place d'une chaudière biomasse demande non seulement de changer d'installation, mais aussi de modifier profondément le fonctionnement et la gestion du chauffage de l'entreprise. C'est pourquoi, avant de se lancer dans un tel projet, une réflexion approfondie en amont est indispensable. En effet, sans une étude globale du contexte énergétique et des moyens possibles à mettre en place, la démarche peut conduire à des projets aberrants, onéreux et certainement risqués pour l'entreprise.

La démarche de conversion énergétique passe avant tout par la réalisation d'un diagnostic (point sur la situation actuelle de l'exploitation et premiers leviers d'action) et d'une étude de faisabilité (dimensionnement et approfondissement de la faisabilité technique et économique) du projet envisagé, auprès d'un bureau d'études spécialisé et avec le conseil d'un relais local (direction régionale ADEME, chambre d'agriculture, association locale...). Ensuite, se mettent en place les étapes de réalisation du projet et de mise en œuvre des installations. Le schéma ci-après présente les grandes étapes du montage de projet avec les durées moyennes de réalisation pour chacune d'entre elles.

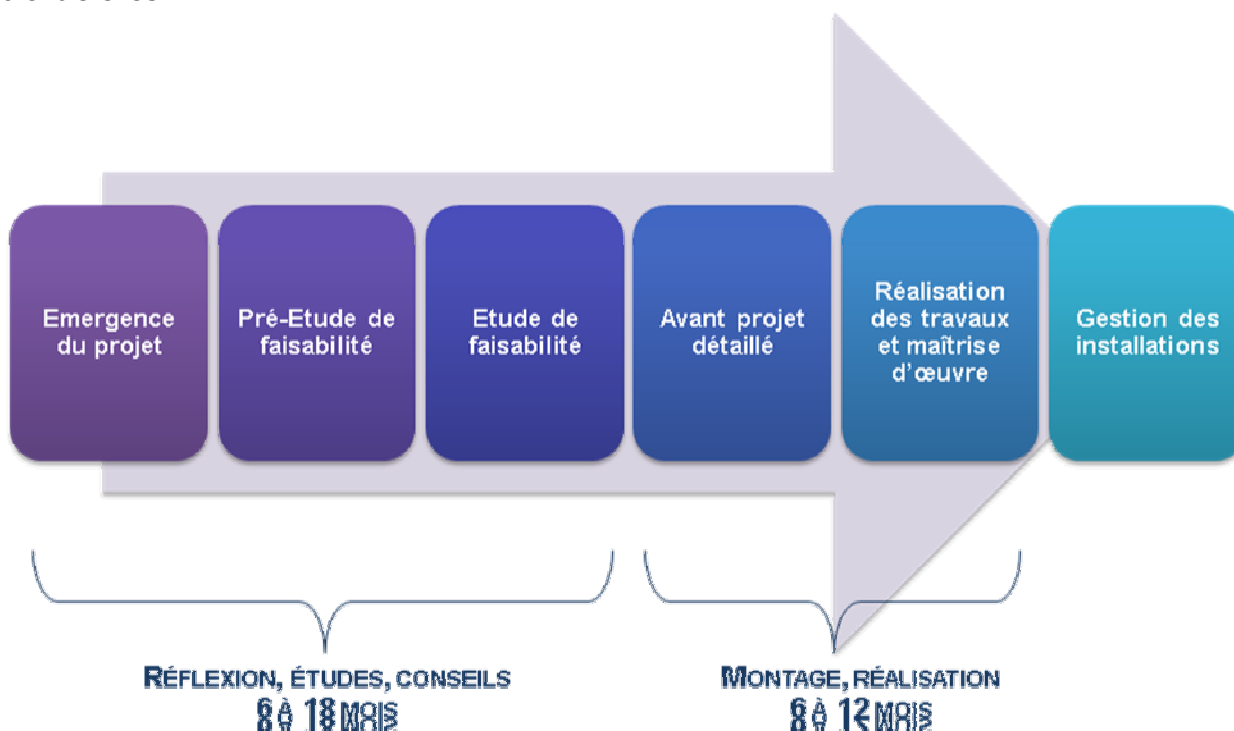


Figure 20 : Les étapes du montage d'un projet de chaufferie bois

3.1. Les acteurs du projet

En dehors de l'exploitant, un certain nombre d'acteurs locaux participent de près ou de loin au montage du projet. Il est important pour que le projet soit le plus abouti et pertinent possible, financièrement et techniquement, que le porteur du projet sollicite, questionne et interagisse avec ceux-ci.

Les relais locaux

Ce sont les directions régionales de l'ADEME, les conseillers des chambres d'agriculture ou des associations locales de développement et de promotion de la filière biomasse. Ils connaissent la technique et les acteurs locaux, et peuvent participer au montage du projet, en tant que partenaire, prestataire ou financeur. Il est important de les associer dès les premières réflexions du projet, afin

d'anticiper les contraintes techniques, économiques ou administratives à venir, avoir un avis éclairé sur la situation locale (projets en cours, état de la ressource, liste des acteurs...), et apporteront les informations utiles sur les possibilités d'accompagnement pour les (pré-)diagnostic et étude de faisabilité.

Les bureaux d'études

Les prestations proposées par les bureaux d'études peuvent inclure l'étude de faisabilité sur la partie technique uniquement, éventuellement complétée par la partie approvisionnement en combustible voire le suivi de mise œuvre du projet jusqu'à la livraison. Préférer une prestation complète simplifie la démarche et limite le nombre d'interlocuteurs. Cependant, si localement aucun bureau ne propose de prestation complète, il faut s'assurer de bons échanges entre les prestataires.

Même si l'expérience de certains bureaux d'études reste encore limitée concernant la thermique des serres, elle est en constante progression. Pour le montage du projet, il est bien sûr conseillé, autant que possible, de faire appel à une structure ayant un minimum d'expérience dans le domaine. Une liste (indicative et non exhaustive) de bureaux d'études ayant des compétences dans le domaine de la thermique des serres est proposée en annexe 0 de ce rapport.

La réalisation d'une étude de faisabilité peut être soutenue par des aides financières. Les conditions et modalités sont développées dans la partie 5 de ce rapport

Les maîtres d'œuvre

Le recours à un maître d'œuvre pour l'installation d'une chaufferie bois sur une entreprise horticole ou maraîchère est recommandé. Le suivi des travaux et la gestion des divers prestataires lui sont confiés, libérant le producteur de cette tâche. Cependant, il est envisageable pour un professionnel expérimenté de se passer de ce service, ce qui peut lui permettre d'économiser le coût de la prestation.

Quelles qu'en soient les raisons, (économique, environnementale, image de l'entreprise, opportunité d'un approvisionnement...) la volonté de changer de système de production de chauffage pour un système de production à énergie renouvelable est un projet important qui mérite réflexion. Il convient de s'interroger sur les objectifs de ce changement et les moyens envisagés pour y parvenir. Il n'existe pas de solution standard car chaque entreprise est différente dans sa conformation, ses besoins et ses contraintes. Pour lever une grande majorité des questions, la réalisation d'études préalables, comme présentées ci-après est indispensable car elles permettent de dessiner un projet adapté au contexte de l'entreprise. Cependant, il faut garder en tête que certaines incertitudes demeureront, comme la tendance et les fluctuations du prix des énergies ou l'évolution des marchés horticole et maraîcher. Une part de risque est donc à prendre en compte dans le projet.

3.2. Pré-étude de faisabilité ou (pré-)diagnostic énergétique

La première étape de la démarche consiste à faire le bilan de l'entreprise d'un point de vue thermique, technique et économique avec l'équipement en place. L'objectif est de relever un ensemble d'informations sur l'état de l'entreprise et ses besoins en énergie afin d'évaluer, dans un premier temps, la pertinence d'un projet de reconversion. Les (pré-)diagnostics énergétiques permettent d'avoir cette « photo » de la situation énergétique de l'exploitation, et de dresser une liste de premières recommandations pour accroître la performance du système, par des mesures simples ou peu onéreuses prioritairement. En effet, pour gagner en objectivité, le calcul de la rentabilité du changement de mode de chauffage doit s'apprécier en regard du coût actuel (avant diagnostic) et éventuel après optimisation (mesures simples et à court terme).

A RETENIR

Les (pré-)diagnostics énergétiques sont des prestations au cahier des charges bien défini, dont un référentiel de bonnes pratiques AFNOR (BP X30-120) est disponible pour l'industrie. Le cahier des

charges d'un diagnostic énergétique est disponible facilement auprès des Directions Régionales de l'ADEME, auprès des bureaux d'étude ou de FranceAgriMer¹⁶. Les diagnostics réalisés en agriculture font par ailleurs l'objet de synthèses ou de publications diverses afin de partager les retours d'expérience, les bonnes pratiques et les références de consommation d'énergie. Une synthèse des bilans PLANETE a par exemple été réalisée en 2006, puis en 2010 sur la base de 3500 diagnostics en exploitations. Des rapports spécifiques aux productions enquêtées sont disponibles, dont la synthèse des diagnostics réalisés en exploitations légumières par exemple disponible sur le site de SOLAGRO¹⁷.

Dans le cas des entreprises de production sous serres, cette première étape consistera à identifier, décrire et évaluer l'état :

- de la structure des serres (type, surface, état, année de construction...) ;
- du système de production de chaleur (chaudière, air pulsé, combustible utilisé...) ;
- du système de distribution de chaleur (aérotherme, thermosiphon, chauffage localisé...) ;
- des besoins en énergie en fonction des productions végétales en place et/ou à venir (T°C de consigne, type de production, période de chauffe etc.) ;
- du système de ventilation ;
- du réseau électrique.

Les informations et données relevées vont permettre d'avoir une vision globale de la gestion de l'énergie dans l'entreprise depuis sa production jusqu'à la plante, et de déceler les éventuelles failles et pertes techniques (et économiques). Une première évaluation de l'intérêt d'éventuels projets d'agrandissement envisagés dans les années à venir sera également prise en compte.

Le bureau d'études s'attachera à quantifier les besoins en chauffage de l'entreprise. Dans le cas des serres, contrairement aux bâtiments classiques, cette estimation est assez complexe à réaliser (diverses sources d'apport et de déperdition thermique à prendre en compte, multitude de compartiments, de températures de consigne, de conditions de culture, de saison de chauffe, d'apports solaires de la serre etc.). Cette estimation fait partie des étapes clefs du montage de projet car elle va conditionner l'ensemble des investissements à réaliser, la négociation du contrat d'approvisionnement, et elle permettra d'élaborer le plan de financement du projet. Il est donc impératif de faire réaliser cette étude par un bureau d'études compétent ayant l'expérience de ce domaine en particulier.

Dès cette étape, il est possible de déceler les freins à la réalisation du projet biomasse et les solutions envisageables à sa poursuite :

- Freins économiques : ils sont essentiellement liés à la nature et la qualité (donc le prix) du combustible utilisé par l'entreprise. Il est important, pour les entreprises utilisant du gaz naturel ou de l'électricité, d'évaluer précisément l'intérêt économique d'une reconversion énergétique. Par ailleurs, cette étude peut permettre de savoir si le contrat d'approvisionnement en combustible est adapté ou non à la consommation faite par l'entreprise (contrat surdimensionné ou sous-dimensionné) et comment y remédier. Elle permet de dresser une première évaluation du coût d'investissement global du projet de reconversion énergétique à comparer à la capacité d'investissement de l'entreprise, même si cette évaluation doit être utilisée avec précaution avant une estimation plus fine lors de l'étude de faisabilité.
- Freins techniques : l'intérêt principal de la reconversion énergétique est en général économique. L'idée est de mieux maîtriser sa production de chaleur, son utilisation et ainsi sa facture énergétique sur le long terme. Néanmoins, si l'outil de production est, à l'origine, défaillant énergétiquement, il faut le rendre performant avant toute démarche de conversion. De nombreuses solutions existent pour rendre ses serres énergétiquement performantes et débiter un plan d'utilisation rationnelle de l'énergie. Celles-ci sont présentées sur les études et documents cités en références de ce rapport. Par exemple, il faut avant tout assurer une

¹⁶<http://www.oniflor.fr/reglements/diagnostic%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20en%20serres%20march%C3%A9%20et%20horticoles-%20chier%20des%20charges%20DEF.pdf>

¹⁷ <http://www.solagro.org/site/424.html>

bonne isolation des surfaces à chauffer, et contrôler et maîtriser les outils de gestion climatique (ouvrants, sondes, ordinateur de gestion climatique...).

C'est seulement au terme de cette pré-étude qu'un projet de conversion se verra justifié et que la solution bois pourra être suggérée comme alternative pertinente.

3.3. Etude de faisabilité

A l'issue de l'étude de pré-faisabilité, si les conclusions confirment l'intérêt de la conversion au bois énergie, les différentes étapes de l'étude de faisabilité se mettent en place. Cette étude vise à concevoir le déroulement du projet d'un point de vue technique en corrélation étroite avec l'impact économique. Pour ce faire, le bureau d'études réalise un bilan technico-économique comparatif précis entre la situation actuelle avec l'énergie en place et une simulation avec une chaudière bois dimensionnée en fonction des besoins de l'entreprise.

3.3.1. Approvisionnement en combustible

La première étape de l'étude de faisabilité est d'évaluer la ressource en combustible se présentant de manière durable et locale pour l'alimentation de la chaudière. L'idéal est d'avoir la possibilité de plusieurs sources d'approvisionnement pour diversifier et sécuriser la ressource, et éventuellement négocier les meilleurs tarifs. Ce travail de prospection, réalisé par le bureau d'études ou un autre relais local, se fait en corrélation avec les besoins en combustible calculés lors de la pré-étude de faisabilité. Le bureau d'études relèvera pour chaque fournisseur :

- Les types de combustibles proposés par la structure : granulés, plaquettes forestières, sciures, etc. ;
- La qualité des combustibles (PCI, taux d'humidité, densité, granulométrie, etc.) ;
- Les moyens de stockage et de transport du combustible vers l'entreprise ;
- Les garanties d'approvisionnement proposées par le fournisseur (qualité, quantité, prix, durée, régularité des livraisons, type de contrat proposé, etc.) ;
- Les services annexes éventuellement proposés ;
- Les tarifs proposés.

A partir de ces données, un bilan comparatif sera dressé pour évaluer le fournisseur présentant le meilleur rapport qualité/prix en fonction des besoins de l'entreprise. Dans certains cas, il se peut que la ressource existe localement (massif forestier, entreprise de travail du bois, etc.) mais que la filière d'approvisionnement soit à créer. Ce cas de figure peut considérablement ralentir un projet de chaudière bois. C'est pourquoi, il est judicieux de s'informer des possibilités d'approvisionnement très tôt dans la démarche de conversion.

Pour plus d'information sur la création d'une filière d'approvisionnement, se reporter au relais ADEME sur le bois énergie

A partir de cette première prospection, vont débiter en parallèle deux étapes complémentaires de l'étude de faisabilité : le choix des équipements à installer et leur dimensionnement, ainsi que la négociation du contrat d'approvisionnement en combustible. Ces deux étapes doivent être menées de front car il s'agit de trouver le meilleur équilibre technique et économique en fonction des besoins et des capacités financières de l'entreprise. Par ailleurs, pour un approvisionnement de qualité, il est souhaitable de signer son contrat environ un an à l'avance avant la mise en service de la chaufferie.

3.3.2. Contrat d'approvisionnement

La négociation du contrat d'approvisionnement est une étape-clé dans la réalisation du projet de chaufferie bois. De ce contrat découle l'assurance d'un combustible de qualité constante, d'un approvisionnement régulier, et d'un prix négocié et garanti. Du contrat d'approvisionnement dépend directement la viabilité du projet.

L'ADEME demande des contrats d'approvisionnement d'au moins 5 ans. Il se compose de quatre

paramètres principaux : la qualité du produit, la quantité annuelle à fournir, les modalités de commande et de livraison, et le prix. Il est important d'établir un contrat en lien avec les besoins de l'entreprise et les caractéristiques de la chaudière, mais il est indispensable de veiller au respect des engagements pris par chacune des parties. Un contrat d'approvisionnement type est proposé pour information en annexe 9.5 de ce rapport.

3.3.2.1. Qualité du combustible

Le choix du combustible est fonction de la ressource locale disponible, du type de chaudière choisi ainsi que du système de dessilage. Selon le cas, il sera possible de se tourner vers plusieurs types de combustibles (ex. des plaquettes forestières et du broyat de bois de rebut), ou vers un combustible unique (généralement des plaquettes forestières). La qualité du bois se définit par son essence, sa granulométrie, son taux d'humidité, son PCI, sa masse volumique, son taux de poussière et de cendres, ainsi que par un taux de tolérance de présence de corps étrangers dans le combustible. Lors de la négociation du contrat d'approvisionnement, un cahier des charges strict est établi pour définir des fourchettes de tolérance pour chacun de ces paramètres.

A RETENIR

Des plaquettes surcalibrées diminuent l'efficacité de la combustion. A l'inverse, une quantité trop importante de poussières et de petites particules génère un surcroît de fumées, source d'encrassement de la chaudière.

Le taux d'humidité, tout comme le calibrage, est garanti par le contrat d'approvisionnement signé avec le fournisseur. Si le bois livré est trop humide, il perdra en rendement et libérera plus de fumée. Un taux d'humidité variable selon les lots livrés implique un réglage de la chaudière en fonction de chaque pourcentage, ce qui complexifie la gestion du système. La bonne gestion du taux d'humidité en entrée de chaudière est donc indispensable.

3.3.2.2. Quantité de combustible

Lors de l'étude de faisabilité, les besoins en chauffage sont établis, ce qui permet de dimensionner la puissance de la chaudière la mieux adaptée. A partir de ce dimensionnement, la quantité de combustible nécessaire pourra être définie.

Dans son contrat, le producteur s'engage à commander au fournisseur une quantité moyenne annuelle de combustible avec une variation de plus ou moins x %. Le fournisseur s'engage également à fournir cette quantité de bois à son client. Cette quantité peut être exprimée en MWh PCI, en tonnes ou en MAP. La répartition prévisionnelle sur l'année de la livraison n'est pas contractuelle, mais elle peut être donnée à titre indicatif.

A RETENIR

Fournisseur et client peuvent s'accorder sur les pourcentages de marge. Ils peuvent également convenir de la possibilité pour le client d'aller se fournir en combustible chez un autre fournisseur si ses besoins venaient à dépasser les quantités convenues.

3.3.2.3. Modalités de commande et de livraison

Lors de la négociation du contrat, client et fournisseur établissent les modalités de commande :

- Prise de commande (p. ex. téléphone, fax, courriel, etc.) ;
- Confirmation (p. ex. fax ou courriel, etc.) ;
- Quantité minimale par commande ;
- Conditions d'annulation de la commande.

Les modalités de livraison sont également détaillées :

- Délai de livraison après commande ;
- Type de camion utilisé ;
- Temps de déchargement ;
- Conséquence en cas de non livraison ou d'insuffisance.

Tous ces points (liste non exhaustive) sont à détailler précisément afin de clarifier les closes du contrat et simplifier ainsi les démarches en cas de problème.

A RETENIR

Tout est négociable. S'il est obligatoire de formaliser un contrat de vente, son contenu se négocie entre le client et le fournisseur. Il est donc important de prendre le temps de réfléchir aux différents points du contrat pour ne rien laisser au hasard.

3.3.2.4. Prix du combustible

Il constitue sans doute le paramètre le plus sensible du contrat d'approvisionnement. Le coût du combustible bois présente l'intérêt de n'être indexé sur le prix du pétrole que pour une partie (25 %), correspondant au coût de transport et à la variation du coût de la main d'œuvre. Aussi, pour les 75 % restants, c'est la stabilité qui prime. Le tableau suivant présente un aperçu de la variation des prix selon le combustible.

Tableau 7 : Exemples de variation des prix en fonction des combustibles

Type de combustible bois	Quantité nécessaire en t pour 1 ha de serres*/an	Coût estimé
Plaquettes forestières sèches	770 à 910	45 à 100€/t, prix rendu serriste
Plaquettes forestières vertes	1070 à 1360	
Plaquettes de scierie	910 à 1360	20 à 50 €/t, prix rendu serriste
Granulés	600 à 650	Livrés par camion souffleur selon la distance et la quantité : 180 € à 250 €/t En sac par palette entière : 250€ et 300 €/t (hiver 2006-2007)
Ecorces broyées	1070 à 1870	10 à 30 €/t, prix rendu serriste
Sciures de scierie	1070 à 1870	30 à 60 €/t, prix rendu serriste
Broyat de bois de rebut	770 à 910	La valorisation des déchets du bois a un coût, principalement dû à la préparation du déchet avant sa valorisation : broyage, tri, ... Le coût du conditionnement varie entre 15 et 45 €/t et le coût du transport varie entre 10 et 15 €/t

*calcul réalisé pour un besoin de 300 kWh/m²/an, soit 250 tep/ha

Source : Compilation de données du ministère de l'industrie, de l'ARENE, du Ctifl et de l'ITEBE

Plusieurs paramètres vont influencer le coût du MWh PCI :

- Le type de combustible ;
- Les coûts de transformation du bois ;
- Les coûts de transport et éventuellement de stockage ;
- La quantité de combustible demandée sur l'année ;
- Les frais de gestion et la marge du fournisseur représentant jusqu'à 20 % du prix.

Lors de la rédaction du contrat d'approvisionnement, le prix de base est défini. Il pourra être révisé selon les conditions définies dans le contrat. D'une manière générale, il s'agit d'une révision annuelle à la date anniversaire du contrat qui peut s'effectuer selon plusieurs indices¹⁸ :

¹⁸ édités par l'INSEE et consultables sur leur site internet : www.insee.fr

- IC : « Indice Coût de la main d'œuvre » - ICHT-TS – Indices du coût horaire du travail – Tous salariés ;
- IT : « Indice des prix du transport routier de marchandise » (IPTRM) du Ministère des Transports de l'Équipement du Tourisme et de la Mer ;
- IE : « Indice des prix à la consommation » – IPC.

Le fournisseur peut conserver le droit de modifier le prix de base pour d'autres motifs tels qu'une variation importante de la quantité de combustible livrée ou bien en cas d'évolution de la réglementation (en matière d'environnement par exemple).

A RETENIR

Le combustible bois est soumis à une TVA de 5,5% dès lors que l'utilisateur de la chaleur achète directement le combustible auprès de son fournisseur ou par un intermédiaire qui facture une prestation globale.

Une enquête nationale sur l'évolution du coût du combustible bois pour le résidentiel et les collectivités est disponible sur le site de l'ADEME¹⁹. Cette étude a été menée à partir d'interviews téléphoniques de revendeurs et négociants de combustibles bois (311 entreprises interviewées), de producteurs de granulés (une vingtaine de producteurs interviewés), et de collectivités locales (une vingtaine de collectivités). Elle décrit les solutions énergétiques rencontrées et montre que le bois énergie est une solution compétitive au regard des autres sources d'énergie, comparant les coûts respectifs et leur évolution entre 2003 et 2008.

3.3.2.5. Durée du contrat

La durée du contrat engage le fournisseur à approvisionner son client en combustible sur plusieurs années. Il est conseillé, pour la viabilité d'un projet, de pouvoir étendre cette durée de contrat à la durée de retour sur investissement, ou au moins de s'en approcher (au moment où ce contrat d'approvisionnement se négocie, le dimensionnement de l'installation est théoriquement défini).

3.3.3. Dimensionnement de l'installation

3.3.3.1. Stockage du combustible

La conception du silo doit prendre en compte les paramètres suivants :

- la puissance de la chaudière et l'autonomie souhaitée (nombre de jours à pleine puissance) ;
- les modes de livraison (type de benne, volume des camions) et de remplissage retenus ;
- les contraintes d'intégration (surface disponible, nature du sol) ;
- la disponibilité des équipements et du personnel sur le site.

Il convient de distinguer le volume réel (en litres d'eau) du silo et son volume utile qui prend en compte les volumes « morts » (voir partie 2.2.1).

Sur le terrain

Cas d'une chaufferie pour une serre maraîchère de 2,5 ha :

- puissance de 3 MW
- type de bois : bois de rebut
- silo de 300 m³ (à l'air libre) : 2-3 jours de stockage sur la période hivernale lorsque les besoins énergétiques sont les plus importants. Le silo doit être dimensionné *a minima* à un volume utile d'1,5 fois le volume de livraison.

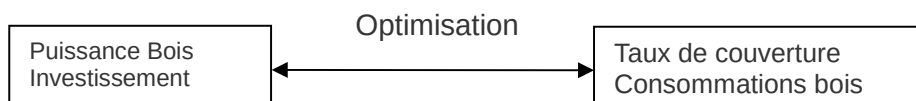
Pour sécuriser l'approvisionnement, il est nécessaire de prévoir un hangar de stockage aux abords de la chaufferie. Cette aire protégée permet de stocker une plus grande quantité de combustible, assurant ainsi une autonomie de chauffage plus longue qui peut être intéressante, en particulier en période de chauffe importante, lorsque le fournisseur est le plus sollicité. Par ailleurs, cet

¹⁹ <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=71418&p1=02&p2=07&ref=17597>

investissement supplémentaire peut permettre d'abaisser le coût du combustible : le stockage se faisant sur l'entreprise, le fournisseur peut s'en affranchir, le déduire de ses charges et le répercuter sur la facture de son client après négociation.

3.3.3.2. Chaufferie

L'étude de faisabilité a permis d'évaluer les besoins en chauffage de l'entreprise. Il convient de trouver maintenant la chaudière la mieux adaptée pour répondre à cette demande. Le bon dimensionnement de la chaudière répond au principe d'optimisation ci-dessous :



avec :

- Puissance bois : puissance de la chaudière bois ;
- Investissement : coût de l'installation de la chaudière bois ;
- Taux de couverture : fraction de la demande annuelle produite par la chaudière bois ;
- Consommation de bois : quantité de combustible nécessaire pour atteindre le niveau de puissance.

Les spécificités à prendre en compte dans le cas de la chaudière à biomasse par rapport aux autres combustibles classiques sont les suivantes :

Plage de modulation de puissance plus restreinte

Les chaudières bois fournissent leur meilleur rendement au voisinage de la puissance nominale, c'est-à-dire proche de la puissance optimale. Quand la puissance est réduite, le rendement diminue également. Cependant, comme toute chaudière, la plage de modulation des chaudières bois est limitée, plus encore que pour les chaudières gaz ou fioul. En dessous d'un certain seuil de puissance, le rendement de la chaudière et la qualité de combustion sont nettement dégradés. On peut donner un ordre de grandeur pour la puissance minimale, autour de 25 % à 30 % de la puissance nominale. En deçà de cette valeur de puissance minimale instantanée, il n'est pas souhaitable de faire fonctionner la chaudière bois.

Besoins en cycles longs de production

Les chaudières bois ont besoin de fonctionner sur une base de cycles de production longs pour atteindre les meilleurs rendements et une qualité de combustion efficace, ce qui limite l'émission de gaz et particules nocifs. Lors des intersaisons, les besoins thermiques de la serre sont faibles. Même à puissance minimale, la chaudière ne peut descendre à un régime trop faible (comme expliqué précédemment). La solution serait de raccourcir les durées de fonctionnement de la chaudière, à puissance minimale, pour répondre à cette faible demande. Or ce mode d'utilisation est incompatible avec un bon rendement. La solution réside alors dans l'utilisation d'une chaudière d'appoint, en général la chaudière gaz ou fioul existante avant l'installation de la chaudière bois, pour répondre à la demande de puissance faible ou ponctuelle.

Le coût des chaudières bois

Les chaudières bois sont intrinsèquement plus chères que les chaudières gaz ou fioul. Cependant, le coût du combustible reste inférieur aux autres combustibles fossiles. Ainsi, le surinvestissement pour la chaudière bois peut être amorti et peut même, à terme, engendrer des gains. Par contre, il est important de choisir une chaudière à dimension adaptée aux besoins, car un surdimensionnement engendre des coûts supplémentaires injustifiés (une surpuissance induit une surconsommation de combustible bois, nécessite une puissance électrique supérieure et provoque des arrêts thermostatiques fréquents en intersaison) et d'éventuels dysfonctionnements (combustion incomplète, mauvais rendements, usure prématurée, etc.)

Afin de dimensionner les besoins, les bureaux d'études utilisent une courbe appelée « monotone de chauffage » (Figure 20). Cette courbe, réalisée à partir des puissances nominales et minimales de la chaudière, des besoins en chauffage de la serre et de la durée de la période de chauffe, permet de définir le taux de couverture de la chaudière bois (surface en orangé sur la figure ci-dessous).

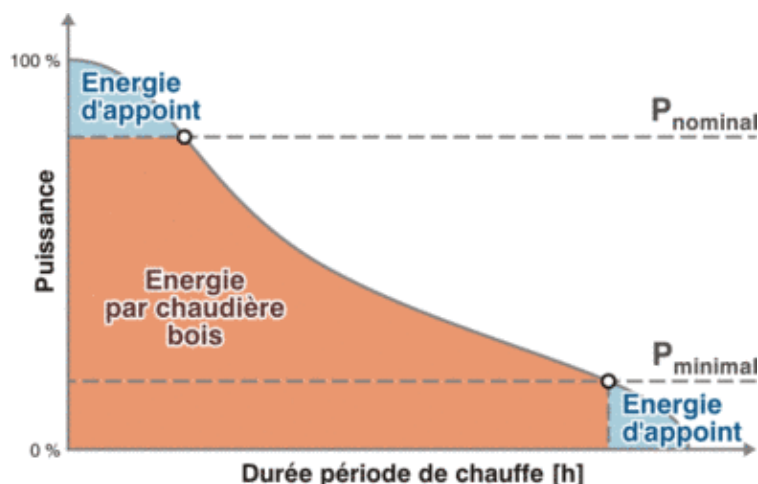


Figure 21 : Exemple de courbe monotone de chauffage

D'une manière générale, le dimensionnement de la chaudière s'établit pour qu'elle couvre 80 % des besoins totaux en chauffage. Pour cela, la puissance optimale de la chaudière se situe entre 50 et 80 % de la puissance maximale des besoins de chauffage. En effet, si la puissance nominale de la chaudière est déterminée sur la base de la puissance maximale demandée en chauffage, elle ne pourra pas couvrir tous les besoins et notamment les plus faibles (fonctionnement pénalisant voire impossible à couvrir à faible charge, besoin d'une couverture des besoins au maximum en « base ») dans des conditions techniques et économiques optimales.

Pour optimiser le dimensionnement de la chaudière, il convient donc de maximiser le taux de couverture : la puissance nominale doit être inférieure à la puissance maximale, ce qui abaisse la puissance minimale qui peut être produite par la chaudière. La chaudière sera ainsi plus à même de produire de la chaleur dans des situations de demande thermique plus modérées. Dans la monotone de chauffage, les pics de puissances qui n'ont lieu que ponctuellement dans l'année (jours de grands froids hivernaux et besoins occasionnels) sont alors exclus de la charge de chauffage de la chaudière bois. La chaudière fonctionnera ainsi à son rendement le plus élevé et donc le plus efficace pour couvrir au moins 80% des besoins en chauffage.

3.3.3.3. Chaudière d'appoint

La chaudière d'appoint, fonctionnant avec une énergie fossile, est généralement la chaudière en place sur l'entreprise qui est conservée après la conversion au bois-énergie. Elle sert à assurer les 20 % de demande en chauffage non couverts par la chaudière bois, mais également de sécurité en cas de rupture d'approvisionnement en bois ou de panne de la chaudière biomasse. Il est plus que recommandé d'avoir en place une chaudière d'appoint de ce type dans le cadre de l'installation d'une chaudière bois. En maraîchage, cette chaudière permet également de pouvoir injecter du CO₂ pour optimiser la photosynthèse et ainsi augmenter le rendement des cultures.

3.3.3.4. Ballon de stockage Open-Buffer

Sur certaines exploitations, il est possible de voir des chaudières dimensionnées à 30 ou 40 % de la puissance maximale. Ce ratio est possible grâce à l'utilisation d'un ballon de stockage de type Open-buffer, qui va venir réguler la production et la distribution de chaleur en fonction des besoins. Dans ce cas, en augmentant le volume du stockage d'eau et en diminuant la puissance de la chaudière, on peut obtenir le même taux de couverture avec une puissance nominale inférieure à 50 %.

Sur le terrain

En maraîchage, la puissance maximale appelée pour chauffer les serres est d'environ 180 W/m² (avec un écran thermique), pour maintenir une température de consigne minimale de 15°C de nuit avec une température extérieure de -7°C, et en prenant en compte la vitesse du vent. La puissance moyenne actuellement installée pour les chaudières bois est de 110 W/m², ce qui représente 60 % de la puissance maximale.

3.3.4. Dimensionnement économique

L'aspect économique est traité intrinsèquement dans chacune des étapes du montage de projet. Tous les choix réalisés au niveau technique prennent en compte les coûts d'investissement par rapport à la capacité financière de l'entreprise. En parallèle, les aides à l'investissement potentielles²⁰ et la capacité d'emprunt sont étudiées. L'ensemble de ces coûts sont donc recensés et évalués. Ils peuvent être classés en différentes catégories :

- le génie civil et l'aménagement du site (accès, clôtures, etc.) ;
- les équipements mécaniques et thermiques (chaudière bois, chaudières d'appoint, ballon de stockage de type Open buffer, etc.) ;
- le réseau, les sous-stations ;
- les études (relevés topographiques, étude de sols, etc.) et les missions (assistance à maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, contrôleur sécurité, coordonnateur sécurité et protection de la santé - SPS)
- les coûts de fonctionnement : approvisionnement, assurance, maintenance, etc.

Un bilan économique global est ensuite dressé, proposant la répartition des coûts d'investissement et de fonctionnement pour le projet bois, comparé à la situation initiale (de référence). Il est alors possible de mesurer le gain économique de la conversion ainsi que la durée de retour sur investissement. Le tableau suivant présente un bilan comparatif entre une exploitation équipée au bois énergie avec la situation de référence à énergie fossile. Un exemple de bilan est proposé dans le tableau 8 ci-dessous.

²⁰ voir partie dédiée au chapitre 5

Tableaux 8 : exemple de bilan technico-économique d'une étude faisabilité pour une entreprise horticole (surface chauffée : 3 500 m²)

C1 : Combustible		Projet chaufferie bois		Chauffage de référence
		Bois	Appoint fioul	Fioul
Besoins annuels en sortie de chauffage	kWh/an	752 624	97 800	815 000
Besoins annuels en entrée chaudière	kWh/an	885 440	108 667	905 556
Pouvoir Calorifique du combustible	kWh/t	3460	11 917	11 917
Consommation annuelle en poids	tonne/an	256	9	76
Consommation annuelle en volume		775 MAP/an	10 728 L/ an	89 398 L/ an
Coût de l'énergie livrée	€ TTC /unité (tonne et Litre)	80	0,74	0,74
Dépense annuelle totale en combustible	€ TTC/an	20 519	7 939	66 155
	€TTC/an/m²	5,86	2,27	18,9

C2 : Consommation électrique chauffage		Projet chaufferie bois		Chauffage de référence
Dépense annuelle totale en électricité	€ TTC/an	2 965	400	750
	€TTC/an/m²	0,84	0,11	0,21

C3 : Entretien		Projet chaufferie bois		Chauffage de référence
Entretien annuel	€ TTC/an	720	250	360
Provision gros entretien	€ TTC/an	3 000	700	900
Dépense annuelle totale en entretien	€ TTC/an	3 720	950	1 260
	€TTC/an/m²	1,06	0,27	0,36

C4 : Amortissement investissement		Projet chaufferie bois		Chauffage de référence
		Sans subvention	Avec subvention	
Coût total de l'investissement	€ HT	211 100	126 660	34 835
	€ HT/m²	60,31	36,19	9,95
Annuités avec 5% d'intérêt et une durée de prêt de 20 ans	€/an	16 939	10 164	2 795

C1, C2, C3 et C4		Projet chaufferie bois		Chauffage de référence
		Sans subvention	Avec subvention	
Coût global	€ TTC /an	53 432	46 657	70 960
	€TTC/an/m²	15,26	13,33	20,27
Coût d'exploitation (sans C4)	€ TTC /an	36 492	36 492	68 165
	€TTC/an/m²	10,42	10,42	19,47

Bilan économique de l'opération		Projet chaufferie bois	
		Sans subvention	Avec subvention
Economie annuelle globale	€ TTC/an	17 528	24 303
	€TTC/an/m²	5	6,94
Economie annuelle d'exploitation	€ TTC/an	31 672	31 672
	€TTC/an/m²	9,04	9,04
Economie totale sur durée d'amortissement	€ TTC	350 568	486 060
	€TTC/an/m²	100,16	138,87
Temps de retour sur amortissement (avec frais financiers)	Années	8,93	5,19
Temps de retour sur amortissement (sans frais financiers)	Années	5,57	3,23

Certains bureaux d'études peuvent proposer une étude économique plus poussée : l'étude paramétrique vise à simuler la variation d'un ou plusieurs facteurs influençant la rentabilité et le temps de retour sur investissement, afin d'obtenir un effet positif sur ceux-ci. Cette méthode part du principe que le contexte économique au moment de la réalisation du projet est amené à évoluer. Il est alors possible de spéculer sur l'augmentation du prix des énergies fossiles ou un meilleur taux d'aide à l'investissement. Les prix du gaz ou du fioul, le prix du bois, le taux de subvention, etc sont ainsi modulés. Après l'étude des différents cas, le bureau d'études retiendra la solution la plus intéressante économiquement, mais également la plus plausible.

A RETENIR

Le coût des chaufferies industrielles au bois est fortement lié à la puissance installée (Figure 21). Les prix moyens pratiqués par les distributeurs présents en France se distinguent selon deux technologies : les chaufferies à bois humide et les chaufferies à bois secs. Ces coûts exprimés HT comprennent : la chaudière, l'alimentation automatique en combustible, le système de décendrage, le silo de stockage, l'aménagement du local chaufferie et les prestations liées à la pose des équipements. Compte tenu de l'évolution du marché ces dernières années, ces prix sont à prendre à titre indicatif mais sont probablement non représentatifs du marché actuel.

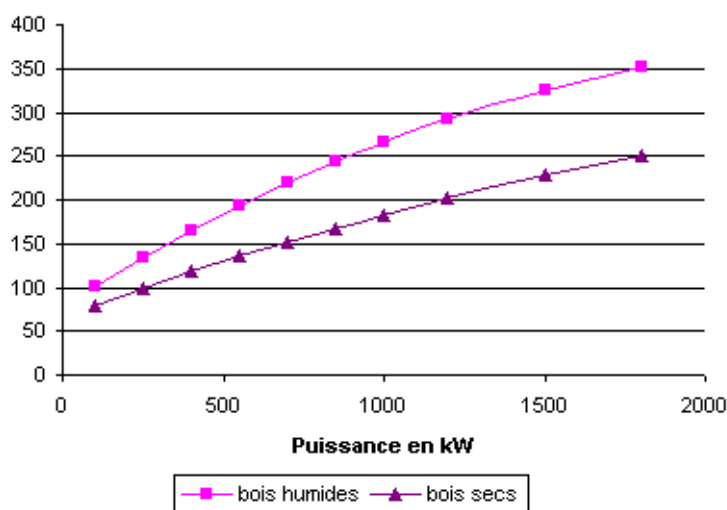


Figure 22 : Evolution du coût d'investissement d'une chaufferie industrielle au bois en fonction de sa puissance (en milliers d'euros HT) Source : Ademe / CTBA - Enquête 2002

Tableau 9 : Coût d'investissement d'une chaufferie au bois en fonction de la puissance et du type de combustible (Source : Ademe/CTBA – Enquête 2002, mise à jour ASTREDHOR 2011)

Gamme de puissance	Bois humides	Bois secs
100 à 500 kW	1100 € HT/kW	850 € HT/kW
500 à 1000 kW	500 € HT/kW	350 € HT/kW
1000 à 2500 kW	350 € HT/kW	240 € HT/kW

3.3.5. Bilan de l'étude de faisabilité

Le bilan reprend l'ensemble des éléments techniques pour définir concrètement le projet d'installation. Les points suivants sont décrits :

- *La solution technique retenue* : proposition suite à l'état des lieux énergétique et au dimensionnement de la chaudière ;
- *Les technologies et matériels utilisés* : Cette partie décrit les équipements annexes à installer : stockage du bois (volume, type de dessileur, etc.), caractéristiques de la chaudière (type de foyer, système de dépoussiérage, système de décendrage, etc.) caractéristiques du système de régulation ;
- *Les équipements hydrauliques retenus* : choix du système de raccordement au réseau existant, mise en place d'un ballon de stockage... ;

- *La description des travaux* : liste les étapes successives de la mise en place et de la construction de la chaudière sur le site ;
- *Approvisionnement en combustible* : point sur le type de combustible envisagé, le volume et le prix au MWh.

L'étude de faisabilité se termine sur l'aspect économique du projet (Tableau 8), fonction de l'ensemble des paramètres techniques vus précédemment. Les études de faisabilité intègrent fréquemment les tonnes d'émissions annuelles de CO₂ et de SO₂ évitées grâce au projet de conversion énergétique. Au terme de cette étude peuvent être engagés les premiers travaux de réalisation.

3.4.Mise en œuvre du projet

Pour la réalisation du projet, une planification doit être réalisée et un suivi de construction est nécessaire. Comme dit précédemment, ce suivi peut être assuré soit par un maître d'œuvre, soit par le producteur lui-même. Avant la mise en route de la chaudière, des essais sont réalisés avec l'installateur. Une formation de quelques jours doit être réalisée par l'installateur pour le personnel qui aura la charge de la gestion de la chaudière.

Une fois la chaudière construite et les travaux réceptionnés, la responsabilité de la conduite, de l'entretien et de la maintenance de l'installation incombe à l'exploitant. Cependant, il peut être judicieux, la première année, de prévoir un suivi de la part du bureau d'études qui a effectué l'étude de faisabilité, du constructeur de la chaudière ou du maître d'œuvre pour éviter les dérives relatives à la qualité de l'approvisionnement ou à l'exploitation de la chaudière.

Un bilan technique et économique annuel doit être réalisé. Il comprend nécessairement le contrôle des quantités de combustibles consommées (bois et énergie d'appoint), le relevé des dysfonctionnements qui ont pu survenir pendant la saison de chauffe, ainsi que l'estimation du prix de revient de la chaleur produite par la chaudière bois. Un cahier de chaufferie peut être proposé localement par l'ADEME ou ses partenaires.

4. L'EXPLOITATION DE LA CHAUFFERIE ET RÉGLEMENTATION

Une réglementation stricte est en vigueur, s'appliquant à divers niveaux : installation, exploitation et entretien des chaufferies. D'une manière générale, la réglementation dépend de la puissance la chaudière installée et du combustible utilisé.

4.1. Réglementation sur les installations de combustion

Au niveau français, les réglementations applicables dépendent de la nature du combustible, de la puissance de l'installation et de sa localisation (installation dans une agglomération de plus ou moins 250 000 habitants), ou encore de son statut (installation neuve ou installation existante).

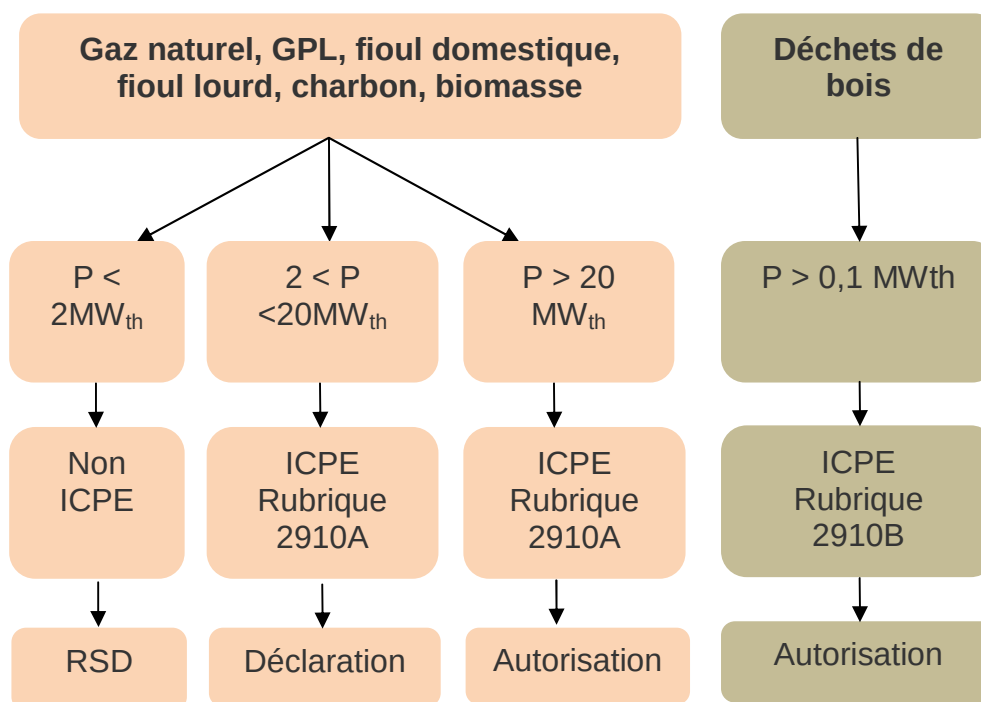


Figure 23 : Résumé de la réglementation française applicable aux installations de combustion. : ajouter en légende (Source : ATEE)

A RETENIR

Pour les déchets de bois, la circulaire du ministère de l'Environnement du 10 avril 2001 modifie la rubrique 2910 afin d'intégrer la définition communautaire de la biomasse : « les déchets de bois, à l'exception des déchets de bois qui sont susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs de bois ou du placement d'un revêtement, y compris en particulier, les déchets de bois de ce type provenant de déchets de construction ou de démolition ».

La réglementation concernant les installations soumises aux rubriques 2910, et notamment la question de la gestion des cendres, doit prochainement évoluer (courant 2011). Nous incitons les lecteurs de ce rapport à vérifier la mise à jour de ces réglementations dès parution de ce rapport²¹, et vérifier la concordance des chiffres annoncés dans ces pages.

²¹ Voir http://www.ineris.fr/aida/?q=consult_doc/consultation/2.250.190.28.8.5255

Les installations de puissance inférieure à 2 MW_{th} ne relèvent que du règlement sanitaire départemental (RSD). Elles sont contrôlées par la DDASS et le maire de la commune d'implantation. Les autres installations font partie des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), sous la rubrique 2910A pour toutes celles qui brûlent du gaz naturel, du GPL, du fioul domestique, du fioul lourd, du charbon ou de la biomasse, ou sous la rubrique 2910B pour celles qui utilisent d'autres combustibles (Figure 22). Pour les installations dont la puissance est comprise entre 2 et 20 MW_{th}, elles doivent faire l'objet d'une déclaration à l'inspection des Installations Classées.

L'installation doit être implantée, réalisée et exploitée conformément aux plans et documents joints à la déclaration, cet ensemble de documents devant être conforme aux requis de l'Arrêté du 27 juillet 1997, modifié par les Arrêtés du 10 août 1998 et du 15 août 2000, qui ont apporté quelques modifications dans les valeurs limites d'émission (VLE). Ces valeurs limites sont exprimées en mg de polluant par « normal mètre cube » (Nm³) de fumées sèches, c'est-à-dire à 0 °C et 101300 Pa, ramenées à 3 % d'oxygène pour les chaudières brûlant des combustibles liquides et gazeux, 6 % pour le charbon et 11 % pour la biomasse.

Tableau 10 : Valeurs Limites d'Emission (VLE) de polluants atmosphériques appliquées aux chaudières selon l'arrêté du 25 juillet 1997 (valeurs exprimées en mg/Nm³) (Source : ATEE)

Polluant ⁽⁵⁾	SO₂	NO_x		Poussières		CO
Puissance (MWth)	Toute puissance	<10	>10	< 4	> 4	Toute puissance
Biomasse⁽¹⁾	200	500	500	150	100 ⁽⁴⁾	250
Combustibles solides⁽²⁾	2000	550	550	150	100 ⁽⁴⁾	Pas de VLE
FOD⁽³⁾	170	200	150	50	50	Pas de VLE
Autres combustibles liquides⁽³⁾	1700	550	500	150	100 ⁽⁴⁾	Pas de VLE
Gaz naturel⁽³⁾	35	150	100	5	5	Pas de VLE
GPL⁽³⁾	5	200	150	5	5	Pas de VLE

⁽¹⁾ : Valeurs exprimées sur fumées sèches à 11 % d'oxygène

⁽²⁾ : Valeurs exprimées sur fumées sèches à 6 % d'oxygène

⁽³⁾ : Valeurs exprimées sur fumées sèches à 3 % d'oxygène

⁽⁴⁾ : 50 si unité installée dans une agglomération de plus de 250000 habitants et puissance supérieure à 10 MWth

⁽⁵⁾ : COVNM réglementés uniquement avec la biomasse – Valeur limite à 50 quelle que soit la puissance de la chaudière.

Dans la rubrique 2910, il est également développé les caractéristiques des éléments composants l'installation de la chaufferie tels que le local chaufferie en lui-même, l'implantation, les hauteurs de cheminée, etc. La réglementation sur l'installation des chaufferies comprend également les textes ci-après :

- **Décret n°74-415 du 13 mai 1974**

Ce décret est relatif à l'équipement et à l'exploitation des installations thermiques en vue de réduire la pollution atmosphérique et d'économiser l'énergie. Il indique le calcul des hauteurs de cheminées et les valeurs des émissions particulières à respecter.

- **Norme EN 303-5**

Ce texte, ratifié en octobre 1998, est applicable en France depuis août 2004. Il concerne les chaudières de chauffage central à chargement manuel ou automatique dont la puissance utile

nominale ne dépasse pas 300 kW et fonctionnant avec des combustibles solides issus de la biomasse ou fossiles. La norme fixe les exigences concernant la construction des matériels (épaisseur des parois, matériaux...), leurs performances (rendement, autonomie, émissions...) et la sécurité (température de parois, étanchéité...). Trois classes de chaudières sont définies en fonction du rendement et des émissions de polluants (monoxyde de carbone, hydrocarbures imbrûlés, poussières). Les méthodes et techniques d'essais sont également précisées, ainsi que des exigences quant à la qualité du combustible (essence, humidité, dimension...).

4.2. Réglementation sur les contrôles périodiques des installations

Selon la puissance la chaudière, les obligations de base sont très différentes selon la catégorie de chaudière : pour les chaudières de 4 à 400 kW, il faut prévoir un entretien annuel dont les conditions sont précisées ci-après. Pour les chaudières dont la puissance est comprise entre 400 et 2000 kW, il faut prévoir un contrôle périodique de l'efficacité énergétique par un organisme accrédité.

4.2.1. Chaudière de 4 à 400 kW

Pour les chaudières de puissance inférieure à 400 kW, le gérant doit faire réaliser un entretien chaque année pour les installations en place, et dans l'année civile en cours pour les nouvelles installations ou en cas de remplacement de chaudière. L'entretien, tel que défini dans le code de l'environnement, doit comprendre la vérification du fonctionnement correct de la chaudière, éventuellement, le nettoyage et le réglage de la chaudière, et la fourniture de conseils en gestion de l'installation.

L'entretien doit être matériellement assuré par un professionnel qualifié. Outre l'assurance des responsabilités civiles en découlant le professionnel chargé de l'entretien doit remettre au commanditaire une attestation du travail effectué. Cette attestation d'entretien doit permettre au commanditaire de justifier que le service a bien eu lieu.

4.2.2. Chaudière de 400 kW à 20 MW

Pour les chaudières puissance comprise entre 400 kW et 20 MW, la réglementation est plus développée. Elle comprend l'obligation d'installer des équipements de mesure, un contrôle périodique de l'installation, un contrôle trimestriel des rendements, la tenue d'un livret de chaufferie.

4.2.2.1. Equipements de mesures obligatoires

Les équipements cités ci-après sont généralement inclus dans l'installation d'une chaufferie bois par un professionnel. Cependant, il est important de rappeler que ces équipements sont obligatoires :

- Un indicateur de température des gaz de combustion à la sortie de chaudière
- Un analyseur des gaz de combustion (CO₂ ou O₂), obligatoirement portatif pour les chaudières de puissance comprise entre 0,4 et 10 MW, automatique dans les autres cas
- Un appareil de mesure de l'indice de noircissement, manuel pour les chaudières de puissance comprise entre 0,4 et 10 MW, en continu dans les autres cas
- Un déprimomètre, indicateur pour les chaudières de puissance comprise entre 0,4 et 2 MW, enregistreur dans les autres cas
- Un indicateur, soit un indicateur d'allure de fonctionnement pour les chaudières de puissance comprise entre 0,4 et 2 MW, soit un indicateur du débit de combustible dans les autres cas
- Un enregistreur de pression de vapeur pour les chaudières de plus de 2 MW
- Un appareil de mesure de la température du fluide caloporteur, indicateur pour les chaudières de puissance comprise entre 0,4 et 2 MW, enregistreur dans les autres cas.

4.2.2.2. Contrôle périodique

A chaque remise en marche de la chaudière, et au moins tous les trois mois pendant la période de fonctionnement, l'exploitant est tenu de calculer le rendement de la chaudière dont il a la charge, et de vérifier les autres éléments permettant d'améliorer l'efficacité énergétique de celle-ci.

L'ensemble de ces données doit être reporté dans le livret de chaufferie. La vérification des autres éléments permettant d'améliorer l'efficacité énergétique, comme l'exige le code de l'environnement, fait l'objet d'un contrôle périodique par un organisme accrédité. (Conditions d'accréditation développées dans l'article R.224-37 du code de l'environnement). Le contrôle doit être réalisé au maximum tous les deux ans, y compris dans les deux premières années d'installation. Il comporte :

- Le calcul du rendement
- La vérification de l'existence et du bon fonctionnement des équipements de mesure indiqués précédemment
- La vérification du bon état des installations de distribution de l'énergie thermique du réseau primaire
- La vérification de la bonne tenue du livret de chaufferie.

4.2.2.3. Livret de chaufferie

Pour toute chaudière dont la puissance est comprise entre 0,4 et 20 MW, l'exploitant doit tenir un livret de chaufferie où seront reportés les rendements calculés lors des remises en marche ou périodiquement (tous les trois mois au moins), et toutes les observations utiles concernant l'efficacité énergétique de l'installation. Chaque contrôle doit donner lieu, par l'organisme accrédité, à l'établissement d'un rapport de contrôle fourni à l'exploitant, mentionnant le résultat des observations du contrôle périodique, et les observations pouvant être faite, à partir du livret de chaufferie, sur l'entretien des chaudières.

L'ensemble de ces obligations sont décrites dans le décret n° 98-833 du 16 septembre 1998 modifié par les décrets n°2007-397 du 22 mars 2007 et n°2009-648/649 du 9 juin 2009.

4.3. Contrôles et maintenance des chaufferies

La gestion d'une chaudière au bois diffère de celle d'une chaudière classique au fioul ou au gaz. En effet, la chaudière bois nécessite au quotidien une surveillance de plusieurs points de contrôle.

4.3.1. Mise en route

Lors de la mise en route de la chaudière, les cycles de fonctionnement doivent être définis en fonction des conditions climatiques souhaitées par le producteur et de la puissance de la chaudière installée. Cette étape n'est pas toujours aisée et demande parfois du temps avant de trouver le bon équilibre. En cas de réglage non adapté, des risques de surchauffe, d'encrassement, de chute de rendement apparaissent, déclenchant les alarmes de sécurité du système dans un premier temps mais pouvant nuire à la pérennité de l'installation si ces problèmes se reproduisent trop fréquemment. L'installateur, le fournisseur ou encore le bureau d'étude peut accompagner le producteur lors de cette étape.

4.3.2. Gestion au quotidien

En période d'utilisation courante de la chaudière (saison de chauffe), une visite quotidienne de l'installation est nécessaire afin de réaliser une maintenance préventive. Cette visite, réalisée par le producteur, vise à s'assurer par un contrôle visuel, que tout fonctionne correctement. Des points de contrôle clefs sont ainsi à vérifier :

- Approvisionnement en combustible : vérifier la qualité du bois, récupérer les éventuels déchets de métaux ou de plastique présents dans le silo.
- Vis sans fin ou du tapis de convoyage : s'assurer du bon déroulement du transfert de combustible du silo jusqu'au foyer. Vérifier ici encore qu'aucun élément métallique ou plastique ne vient gêner ou bloquer la chaîne de convoyage.
- Foyer de combustion : contrôle du fonctionnement de la grille, de la combustion, de la non-accumulation de cendres sous la grille et de mâchefers en bout de grille
- Circuit hydraulique : contrôle de l'absence de fuite sur le circuit et de la bonne pression de la centrale hydraulique.

- Décendrage : automatique pour la majorité des chaudières. Il faut cependant vider le bac de récupération régulièrement.
- Ordinateur de contrôle de la chaudière : vérifier les alarmes et autres avertissements émis par l'ordinateur de suivi.

A RETENIR

La présence de particules de plastique dans le combustible peut non seulement provoquer des risques de blocage mais surtout peut être à l'origine d'une corrosion prématurée des éléments métalliques de la chaufferie. En effet, la combustion du plastique en présence de soufre libère de l'acide sulfurique, très corrosif notamment pour les échangeurs. Il est donc important de bien veiller à avoir un combustible propre de tout élément étranger.

4.3.3. Contrat de maintenance

Les constructeurs de chaudières, les installateurs, les entreprises spécialisées en maintenance, peuvent proposer des contrats de maintenance ou contrat d'exploitation permettant au producteur d'avoir l'assurance d'un suivi technique de leur installation et d'une assistance technique en cas de panne réalisée par des professionnels. Les contrats proposés ont des niveaux de services variables qui respectent une classification standard :

P1 : Approvisionnement en combustible

P2 : Maintenance courante des installations

P3 : Gros entretien et remplacement de pièces

P4 : Changement de chaudière

Les contrats s'adaptent en fonction de l'installation en place, des possibilités techniques et financières du demandeur, et à sa disponibilité en termes de contrôle. Le coût du contrat, sa composition en termes de services ainsi que sa durée seront à définir avec le prestataire.

5. LES AIDES ET MÉCANISMES DE SOUTIEN

Il existe plusieurs dispositifs de soutien à la décision ou à l'investissement pour la conversion du système de chauffage des serres à la biomasse. Ces dispositifs, nationaux ou régionaux, cumulables ou non et présentant des spécificités propres, permettent des niveaux d'aide généralement conséquents. Les coûts d'utilisation de la chaleur renouvelable sont ainsi comparables, voire meilleurs que ceux à partir de combustibles fossiles. Ils ne pourront toutefois pas garantir la pérennité de tous les projets, mais uniquement les plus pertinents, qui intègrent notamment une démarche initiale primordiale d'économies d'énergie.

Pour les exploitations agricoles, l'investissement dans une chaufferie biomasse peut être soutenu financièrement, à ce jour, au travers de deux principaux dispositifs publics : la Circulaire Serres, aide nationale réservée à la construction ou l'aménagement de serres maraîchères et horticoles, et le Fonds Chaleur Renouvelable. Ce chapitre présente les dispositifs permettant de financer la mise en place de chaufferies biomasse, mais également les aides disponibles pour l'équipement général des serres et les économies d'énergie, préalable nécessaire à tout investissement en énergies renouvelables.

Que ce soit pour le dispositif, régional ou national, et quel que soit l'avancement de la réflexion ou du montage du projet, il est toujours primordial de contacter les organismes de soutien (chambres d'agriculture, instituts techniques, fédérations professionnelles et ADEME) pour présenter votre projet et étudier les moyens de le soutenir. Le cumul des dispositifs étant possible dans de nombreux cas, il est toujours pertinent de questionner les différents organismes qui les gèrent pour optimiser son plan de financement.

5.1. Soutiens aux investissements

5.1.1. Aides publiques

5.1.1.1. Le Fonds Chaleur Renouvelable

Le Fonds Chaleur Renouvelable (FCR) est un dispositif d'aide national mis en œuvre dans le cadre du Grenelle de l'Environnement en décembre 2008, afin de développer la production de chaleur à partir de sources renouvelables comme la biomasse, le biogaz, la géothermie ou le solaire. Ce fonds contribue aux objectifs du [paquet européen climat-énergie](#) visant à porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation énergétique nationale d'ici 2020, soit une production supplémentaire de 20 Mtep/an. La moitié de cet objectif, soit 10 Mtep/an, correspond à la production de chaleur. Concernant en particulier la biomasse, le FCR doit permettre le développement de 3,8 Mtep/an supplémentaires en 2020, en proposant des subventions garantissant un coût de l'énergie issue de biomasse inférieur d'au moins 5 % à celui issu de la chaleur à partir de combustibles fossiles. Géré par l'ADEME, le FCR est doté d'un milliard d'euros pour la période 2009-2011. L'ensemble des éléments utiles concernant le dispositif FCR est disponible sur le site www.ademe.fr/fondschaleur/.

Qui peut bénéficier de la subvention ?

Le FCR concerne les entreprises (industrie, agriculture et tertiaire privé), les collectivités et l'habitat collectif. Les projets concernant les installations biomasse de grande taille (production de chaleur biomasse annuelle supérieure à 1 000 tep/an²², sont gérés dans le cadre d'un appel à projets national « BCIAT » (Biomasse Chaleur Industrie Agriculture Tertiaire), lancé à l'automne chaque année depuis 2009. Les autres projets de taille inférieure sont gérés au niveau régional par les directions régionales de l'ADEME en synergie avec les Régions. En 2010, 31 projets BCIAT ont été sélectionnés, produisant un total de 197 500 tep/an.

²² soit 11 630 MWh/an, équivalent de 4 ha de serres maraîchères environ avec hypothèse de consommation de 300 kWh/an.m²

Comment déposer un dossier ?

Le producteur doit tout d'abord estimer la production de chaleur visée à partir de biomasse, afin de déterminer le mode d'instruction adapté : appel à projet national si la production annuelle est supérieure à 1 000 tep/an, ou instruction directe au niveau régional pour les productions inférieures, accessible toute l'année sans contrainte de calendrier. Quel que soit le dispositif concerné, les dossiers sont disponibles sur le site internet du Fonds Chaleur.

Le déroulement de l'appel à projets national comprend 4 échéances principales :

- Dépôt du plan d'approvisionnement en biomasse en préfecture de Région ;
- Dépôt des dossiers de candidatures à l'ADEME ;
- Envoi à l'ADEME de la copie de l'avis du préfet ;
- Analyse des projets par l'ADEME et diffusion des résultats.

Quels sont les investissements éligibles ?

Le dispositif concerne uniquement les installations neuves. Le renouvellement d'installations est éligible si la production est inférieure à 1 000 tep/an, et seulement si l'installation précédente n'a pas bénéficié d'aide de l'ADEME. Au-delà de 1 000 tep/an, l'éligibilité dépend des différences de puissance et de production éventuelles.

L'éligibilité au FCR exige également le recours à des systèmes performants de dépoussiérage des fumées. Les dossiers déposés hors BCIAT devront comporter des installations dont la valeur maximale d'émissions de poussières sera inférieure ou égale à 50 mg/Nm³ à 11 % d'O₂ (les exigences peuvent être plus sévères selon les zones).

A RETENIR

Le conditionnement des aides du Fonds Chaleur Renouvelable évolue chaque année. Nous incitons les lecteurs de ce rapport à consulter les conditions et méthode de calcul des aides mises à jour sur le site de l'ADEME afin de vérifier la cohérence des chiffres annoncés dans ces pages.

Selon la puissance thermique maximale de l'installation de combustion, le BCIAT 2011 exige un niveau d'émission de poussières en deçà des seuils réglementaires (30 mg/Nm³ à 11 % d'O₂ pour les puissances inférieures à 20 MW, hors cas spécifiques). Les nouvelles exigences environnementales sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 11 : VLE de poussières exigées pour le Fonds Chaleur Renouvelable

Puissance totale	Valeur limite d'émission de poussières exigée
< 20 MW	30 mg/Nm ³ à 11 % d'O ₂ (soit 45 mg/Nm ³ à 6 % d'O ₂) Cas spécifique ²³ : 20 mg/Nm ³ à 11% d'O ₂ (soit 30 mg/Nm ³ à 6% d'O ₂)
De 20 à 50 MW	20 mg/Nm ³ à 11 % d'O ₂ (soit 30 mg/Nm ³ à 6 % d'O ₂)
> 50 MW	13,3 mg/Nm ³ à 11 % d'O ₂ (soit 20 mg/Nm ³ à 6 % d'O ₂)

Un taux minimal de plaquettes forestières de 50 % est obligatoire pour les projets déposés au BCIAT (un plan d'approvisionnement sera produit conformément à l'outil ADEME "plan d'approvisionnement"), et de 20 % (taux défini régionalement, généralisation prochainement

²³ Le cas spécifique s'applique lorsque l'implantation du projet est prévu dans : une zone où un dépassement de la valeur limite réglementaire journalière ou annuelle pour les PM₁₀ (particules de taille inférieure à 10 µm) dans l'air ambiant a été enregistré au cours des 3 dernières années, au sens de la Directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe ou dans une zone où se trouve un Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), et à terme, dans les zones sensibles au sens du décret d'application de la loi Grenelle 2 portant application des Schémas Régionaux Climat Air Energie.

prévue pour un taux minimal à 50%) pour les projets de 100 à 1 000 tep/an (une note concernant l'approvisionnement sera produite).

Seuls les équipements associés à la production d'énergie thermique à partir de biomasse, dont la commande est postérieure à la date de publication des résultats de l'appel à projet sont éligibles. Sont compris les frais associés aux équipements suivants : générateur de chaleur biomasse, silo de stockage, réseau de chaleur, système d'alimentation automatique, bâtiment chaufferie, installations électrique et hydraulique associées au générateur, traitement des fumées. Sont notamment exclues les dépenses liées aux opérations suivantes : achat de terrain, études réglementaires (ICPE), dossiers administratifs, équipements de mise aux normes réglementaires.

Au cours des dix premières années, les bénéficiaires de l'aide doivent réaliser un rapport annuel démontrant la conformité au plan d'approvisionnement et donnant la production réelle de chaleur mesurée au compteur. Ceci implique la mise en place d'un système de comptage de la production thermique à la sortie de la chaudière, cet investissement étant à la charge du candidat bénéficiaire.

Comment l'aide est-elle délivrée ?

Une partie de l'aide est délivrée au démarrage du projet. L'autre partie est versée sur 5 ans en fonction de la production thermique réelle relevée au niveau du compteur de calories.

- **BCIAT :**
 - o 1^{er} versement à la notification ;
 - o Versements annuels en fonction de la production réelle de chaleur renouvelable.
- **Hors BCIAT :**
 - o 1^{er} versement à la notification ;
 - o 2^{ème} versement à la réception de l'installation ;
 - o Solde de 20 % sur présentation des résultats de production réelle de chaleur de la première année ou des 2 premières années d'exploitation (selon la taille de l'installation).

Quel est le taux de subvention ?

L'aide totale est la somme de l'aide à la production d'énergie thermique (chaufferie) et de l'aide au réseau (comprenant la tuyauterie, les sous-stations, la régulation et le comptage). Selon le dossier, le producteur fait lui-même une demande de taux de subvention dans la limite des taux de financement autorisés. Pour indication, le taux d'aide moyen des 31 projets retenus à l'appel à projet BCIAT en 2009 était de 41 %, soit une moyenne de 417 €/tep. Pour les projets hors BCIAT, la moyenne est de 870 €/tep. Le montant estimatif de l'aide est le produit des tep EnR sortie chaudière par un montant défini dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 12 : Aides du Fonds Chaleur en fonction de la production énergétique

Gamme de production énergétique en tep/an biomasse sortie chaudière	Aide en € / tep biomasse sortie chaudière (calcul de l'aide par addition des tranches)
0 à 250 tep (0 à 1 ha)²⁴	1100
250 à 500 tep (1 à 2 ha)³	
500 à 1000 tep (2 à 4 ha)³	600
> 1000 tep (> 4 ha)³	Appel à projets BCIAT

Le tableau suivant présente deux exemples de situation d'investissement en chaufferie biomasse ayant bénéficié du FCR.

²⁴ Surface équivalente de serre en prenant une consommation énergétique moyenne annuelle de 300 kWh/m², indicatif.

Tableau 13 : Exemples de bilans économiques avec simulation des aides du FCR

Exemples	Ex. 1	Ex. 2
Puissance bois (MW)	1,5	4
Besoins thermiques totaux (MWh)	3 500	15 000
Taux de couverture bois	80 %	80 %
Besoins couverts par le bois (MWh)	2 800	12 000
Production sortie chaudière (tep)	241	1147
Investissement total (€ HT)	750 000 €	2 300 000 €
Simulation aide Fonds Chaleur	265 000 €	AAP
Taux d'aide	37 %	BCIAT

Le tableau suivant présente à titre indicatif le bilan des appels à projets 2009 et 2010.

Tableau 14 : Bilans des appels à projets BCIA (2008-2009) et BCIAT (2009-2010) du Fonds Chaleur²⁵

Appel à projets BCIA 2008-2009	Appel à projets BCIAT 2009 – 2010
Objectif fixé : production énergétique totale à partir de biomasse de 100 000 tep	Objectif fixé : production énergétique totale à partir de biomasse de 175 000 tep
Objectif de production thermique totale dépassé avec 140 500 tep	Objectif de production thermique totale dépassé avec 226 055 tep
Nombre de projets retenus : 28 sur 37 déposés	Nombre de projets retenus : 37 sur 61 déposés
Projets en cours de réalisation : 14 en phase de construction et 4 prêts à démarrer d'ici fin 2010	Total des investissements : 201M€
Total des investissements : 141,9M€	Budget d'aide totale : 91M€
Budget d'aide totale : 58M€	Puissance biomasse totale : 420MWth
Puissance biomasse totale : 297MWth	Emissions de CO ₂ évitées par an : plus de 681 000 tonnes
Emissions de CO ₂ évitées par an : 405 700 tonnes	

Quels sont les délais ?

Le calendrier de l'appel à projet du BCIAT est publié chaque année. Celui de l'appel à projet de 2011 est présenté ci-dessous à titre indicatif.

Calendrier Appel à projets BCIAT 2011

Dates	Etapes
01/09/2010	Lancement de l'appel à projets
01/02/2011	Date limite d'envoi des plans d'approvisionnement aux préfectures
01/02/2011	Date limite d'envoi des dossiers de candidature complets à l'ADEME
31/03/2011	Date limite d'envoi par les préfectures de l'avis sur le plan d'approvisionnement
15/04/2011	Date limite d'envoi de la copie de l'avis du préfet de Région par le candidat à l'ADEME
01/07/2011	Présentation des résultats - Engagement des contrats avec les partenaires retenus
01/08/2013	Date limite de mise en service des installations
01/02/2014	Date limite du déclenchement du comptage de la chaleur

²⁵ Voir [dossier de presse Fonds Chaleur mars 2011](#)

Le Fonds Chaleur est-il compatible avec d'autres dispositifs d'aides ?

Les projets éligibles au Fonds Chaleur peuvent également recevoir des aides complémentaires des Conseils Régionaux et parfois des aides européennes du FEDER, si ces aides complémentaires ont été prévues dans le cadre des conventions régionales. Le taux maximal d'aides publiques peut atteindre 40 % du coût d'investissement du projet selon les règles européennes. Cependant, les Conseils Régionaux établissent leur propre plafond d'aides maximales d'aides publiques.

Actuellement, les subventions de l'ADEME, ou gérées par l'ADEME comme le Fonds Chaleur, ne sont pas compatibles avec les Certificats d'Economies d'Energie (CEE) (voir 5.1.2). L'ADEME demande au bénéficiaire de s'engager à ne pas vendre de CEE relatifs à ces investissements subventionnés.

5.1.1.2. Les aides à l'investissement des Directions Régionales ADEME

Avant l'instauration du Fonds Chaleur en 2009, les directions régionales de l'ADEME finançaient des projets d'investissement en biomasse. Les projets de production de chaleur biomasse inférieurs à 100 tep/an peuvent encore être financés par les directions régionales sous réserve de la pertinence du projet et de l'existence de moyens budgétaires régionaux (voir plaquette d'information en Alsace pour exemple en annexe 9.7). Ces fonds sont également compatibles avec des compléments nationaux (Circulaire relative aux aides à la construction ou l'aménagement de serres maraîchères et horticoles) ou locaux complétés des aides européennes (Conseil Régional, Conseil Général, FEADER, FEDER), mais pas avec les CEE.

5.1.1.3. Aides de FranceAgriMer relatives aux aides à la construction ou l'aménagement de serres maraîchères et horticoles

Dans le cadre du Plan de modernisation 2007-2013 des exploitations maraîchères, horticoles et des pépinières, un nouveau dispositif d'accompagnement a été mis en place par FranceAgriMer.

Adopté par les Conseils spécialisés du 21 septembre 2011 pour les produits de l'horticulture florale et ornementale et du 13 octobre 2011 pour les fruits et légumes et productions spécialisées, ces nouveaux dispositifs s'inscrivent dans la continuité des circulaires de 2008 connues sous le nom de "Circulaire serres".

Quels sont ces nouveaux dispositifs ?

Au travers de la mise en oeuvre d'un programme de financement de certains investissements de modernisation du parc de serres, ces dispositifs ont pour objectifs :

- d'améliorer l'efficacité énergétique ;
- de favoriser la substitution énergétique au profit de sources d'énergies plus compétitives ;
- de permettre les économies d'eau ;
- de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires.

Ces mesures s'appuient désormais sur une procédure d'appel à candidatures, propre à chaque filière.

FranceAgriMer a lancé le 15 octobre 2011, le premier appel à candidatures dans le secteur de l'horticulture ornementale²⁶.

Concernant la filière maraîchère, un appel à candidatures sera très prochainement lancé par FranceAgriMer auprès des exploitants agricoles produisant sous serre des tomates, concombres, poivrons, piments, aubergines, radis, salades (laitue, mâche, chicorée, jeunes pousses...), fraises, ainsi qu'auprès des producteurs de plants maraîchers vendus à des entreprises agricoles, en agriculture conventionnelle ou biologique.

²⁶ voir <http://www.franceagrimer.fr/Projet-02/09presse/index9107.htm>

Les décisions AIDES/SAND/D 2011-47 du 10 octobre et AIDES/SAN/D 2011-51 du 19 octobre relatives aux conditions de ce nouveau dispositif d'accompagnement de la modernisation des serres sont parues au bulletin officiel du ministère de l'Agriculture. Elles sont consultables en ligne sur le site internet de FranceAgriMer²⁷.

5.1.1.4. Le Plan Végétal pour l'Environnement (PVE)

Le PVE (Plan Végétal pour l'Environnement) est un dispositif d'aides de l'Etat français complété par des aides européennes, destiné à accompagner le financement d'actions permettant de répondre aux exigences environnementales pour la période 2007-2013. Il répond donc aux obligations inscrites dans les directives européennes sur la qualité de l'eau et aux engagements du Grenelle de l'Environnement sur la réduction de 50 % de pesticides, si possible. Il intervient également sur les mesures en faveur du maintien de la biodiversité, et l'accompagnement des investissements liés aux économies d'énergie dans les serres déjà existantes au 31 décembre 2005. En 2009, le PVE était doté d'une autorisation d'engagement de 13 millions d'euros (soit 4 fois plus qu'en 2006).

Le PVE est comptabilisé au titre des CPER. Sa gestion est régionalisée : les crédits sont mis à disposition des DREAL (notification des crédits par le Ministère de l'Agriculture auprès des préfets de région). C'est le préfet de région qui définit et fixe les priorités locales d'intervention ainsi que les conditions d'éligibilité, les montants subventionnables et les taux de financement, en concertation avec l'ensemble des financeurs du PVE. D'autres financeurs, comme les collectivités locales (Conseils Régionaux et Généraux), peuvent intervenir dans le cadre de ce plan.

Qui peut bénéficier de la subvention ?

Tout agriculteur en production végétale – hors surfaces en herbe – à titre individuel ou dans un cadre sociétaire (capital social détenu majoritairement par des personnes physiques dont l'activité principale concerne une activité agricole). Les maraîchers, horticulteurs et pépiniéristes sont ainsi éligibles. Sont également concernées les démarches d'investissement collectif, telles que les CUMA. Les SAS, les sociétés en participation et les sociétés de fait, les indivisions et les GIE ne sont pas éligibles. Consulter la région pour connaître les conditions d'éligibilité particulières. Seuls les serristes, maraîchers ou horticoles, peuvent prétendre au volet Energie du PVE. Des critères de priorité sont définis en fonction des enjeux environnementaux et de la nature des investissements. Les économies d'énergie dans les serres existantes sont situées au premier rang de cet ordre de priorité.

Comment déposer un dossier ?

L'intéressé doit contacter sa DDT. Les dossiers sont sélectionnés par appel à projets.

Quels investissements sont éligibles sur le volet énergie serristes ?

Les dossiers éligibles sont pris en compte selon leur rang de priorité et dans la limite des enveloppes budgétaires de l'année, sans qu'une file d'attente soit constituée. Différentes actions peuvent donner lieu à un financement PVE. En ce qui concerne les économies d'énergie dans les serres existantes au 31 décembre 2005, les priorités d'actions sont définies au niveau local. En général, elles incluent les actions décrites dans le

Tableau 15 : description des actions éligibles au PVE.

A noter que seuls sont éligibles les investissements dont le commencement d'exécution est postérieur à la date d'engagement juridique de la subvention. Les équipements d'occasion ainsi que les équipements en copropriété ne sont pas éligibles.

Quel est le taux de subvention ?

Le taux de subvention dépend de l'existence ou non d'un co-financement européen (FEADER). Le taux d'intervention est fixé par le comité de pilotage régional du PVE selon les actions. Toutefois, le

²⁷ http://www.franceagrimer.fr/Projet-02/06reglements/index612.htm#regDD-fil_Hort

taux maximum d'aide publique tous financeurs ne peut dépasser 40 % (ce taux est parfois porté à 50 % pour les Jeunes Agriculteurs).

Quels sont les plafonds ?

Le montant minimum des investissements éligibles est de 4 000 €. Les montants d'investissements maximum éligibles sont plafonnés à :

- 30 000 € pour les exploitations agricoles,
- 100 000 € pour les CUMA,
- 150 000 € pour les investissements d'économie d'énergie dans les serres.

Pour les GAEC, le montant maximum par exploitation peut être multiplié par le nombre d'exploitations regroupées dans la limite de 3. Des plafonds peuvent être définis dans le cadre du comité de pilotage régional.

Tableau 15 : description des actions éligibles au PVE

	Types d'action	Exemples
Economies d'énergie dans les serres existantes au 31 décembre 2005	Système de régulation	Logiciel d'intégration des températures
	Ballon de stockage de type Open Buffer	
	Ecrans thermiques	
	Aménagement des serres	Couverture économe en énergie (double paroi gonflable plastique, en polycarbonate ou en plexiglas)
		Compartimentation (mise en place de paroi rigide ou souple et mobile ou non à l'intérieur de serres)
	Aménagement de la chaufferie	Mise en place d'un condenseur
		Calorifugeage du réseau en chaufferie
	Réseau de chauffage « basse température »	

Quels sont les délais ?

Une seule subvention pour une période de 3 ans est accordée pour une même exploitation. Les dates de dépôt de dossier et les délais de réponse par les services de la DDT divergent d'un département à un autre. Il convient en amont du projet de prendre contact avec la DDT. Certains restent particuliers :

- Pour le cas de l'énergie dans les serres existantes au 31 décembre 2005 :
Une même exploitation pourra bénéficier de 2 aides sur la période : une au titre de l'enjeu économie d'énergie et une aide au titre des autres enjeux.
- Pour les JA :
Après l'installation d'un Jeune Agriculteur sur une exploitation ayant déjà bénéficié d'une aide PVE, l'exploitation pourra à nouveau solliciter une aide PVE.
- Pour les GAEC :
Lorsqu'un nouvel associé intègre avec une nouvelle exploitation un GAEC ayant déjà bénéficié d'une aide au titre du PVE, une nouvelle demande pourra être présentée sous réserve que le GAEC ainsi constitué ne compte pas plus de 3 exploitations et que le nouvel associé n'ait pas déjà bénéficié d'une aide PVE sur son exploitation.

Pour bénéficier des aides du PVE, le demandeur ne doit pas commencer les travaux avant la date de la décision attributive de subvention. A compter de cette date, il dispose d'un an pour commencer les travaux, et de 2 ans pour les achever.

Le Plan Végétal Environnement est-il compatible avec d'autres dispositifs d'aides ?

Les Conseils Régionaux et Généraux peuvent accompagner les aides du PVE pour atteindre les 40 % d'aides publiques maximales sur un ou plusieurs postes ou enjeux du PVE. En revanche, le PVE bénéficiant sur le plan national de fonds européens, les projets ne peuvent recevoir de FEADER en complément. La DDT joue le rôle de guichet unique pour les dossiers PVE.

5.1.2. Les Certificats d'Economies d'Energie²⁸

Le dispositif des Certificats d'Economies d'Energie (CEE) a été créé en 2005 dans le cadre de la loi POPE (loi de Programme fixant les Orientations de la Politique Energétique), qui prévoit de réduire l'intensité énergétique finale de 2 % par an d'ici 2015, et de 2,5 % par an d'ici 2030. Il s'agit d'un dispositif complémentaire au mécanisme international des quotas de CO₂ imposés aux grandes entreprises. Le premier plan a été mis en place sur la période juillet 2006 - juillet 2009. Une seconde et une troisième période triennale sont également programmées, la seconde ayant débuté au 1er janvier 2011.

Principe

L'Etat français impose aux fournisseurs d'énergie et de carburant, devenant ainsi des « obligés », de réaliser des économies d'énergie sur leur propre parc ou d'en faire réaliser aux consommateurs, c'est-à-dire à des particuliers, des collectivités et des entreprises. Les économies d'énergie sont mesurées en kWh « cumac », l'unité de compte du dispositif, correspondant aux économies d'énergie réalisées par la mise en place d'un dispositif, **cumulées** sur la durée de vie de l'installation, et pondéré par un coefficient d'**actualisation** de 4 %.

Les objectifs globaux sont définis par l'Etat pour chaque période d'application (pour la 1^{ère} période : 54 TWh cumac, pour la 2^{nde} période : 345 TWh cumac). Les obligés ont un niveau individuel d'obligation, fonction de leurs ventes d'énergie ou de carburant, qui se traduit par un montant global de certificats à présenter à la fin de chaque période. S'ils ne parviennent pas à atteindre leur obligation, ils devront s'acquitter d'une pénalité auprès de l'Etat de 20 €/ MWh cumac.

Quels équipements sont éligibles aux CEE ?

Suite aux travaux des Instituts Techniques Astredhor et Ctifl et des syndicats professionnels agricoles, les serristes disposent actuellement (juillet 2011) de cinq équipements éligibles au dispositif :

- le ballon de stockage de type « Open buffer »
- le ballon de stockage « classique »
- l'ordinateur climatique avec intégration des températures
- Moto-variateur synchrone à aimants permanents
- Système de variation électronique de vitesse sur un moteur asynchrone

On parle d'**opérations standardisées**, celles-ci étant suffisamment génériques pour pouvoir identifier une valeur moyenne des gains générés par leur installation. La liste des opérations standardisées est publiée par arrêtés spécifiant le nombre de kWh cumac que génère chaque investissement. La liste de ces opérations standardisées évolue régulièrement, ce qui permet d'ajouter des équipements supplémentaires lorsque les données du parc et des performances générées sont connues. Si un producteur réalise l'un de ces investissements, il peut donc négocier un avantage financier auprès d'un « obligé », sous certaines conditions (implication de l'obligé en amont de l'investissement, délai entre l'investissement et le dépôt de certificat, etc.).

Les **chaufferies biomasse**, les équipements liés aux groupes de production de froid pour la conservation, les double-écrans thermiques et les pompes à chaleur sont les prochaines fiches

²⁸ Pour en savoir plus : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Certificats-d-economies-d-energie,188-.html>

d'opérations standardisées programmées pour les arrêtés suivants. La liste actualisée des opérations standardisées est disponible sur le site du ministère de l'énergie²⁹.

Quel montant la vente de CEE peut-elle générer ?

Le montant dépend du type d'équipement, de la surface concernée et du prix du marché, mais avant tout de la qualité de la négociation. A titre d'exemple pour 1ha de serre chauffée, le Tableau 16 : Prix de référence des CEE pour des opérations en serres résume les prix de référence des CEE.

Comment déposer un dossier ?

La négociation s'effectue en amont de l'investissement, en direct auprès d'un obligé, fournisseur d'énergie ou distributeur de carburant, ou d'un organisme « éligible »³⁰. Les producteurs doivent établir un partenariat de financement avec le fournisseur d'énergie **avant** le début de la réalisation des travaux et ont pour obligation de démontrer le « rôle moteur » qu'a joué l'obligé ou l'éligible. En général, ce dernier monte lui-même le dossier administratif. Une fois le prix de vente négocié, celui-ci proposera un contrat de vente à signer.

Tableau 16 : Prix de référence des CEE pour des opérations en serres

Opération standardisée	Nombre de kWh cumac délivré par le CEE	Référence pour un prix du CEE à 3€ ³¹ /MWh
Serre maraîchère		
Ballon de stockage de type Open Buffer	3,4 GWh cumac	10 200 €
Ordinateur climatique avec intégration des températures	1,4 GWh cumac	4 200 €
Serre Horticole		
Ordinateur climatique avec intégration des températures	710 MWh cumac	2 130 €
Ballon d'eau chaude « classique »	1 700 MWh cumac	5 100 €

Avant tout projet de valorisation d'une opération d'investissement dans des équipements éligibles aux CEE, il est conseillé de prendre contact et se renseigner auprès des représentants des filières, OP ou AOPn, des conseillers énergie locaux ou régionaux (ADEME, chambres d'agriculture...) afin de voir les actions en cours, les accords éventuellement déjà élaborés entre les filières professionnelles et les acteurs du dispositif. La négociation directe avec un acteur (obligé ou éligible) demande en effet une bonne maîtrise des pratiques et un recul sur les contraintes du dispositif qui nécessite un certain temps.

Le CEE est-il compatible avec les dispositifs d'aides publiques ?

Le CEE n'est pas une aide publique, il est donc imposable. Il n'y a pas de notion de plafond ou de montant maximum. Les CEE sont donc cumulables avec les aides publiques, sauf si cela est mentionné dans la circulaire. Actuellement, seuls les équipements pour lesquels des subventions de l'ADEME ont été reçues ne peuvent faire l'objet d'un dépôt de CEE. Inversement, tout investissement faisant l'objet d'un dépôt de CEE ne pourra obtenir d'aide de l'ADEME.

5.2. Aides à la décision

Il existe des aides de l'ADEME et/ou des Régions, indépendamment du Fonds Chaleur Renouvelable qui concerne les investissements, permettant de financer jusqu'à 70 % des études de faisabilité pour le bois-énergie, ou des diagnostics et pré-diagnostics énergétiques. La demande est à faire auprès des directions régionales de l'ADEME. En parallèle de ces aides

²⁹ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/6-le-secteur-de-l-agriculture.html>

³⁰ Organisme qui peut déposer des certificats, mais n'ayant aucune obligation. Ce sont pour la 2ème période 2011-2014 les collectivités publiques, les bailleurs sociaux et l'agence de l'habitat (ANAH).

³¹ Prix indicatif, moyenne constatée sur le marché.

financières, ces relais vous accompagneront et vous conseilleront sur les actions possibles pour mieux maîtriser l'énergie dans votre exploitation.

Dans le cadre de la circulaire relative aux aides à la construction ou l'aménagement de serres maraîchères et horticoles, FranceAgriMer exige pour tous les projets de construction et d'aménagement des serres prévoyant la mise en place d'une chaufferie, que le demandeur réalise un audit énergétique préalable. L'audit doit apporter les éléments technico-économiques permettant d'expliquer le choix énergétique. Ce dernier doit également démontrer la rentabilité économique du projet. Cet audit est financé à 50 % par FranceAgriMer dans la limite de 6000 €HT.

6. RETOURS D'EXPÉRIENCE DU BOIS-ÉNERGIE DANS LES SERRES

Dans le cadre de cette étude, il était indispensable de venir compléter les informations bibliographiques sur les dispositifs de chauffage au bois adaptés aux serres agricoles par des retours d'expérience de chefs d'entreprises ayant déjà pu expérimenter cette énergie alternative. Le recensement préliminaire nécessaire pour cette tâche a permis de dénombrer une cinquantaine de producteurs chauffant leurs serres avec de la biomasse pour chacune des filières maraîchère et horticole. La plupart des investissements ont été effectués au cours des 5 dernières années. Certains d'entre eux ont accepté de répondre à un questionnaire, ce qui nous a permis de mieux connaître comment l'utilisation de bois pour le chauffage des serres se développe aujourd'hui en France, et de mieux cerner les opportunités et les contraintes de ce choix.

6.1. Méthodologie de l'étude

Un questionnaire d'enquête a été établi sur les bases de la méthodologie mise en œuvre dans le cadre de l'étude « Utilisation Rationnelle de l'Energie dans les Serres », réalisée en 2006 pour le compte de l'ADEME (Grisey et al., 2007)³². En effet, le questionnaire de 2006 abordait, de façon exhaustive, les modalités de chauffage, de ventilation et d'économies d'énergie dans les serres. Ces premières questions permettent ainsi de dresser un profil des besoins de chauffage et d'utilisation globale de l'énergie au sein de l'exploitation. Des questions spécifiques relatives au passage au bois énergie ont alors été rajoutées selon 4 grands axes :

- La comparaison avant/après l'installation de la chaudière bois : conséquences techniques, économies réalisées, nouvelles contraintes ;
- Le lancement du projet : accompagnement technique, motivations, freins, délais et difficultés ;
- Le bilan financier de l'opération : soutiens financiers, coût global, économies annuelles en énergie et retour sur investissement ;
- L'approvisionnement en bois : circuit et fournisseurs, prix, qualité et glissement d'une source biomasse à une autre.

Un important travail de recensement a été réalisé au sein des différents organismes participant à l'étude, se basant sur différentes sources : projets connus par les organismes professionnels et techniques, entreprises commercialisant les chaudières bois, dossiers de demande de cofinancement public, consultation des chambres d'agriculture et d'Internet. Néanmoins, notre recensement ne peut être exhaustif et nous pouvons supposer que d'autres chaudières bois alimentant des serres (notamment de plus petites tailles en horticulture ornementale) n'ont pas été inventoriées pour cette étude.

Tous les serristes de nos listes de recensement ont été sollicités par mail ou par courrier, voire par relance téléphonique, avec pour objectif d'obtenir un échantillon représentatif. Nous avons obtenu 8 réponses complètes et 6 partielles de la part des producteurs de légumes, ainsi que 8 réponses complètes et 13 partielles en horticulture ornementale. La répartition des répondants est assez représentative sur le plan géographique :

- en maraîchage : 4 dans le Finistère, 3 dans la Loire-Atlantique, 2 dans les Bouches-du-Rhône et dans le Lot-et-Garonne, 1 dans l'Ardèche, dans la Loire et dans la Marne.
- en horticulture : 2 réponses maximum par département.

Certains maraîchers et horticulteurs ont été interrogés sur leur lieu de travail, d'autres ont répondu par écrit au questionnaire, mais la plupart d'entre eux ont préféré répondre à nos questions par téléphone. Les enquêtes orales ont laissé une large place aux questions ouvertes afin de bien cerner la satisfaction des interrogés, leurs craintes notamment quant à leur choix d'approvisionnement et leurs recommandations pour leurs collègues serristes qui souhaiteraient investir dans cette énergie renouvelable. Les informations ainsi recueillies ont été retranscrites

³² Etude téléchargeable sur le site de l'ADEME

6.2. Installation d'une chaudière bois : un réel intérêt économique

La plupart des producteurs décident d'installer une chaudière bois avant tout pour des raisons économiques, le prix du gaz ou du fioul étant devenu trop élevé. Certains mentionnent également une raison environnementale, par convictions et/ou pour l'image plus écologique que leur permet d'acquérir la chaudière bois. L'autonomie vis-à-vis des énergies fossiles et l'approvisionnement local sont deux autres motifs ayant été cités par les producteurs, de manière à améliorer leur lisibilité pour les années à venir. En anticipant la hausse du prix des énergies fossiles, certains producteurs ont perçu le passage au bois comme une nouvelle piste pour regagner en compétitivité et se placer sur des marchés à forte concurrence internationale, comme dans le cas de la fleur coupée. Une partie des serristes a bénéficié d'opportunités d'approvisionnement, dans des régions boisées ou au travers d'entreprises locales fournissant de la biomasse à un prix bon marché, ce qui les a poussés à se convertir.

6.3. Découverte d'un nouveau métier : la gestion du bois

L'installation d'une chaudière bois demande de faire un choix de matériel et de combustible, d'acquérir des connaissances techniques par rapport au fonctionnement de la chaudière et de s'intéresser à la logistique pour apprendre à organiser l'approvisionnement, ou encore à négocier les prix du bois auprès des fournisseurs.

6.3.1. La biomasse utilisée

Le type de combustible utilisé dépend des opportunités d'approvisionnement présentes dans la région, sur le marché local. Le type de bois le plus largement utilisé par les serristes est le bois de rebut, qui regroupe des produits en bois "en fin de vie" ou usagés, comme le bois issus des chantiers de démolition, les déchets bois industriels et objets divers, les emballages (palettes, cagettes, caisses), etc. Toutefois, certains ont choisi de la biomasse issue directement des forêts, telles que la sciure, les copeaux, les granulés, ou encore les plaquettes forestières, souvent plus propres et pratiques que le bois de rebut, mais plus chères. La granulométrie est un facteur important pour la qualité de combustion des plaquettes. Lorsque les plaquettes sont trop grandes, ils perdent en qualité de combustion. A l'inverse, lorsque les plaquettes sont trop petites, elles génèrent de la poussière.

Les horticulteurs disposant d'une chaudière biomasse à air pulsé utilisent des bûches ou des granulés. Certains producteurs mélangent différents types de bois. Les mélanges peuvent contenir, par exemple, 1/3 de palettes broyées, 1/3 de bois verts et 1/3 de plaquettes, ou 2/3 de plaquettes et 1/3 de palettes broyées. La difficulté réside dans la bonne connaissance du taux d'humidité de chaque type de produit et dans l'ajustement du dosage qui permettra d'abaisser les coûts d'approvisionnements, tout en bénéficiant de conditions optimales de fonctionnement, sans contraintes de panne ou de mâchefer supplémentaires.

Le bois extrait du criblage de compost³³ est également utilisé, mais demande une extrême vigilance quant à la qualité de son traitement et du mélange de combustion, car il est en général assez humide et couvert de terre. Par ailleurs, parmi les opportunités d'installation d'une chaudière biomasse, outre la situation géographique intéressante dans une région boisée, on trouve des situations originales comme la récupération de déchets bois non traités issus de la fabrication de poteaux utilisés sur le réseau électrique et de communication. Autre exemple original, un des serristes a réussi à organiser son approvisionnement essentiellement autour de bois vert issu de branchage ou d'arbres taillés par les collectivités et entrepreneurs du paysage dans les espaces verts des villes, chez des particuliers, le long des canaux, etc.

Dans des cas également particuliers, au-delà du bois, d'autres sortes de biomasse, telles que la paille ou les noyaux de fruits, permettent aujourd'hui à des producteurs de chauffer leurs serres.

³³ Bois accumulé dans les déchetteries par les collectivités, écarté du fait de sa taille trop importante pour être digéré au sein d'un compost.

Par ailleurs, la plupart des producteurs disposent d'une source secondaire d'énergie, le plus souvent au gaz naturel, et plus rarement au fioul ou au butane. Néanmoins, certains serristes, par soucis d'économie, ne disposent pas de source d'énergie secondaire ou de secours.

La consommation de bois est d'environ 100 tonnes pour 1000 m², avec un large écart-type de 40-200 tonnes selon la consommation énergétique du site, le type de bois, la qualité des matériaux et leur taux d'humidité. Il existe une certaine confusion sur le terrain entre les différentes dénominations des biomasses. Lorsqu'un serriste évoque un approvisionnement 100 % en plaquettes forestières, on se rend parfois compte en interrogeant son fournisseur qu'il s'agit de plaquettes issues pour partie de bois de forêt broyé et séché, mais également de branchage et de bois de taille qui ont été stockés puis séchés.

6.3.2. Les équipements

En ce qui concerne les équipements, la majorité des maraîchers ne dispose pour l'instant que d'une seule chaudière bois, mais plusieurs ont prévu d'investir prochainement dans une seconde installation. L'ensemble des horticulteurs interrogés n'a qu'une seule chaudière bois, qui sert de système de chauffage principal. Les chaudières sont le plus souvent achetées neuves, d'une puissance thermique variant de 300 à 2500 kW en horticulture et de 1,9 à 4 MW en maraîchage (le seuil de 4 MW est très certainement lié au fait qu'il faut un système de filtration des fumées plus coûteux au-delà, voir partie 4.1). Leur rendement nominal diffère selon l'installation, il se situe le plus souvent entre 80 et 95 %.

Les puissances installées sont en moyenne de 1,1 MW/ha de serres en maraîchage, celles-ci pouvant varier entre 0,2 et 2 MW/ha d'une installation à une autre. En général, la puissance par hectare diminue lorsque la surface de serres chauffées augmente. En horticulture, la moyenne se situe également à 1,1 MW/ha. Pour les chaudières biomasse à air pulsé, il faut compter une puissance bien inférieure, de l'ordre de 30 à 50 kW pour 1 000 m².

Tableau 17 : Répartition des puissances selon les surfaces et les équipements en horticulture ornementale

Tranche de surface de serres	Chaudière biomasse reliée à un réseau hydraulique			Chaudière biomasse à air pulsé
	> 1 ha	Environ 0,5 ha	Moyenne	
Puissance (MW/ha)	1,5	0,6 à 0,9	1,1	0,3 à 0,5

De nombreux producteurs ont évoqué la difficulté d'évaluer la puissance de la chaudière couplée à la capacité de stockage de l'eau. Certains ont été contraints d'aménager leur chaudière pour augmenter légèrement la puissance. En définitive, il convient de sous-dimensionner sa chaudière (en fonction de ses besoins annuels de chauffage) tout en prenant garde, néanmoins, à ce que les études intègrent bien les besoins de chauffage lors de journées à fortes amplitudes thermiques, et les rendements réels qui ne correspondent pas toujours à ceux indiqués par les vendeurs de chaudières.

Le passage au bois demande parfois aux serristes de développer un second métier dans la recherche du bois et de son stockage. Certains ont décidé d'investir dans des camions de récupération, des machines de broyage, l'emploi de chauffeurs, etc. Par exemple, une entreprise enquêtée possédant 5 000 m² de serres engage 7 500 € de frais annuels pour la collecte de bois, pour 1 camion et 2 bennes, le carburant et la main d'œuvre. Le bois est obtenu gratuitement mais il faut par la suite comptabiliser des coûts de transport, de broyage, etc.

D'après les producteurs, 2 types d'investissements sont indispensables suite à l'installation d'une chaudière bois :

- Un ballon de stockage d'eau chaude (de type Open-buffer ou autre) et un ordinateur climatique pour optimiser les économies d'énergie ;
- Un espace pour gérer l'approvisionnement et stocker le bois.

Le ballon de stockage d'eau chaude de type Open-buffer permet d'optimiser l'utilisation de la chaudière à son rendement maximum, en prenant en compte sa forte inertie thermique et en anticipant le remplissage et vidage du ballon en fonction des conditions météorologiques. Le coût du ballon et du système hydraulique, lorsqu'il n'existe pas avant le passage au bois, est aussi important que la chaudière bois en elle-même. Il faut compter environ 200 m³ de ballon de stockage par hectare de serres, de manière à assurer une autonomie suffisante et une bonne gestion des périodes de chauffage. Il est généralement conseillé de surdimensionner le ballon de stockage de type Open-buffer.

Le tapis de convoyage coûte environ 2 fois plus cher qu'une vis sans fin pour l'acheminement du bois entre le silo de stockage et le foyer de la chaudière. Il permet, en revanche, d'acheminer tous types de combustibles et limite donc les problèmes d'usage. La vis sans fin ne tolère aucun déchet dans le bois (métaux notamment) sous peine de rester bloquée.

Un certain nombre de serristes regrettent de ne pas avoir investi dans un compteur de calories pour calculer la production thermique en sortie de chaudière. Cet équipement coûte entre 5 et 10000 €, mais permet une meilleure gestion de son stock de bois et de ses achats. Il peut également être relié à l'ordinateur climatique pour faciliter une gestion optimisée et synchrone du climat des serres et de la chaufferie bois.

6.3.3. Les différences techniques par rapport à une chaudière à énergie fossile

En comparaison avec les chaudières au gaz, les chaudières bois demandent une fréquence d'entretien importante, variant d'une fois par jour à une fois par mois selon le producteur interrogé. Le chauffage au bois impose une surveillance quotidienne, voire plusieurs fois par jour et par nuit en période de chauffe, pour anticiper d'éventuels problèmes mécaniques ou de combustion. Les coûts d'entretien sont très variables d'une entreprise à une autre en fonction de la catégorie de chaudière, des matières brûlées et des prestataires présents dans la région. Un ramonage coûte environ 2 000 à 3 000 €. La majorité des serristes réalisent eux-mêmes cette opération annuelle, voire pluriannuelle.

Il est recommandé de décendre régulièrement la chaudière, en fonction de la capacité du foyer, du volume de bois consommé et de l'acidité des bois utilisés. Cette opération, parfois automatisée, prend entre 2 et 3 heures par semaine pour une exploitation consommant entre 1000 et 1500 tonnes de bois par an et s'effectue pendant la période de chauffage. Les foyers des chaudières sont complètement vidés et nettoyés, avec un arrêt de chauffage au bois d'une journée et un fonctionnement sur la réserve d'eau chaude. Il faut compter 1 m³ de cendres pour 100 tonnes de plaquettes bois. Ces cendres sont parfois mélangées avec le compost de l'entreprise ou étalées sur des surfaces agricoles voisines pour amender les sols, mais elles sont le plus souvent stockées pour une mise en décharge, notamment lorsqu'elles proviennent de la combustion de bois de rebut.

En ce qui concerne la qualité sanitaire des cultures sous serres, peu de modifications ont été notées suite à l'installation des chaudières bois. Seul un producteur a mentionné la présence de plus de poussière sur le site. Ceux qui utilisaient du fioul lourd auparavant ont signalé une amélioration. Les serristes qui chauffent leurs serres avec des chaudières biomasse à air pulsé, certes en minorité, sont très vigilants quand aux rejets de fumées chaudes avec braises sur les serres plastiques et aux éventuels dommages sur les cultures.

En maraîchage, au niveau du rendement de la chaudière, Nathalie Binda, productrice de tomates dans le Lot-et-Garonne, a noté qu'il est possible d'obtenir un bon rendement à condition que le bois soit propre et peu humide (conseil préconisé généralement par les professionnels et conseillers spécialisés dans le chauffage par la biomasse). La conduite culturale n'a en général pas été modifiée. Quant à la gestion climatique, très peu de modifications ont été signalées, mis à part le niveau de déshumidification qui est parfois plus important après l'installation de la chaudière bois.

En horticulture ornementale, la conduite culturale n'a majoritairement pas évolué suite au passage au bois. Parfois, les économies réalisées sur le chauffage ont permis une augmentation de la surface chauffée et donc du chiffre d'affaires, ou une augmentation de température pour des plantes un peu plus précoces sur une partie de la gamme, ou encore l'introduction à la gamme de nouvelles variétés.

6.4. Une réelle opportunité économique

Le tableau ci-dessous contient quelques références technico-économiques résultant de l'analyse des retours d'enquête.

Tableau 18 : Références technico-économiques du chauffage des serres par le bois

	Maraîchage	Horticulture
Surfaces chauffées : moyenne [mini et maxi observés] (ha)	4,5 [2,3 – 15]	[0,4 – 2]
Consommation moyenne de bois par an (t/ha)	1000	1000
Puissance moyenne des chaudières (kW/ha)	1100	1150
Prix moyen du bois (€/m ²)	4	3,84
Coûts d'investissement : moyenne [mini et maxi observés] (€/m ²)	24 [9,1 – 34,8]	37 [7 – 135]
% moyen de financement public	35 %	35 %
Temps moyen de retour sur investissement (années)	7	10

6.4.1. L'étude de faisabilité

La majorité des producteurs réalisent une étude de faisabilité en amont de l'investissement. Cette étude, obligatoire dans le cadre de la circulaire relative aux aides à la construction ou l'aménagement de serres maraîchères et horticoles, a parfois été subventionnée par l'ADEME, ou réalisée gratuitement par l'association Atlanbois dans le cas des maraîchers des Pays de la Loire. Une étude de faisabilité coûte en moyenne environ 5 000 € HT pour un hectare de serre, dont 50 % en moyenne sont pris en charge par l'ADEME. Dans les années 2003-2005, l'ADEME accompagnait les entreprises dans leur transition vers le bois énergie et acceptait que l'entreprise ne réalise pas d'audit. L'étude de faisabilité est désormais obligatoire, et de toute évidence indispensable. Les producteurs qui ont fait appel à leur chauffagiste ou au vendeur de chaudière pour réaliser leur étude de faisabilité regrettent ce choix : leur approche manque d'impartialité et la chaudière biomasse appliquée au chauffage des serres est parfois mal abordée, notamment dans le dimensionnement du projet.

6.4.2. Le coût d'investissement

Le coût investi dans le projet d'installation d'une chaudière bois est variable, dépendant du type de chaudière et des aménagements mis en place. Les études de faisabilité donnent parfois des retours sur investissement de l'ordre de 25 à 30 ans, réduits à moins de 10 ans si on intègre les aides à l'investissement et surtout un paramétrage relatif aux évolutions à moyen et long terme des énergies fossiles.

En maraîchage, l'investissement est de l'ordre de 1 M€ pour une chaudière d'une puissance proche des 3 MW et un besoin énergétique moyen de 300 kWh/m²/an. Un projet de chaudière biomasse en horticulture ornementale coûte entre 400 000 et 600 000 € pour une puissance de 1,5 MW et entre 250 000 et 400 000 € pour une puissance de 500 kW. Ces coûts diffèrent d'une entreprise à une autre selon le niveau d'auto-construction, notamment du bâtiment abritant la chaudière, du stockage et du réseau hydraulique. La chaudière bois représente environ 1/3 du coût global du projet, qui varie selon les marques, les équipements connexes et surtout la capacité de la chaudière à brûler un large spectre de catégories et de calibres de bois.

Nous avons constaté un coût d'investissement rapporté à la surface plus élevé dans les

entreprises horticoles (Tableau 18 : Références technico-économiques du chauffage des serres par le bois). Ceci s'explique essentiellement par les écarts de surfaces chauffées sur ces deux secteurs agricoles. En effet, on vérifie ici les économies d'échelle réalisées sur de plus grandes surfaces. Néanmoins, des chaufferies bois existent pour des exploitations horticoles de petite taille (4200 à 7500 m²) avec des retours sur investissement encore acceptables (moins de 15 ans), des économies non négligeables et des chefs d'entreprise satisfaits de leur nouvel équipement. **Les études de faisabilité, les recherches de solutions techniques simples et peu coûteuses et l'analyse du projet sont donc d'autant plus nécessaires pour les horticulteurs.** La surface moyenne chauffée dans ce secteur est d'environ 3 900 m² avec 57 % des entreprises horticoles détenant moins de 2 500 m² chauffés (Grisey et al., 2007). Il convient de noter que ce coût d'investissement diminue fortement à environ 7 €/m², soit environ 30 000 € pour 4 500 m² de serres chauffées pour l'installation de chaudières biomasse à air pulsé.

6.4.3. Les aides et mécanismes de soutien

La plupart des maraîchers interrogés ont bénéficié d'aides de l'ADEME et du Conseil Régional, permettant de financer en général environ 35 % du montant total du projet de chaudière bois. En horticulture, on observe de fortes disparités d'une région à une autre : 11 à 13 % au minimum, et 60 % au maximum, le plafond maximal d'aide publique. Ce plafond peut être atteint lorsque le projet est éligible aux aides de l'ADEME, aux dispositifs nationaux de modernisation de l'agriculture et aux plans de soutien de l'agriculture des Conseils Généraux et Régionaux. Le retour sur investissement envisagé lors du montage du dossier est le plus souvent de 7 ans pour les maraîchers et de 10 ans pour les horticulteurs. Les augmentations constatées des prix du bois ces dernières années ont rallongé la durée d'amortissement de l'équipement pour quelques producteurs.

6.4.4. Les coûts de fonctionnement : maintenance et approvisionnement

L'entretien d'une chaudière bois demande du temps, une réorganisation du travail et des investissements plus ou moins conséquents au niveau de la main-d'œuvre, variables selon le type de bois consommé (d'après les producteurs interrogés, entre 3 000 à 35 000 € par an). Certains producteurs ont décidé d'embaucher du personnel spécialisé pour l'entretien de la chaudière, d'autres y consacrent eux-mêmes du temps. Il faut pouvoir assurer la maintenance de la chaudière (nettoyage et mécanique lourde), et intervenir lorsque les alarmes se déclenchent, de jour comme de nuit. En effet, on constate généralement de nombreux dysfonctionnements et alarmes durant les 2 à 3 premières années de mise en place de la chaufferie, tant que les approvisionnements, la mécanique de chauffe et les paramètres des alarmes ne sont pas complètement maîtrisés.

Selon Jean Thireau, producteur de concombres et de tomates dans la région des Pays de la Loire, ce surcroît de travail représente 2 à 3 heures d'activité par jour et par chaudière, soit presque l'équivalent d'une personne à mi-temps. Un autre producteur considère qu'il faut compter 2 heures de travail de maintenance par jour, quand il n'y a pas de pannes. *« Il faut avoir la main bricoleuse, savoir souder, couper, meuler, etc. On peut avoir du personnel compétent le jour, mais le problème, c'est qu'il faut également pouvoir gérer les pannes qui ont lieu la nuit ».*

Les producteurs qui brûlent des plaquettes forestières ont moins de problèmes que ceux utilisant du bois de rebut, celui-ci étant souvent moins propre et pouvant contenir des résidus métalliques. Les producteurs utilisant du bois de rebut surveillent quotidiennement leur tas de broyat. Un des ces producteurs évalue à environ 1 ETP cette charge de travail, répartie pour moitié entre le chef d'entreprise et le chef de culture. Nathalie Binda, productrice de tomates dans le Lot-et Garonne, utilisait du bois de rebut dans sa chaudière. Il y a un an est demi, elle a décidé de passer aux plaquettes forestières : *« le bois de rebut était trop sale et nous avions de gros soucis avec notre chaudière, les plaquettes sont un peu plus humides mais posent beaucoup moins de problèmes ».*

Bien que le coût d'entretien de la chaudière soit au minimum multiplié par trois suite à l'installation

du bois, cette augmentation est largement compensée par une diminution du coût de l'énergie. Cette diminution est très variable selon les installations, les régions et le coût énergétique de départ, mais tous les producteurs s'accordent sur le fait que le bois énergie présente un réel intérêt économique. Certains d'entre eux ont réussi à diviser leur coût de chauffage par 2, voire même par 3 à 5. Pour de nombreux serristes, les sciures et les déchets de bois sont récoltés gratuitement. Néanmoins, pour analyser les données, il convient bien de rajouter les frais de collecte, de broyage et parfois de séchage au coût du bois.

Enfin, bon nombre de producteurs ont été contraints de gérer seuls la maintenance et la mise en route de leur chaudière, parfois même l'installation de la chaudière, du fait de la disparition économique de la société commercialisant la chaudière. **La plus grande prudence doit ainsi être observée quant à la viabilité économique du fournisseur de chaudière.**

6.5. Craintes sur l'approvisionnement à long terme

6.5.1. Le bois, une ressource abondante ?

Le bois est une ressource abondamment présente sur le territoire français (voir partie 1). Sa mobilisation massive nécessite toutefois un effort d'organisation, de logistique et d'introduction de nouveaux équipements qui se révèle difficile pour un secteur très atomisé tel que l'agriculture. Les acteurs amont fédérateurs, comme la Coopération Forestière, les sociétés d'approvisionnements ou l'Office National des Forêts, jouent un rôle clé dans sa structuration » (De Cherisey et al., 2007).

D'après Gwenaél Postec, manager de l'entreprise Ecovolta et intervenant auprès de France Bois Forêt et de la Fédération Nationale du Bois sur les sujets bois-énergie et économies de carbone, 75 % des forêts françaises sont privées et appartiennent à un grand nombre de propriétaires. Cette forêt n'est pas toujours bien exploitée, non seulement en raison du morcellement de la propriété forestière, mais également à cause des coûts de récolte et de mise sur le marché parfois supérieurs aux revenus escomptés. Pour mobiliser plus de biomasse, il faudrait donc inciter ou obliger les propriétaires à exploiter leurs forêts. Le bois qui serait alors potentiellement disponible aujourd'hui dans les forêts correspond essentiellement à des plaquettes forestières. Ces dernières étant aujourd'hui plus chères que le bois de rebut (palettes, déchets d'emballages en bois, etc.) ou que les produits connexes des scieries, elles sont encore peu utilisées par les serristes. « *A l'avenir, le prix moyen du bois-énergie augmentera probablement pour s'aligner autour d'un prix de l'ordre de 55 à 60 €/t, contre 20 à 45 €/t aujourd'hui. L'utilisation de bois-énergie sera donc une solution à étudier au niveau du contexte local, intéressante pour les serristes à condition qu'ils soient installés dans un environnement boisé, à proximité d'un fournisseur de plaquettes forestières, d'une scierie pouvant leur fournir des déchets issus de la transformation primaire du bois (copeaux, plaquettes de scierie, écorces broyées, sciure, etc.), ou qu'ils soient installés à proximité d'un site industriel où ils puissent s'approvisionner en palettes et autres déchets en bois non souillés* ».

La mobilisation efficace de ces ressources forestières est un enjeu évident pour l'atteinte des objectifs nationaux sur le développement de la chaleur d'origine renouvelable. C'est pourquoi les soutiens publics existent pour l'installation d'équipements, mais également sur des expérimentations et projets pilotes de mobilisation de la biomasse, comme en Franche-Comté (programme avec l'URACOFOR, animation de la filière, etc) et en Auvergne (Projet Pilote de Mobilisation de la Biomasse en Auvergne).

6.5.2. La crainte des producteurs : le prix et l'approvisionnement

La plupart des producteurs ont des inquiétudes par rapport à leur approvisionnement en bois à long terme. Il y aurait, selon eux, beaucoup de profit à la clé pour les fournisseurs, et un risque important d'augmentation du prix du bois. De plus, il existe aujourd'hui un fort engouement autour du bois-énergie, que ce soit pour des raisons écologiques ou économiques, et de nombreux projets se mettent actuellement en place au niveau des industries et des collectivités, parmi lesquels de grandes installations subventionnées par la Commission de Régulation de l'Energie

(CRE). Ces autres projets ayant des contraintes économiques différentes, *« elles peuvent se permettre de payer la tonne de bois au moins deux fois plus chère qu'un serriste »*. Tous ces projets de grande envergure font donc craindre des problèmes au niveau de l'approvisionnement local, si la filière ne se développe pas assez vite en amont.

Selon Gwenaél Postec, la France est extrêmement fournie en bois et il reste 40 % des produits de la forêt à exploiter. De plus, la forêt française augmente de 100 millions de m³ par an, ce qui correspond à environ 65 Mt par an. Toutefois, *« si le prix des énergies fossiles augmente beaucoup, il y aura une incitation économique très forte, et il est clair que les 32 projets de cogénération biomasse qui ont été retenus dans l'appel à projet de la CRE3, et qui représentent 244 MWe, consommeront de l'ordre de 1,5 millions de tonnes de bois. Sachant que le CRE4 va être lancé d'ici peu, je confirme que la pression sur la ressource bois de forêt va être forte, voire très forte dans les prochaines années si une action forte pour mobiliser plus de bois n'est pas mise en œuvre »*.

Les prix du bois ont déjà fortement augmenté dans plusieurs régions dont Provence-Alpes-Côte-d'Azur, du fait, selon les serristes, de la création de nombreuses chaufferies bois par des entreprises et des collectivités, notamment pour des lycées. Ces établissements reçoivent des cofinancements publics de l'ordre de 80 %, ce qui leur permet d'extérioriser les frais d'entretien et de maintenance. Ils ont donc la possibilité d'acheter le bois à un tarif plus élevé. En effet, la cohabitation avec des projets qui consomment une quantité importante de biomasse crée une tension sur l'approvisionnement qui s'accompagne d'une augmentation des tarifs. Cette nouvelle mobilisation du bois provoque ainsi une remise en cause de plus en plus fréquente de la rentabilité des projets bois des horticulteurs et des producteurs de légumes. Par exemple, il est rapporté que dans le Nord de la France, des lycées achètent de très gros volumes à 90 €/t alors que ce même bois sec est acheté à 38 €/t par des serristes.

Le nombre de fournisseurs par producteur est assez variable, souvent plus élevé lorsque le producteur utilise essentiellement du bois comme source d'énergie, ce qui est d'ailleurs assez rare. En effet, la plupart des exploitants disposent d'une chaudière de secours fonctionnant au gaz ou au fioul. Ils prennent ainsi moins de risques et peuvent se permettre d'avoir un nombre réduit de fournisseurs en bois. En général, le bois consommé provient d'un gisement situé à moins de 50 km du site de production car le prix du bois augmente fortement lorsque la ressource n'est pas achetée localement, le coût du transport étant très élevé.

Pour faire face aux problèmes d'approvisionnement, Benjamin Merland, producteur de tomates sous serres en Ardèche, a décidé de se charger lui-même de la collecte des débris de bois auprès de menuiseries et de déchetteries (moyennant rémunération), du broyage et du transport du bois. Ce système lui permet à la fois d'obtenir un coût direct du bois proche de 0 € et d'être le plus autonome possible par rapport à son stockage. En effet, le maintien d'un stock équivalent à plus d'un mois de consommation de bois lui confère une certaine sécurité en lui permettant d'éviter le revirement vers les énergies fossiles en cas de problème d'approvisionnement. La principale crainte de Benjamin Merland en termes d'approvisionnement est liée à la multiplication des chaudières bois dans plusieurs communes de sa région, ce qui entraîne une raréfaction de la disponibilité du combustible et une fragilisation des approvisionnements.

Les producteurs qui disposent de sciures gratuites sont généralement implantés près de massifs forestiers où des entreprises de transformation du bois sont présentes. Cependant, la localisation dans un département boisé n'implique pas automatiquement un approvisionnement gratuit et abondant des sciures. Les serristes chauffant avec des sciures sont tous inquiets quant à l'évolution du prix de cette denrée. En effet, un producteur de Dordogne collectait gratuitement la sciure et les écorces dans les scieries de la région lors de la mise en place de sa chaudière. D'autres chaufferies ont vu le jour et ont collecté cette sciure. En 2008, la sciure s'achetait à 4,5€/m³ et au 1^{er} janvier 2011, le prix est passé à 12 €/m³. L'approvisionnement en plaquettes dans ce département est réalisé par une entreprise belge qui achète le bois à 15 €/m³ et le revend avec une marge significative aux particuliers. Le basculement de la sciure vers la plaquette bois n'est donc pas réalisable. Malgré l'amortissement de la chaudière depuis 1981, le chef d'entreprise estime que le prix de la sciure est désormais comparable au prix du gaz naturel. Une des trois

chaudières au bois a déjà été arrêtée, un projet sur un quatrième site a été également abandonné en 2009, et le producteur envisage d'arrêter prochainement toutes ses chaudières au bois si le cours du bois reste aussi élevé. Pour faire face à cette situation, d'autres combustibles ont été envisagés : le marc de raisin (considéré trop humide), les déchets verts (également trop d'humidité), les rafles de maïs (brûlent trop rapidement et font fondre les grilles). Une autre entreprise d'Aquitaine a également constaté une hausse de 23 % du coût des sciures passant de 11 €/m³ en 2009 à 13,5 €/m³ mi 2010. M. Gardet, horticulteur dans la Loire, a investi en 1978 dans une chaudière qui brûlait de la sciure gratuite afin de gagner en compétitivité. Cette sciure est devenue payante pour atteindre 6,75 €/m³ en 2000 soit, à l'époque, un coût équivalent au prix du fioul. Il a ainsi investi dans une chaudière polycombustible afin de brûler différentes catégories de bois non traités. Si les écorces qu'il utilise devaient doubler pour atteindre 2,5 €/t, il devrait trouver une autre source de biomasse.

Les producteurs qui récupèrent leurs sciures gratuitement auprès de plusieurs fournisseurs ont reçu des prévisions de hausse des prix de la sciure pour 2011/2012 dans différentes régions de France. Cette situation laisse présager que la sciure ne pourra plus être utilisée par les entreprises agricoles au profit notamment des collectivités. En Ardèche, la crise économique de 2009 a entraîné la disparition de plusieurs scieries et a donc réduit l'offre. Des commerçants de bois du Nord de la France proposent ainsi aux scieries ardéchoises une valorisation à 5 €/m³. Une usine qui fabrique des plaquettes pour une exportation en-dehors du département leur propose leurs déchets à 2,5 €/m³ mais la granulométrie n'est pas satisfaisante, avec des grains trop fins ou trop gros. On observe même une très grande variabilité de prix sur un seul produit et dans un département : les plaquettes dans le département de l'Oise s'achètent entre 35 et 43 € la tonne selon le fournisseur et la qualité. Une hausse de 40 % a été constatée pour l'achat de palettes en janvier 2011 chez un fournisseur. La limite maximale pour Emmanuel Vecten, horticulteur dans l'Oise, serait 50 €/t de palettes.

6.5.3. Des positions et stratégies qui diffèrent

D'après Jean Thireau, maraîcher en Loire Atlantique, l'augmentation du prix du bois sera moins problématique pour les maraîchers qui auront déjà amorti leur matériel, et le bois leur permettra toujours de pouvoir mieux négocier le prix du gaz. Emmanuel Vecten confirme ces propos en précisant que le marché du bois est beaucoup plus tendu et difficile pour un serriste qui souhaiterait se convertir actuellement. L'expérience facilite grandement la négociation dans l'achat de la biomasse.

En Bretagne, les 9 serristes acheteurs de bois appartenant à l'organisation de producteurs Savéol se sont regroupés pour faire un appel d'offre structuré, sécuriser l'approvisionnement en quantité comme en qualité, et ainsi optimiser et pérenniser leurs installations. Toutefois, certains d'entre eux ont tout de même des craintes vis-à-vis de l'approvisionnement futur de leur chaudière : *« les contrats ne sont pas fiables, la filière s'organise trop doucement, et le prix du bois n'est plus intéressant s'il provient d'une autre région. Ma sécurité est de pouvoir me convertir au charbon si le prix du bois augmente trop »*, commente l'un d'entre eux. Un autre producteur, plus serein, explique : *« peut-être aurons-nous plus de problèmes dans 5 ans, car à terme le bois pourrait devenir une nouvelle bulle spéculative. Mais nous sommes des clients privilégiés pour les fournisseurs car nous consommons du bois toute l'année. Nous entretenons avec eux un lien privilégié et une bonne entente : s'ils ont besoin d'évacuer leurs plates-formes en urgence nous pouvons recevoir leur bois sur nos espaces de stockage »*.

Tableau 19 : Recensement des prix du bois sur la période 2010-début 2011 par producteur

Catégorie de bois	Plaquettes					
Prix € HT/m ³ ou /t	88 €/t	52 €/t	80 €/t	40 €/t	35 à 45 €/t	15 à 22 €/t
Coût au m ² en € HT	3,6	5,6	/	6,5	3,4	/

Catégorie de bois	Déchets verts	Sciure			Sciure et plaquettes	Ecorces non traitées
Prix € HT/m ³ ou /t	0*	18 €/t	13,5 €/m ³	0*	12 €/m ³	1,5 €/t
Coût au m ² en € HT	0*	6	7,4	0*	8,3	4

Catégorie de bois	Bois de rebut					
Prix € HT/m ³ ou /t	30 €/t	33,6 €/t	0*	35 €/t	/	10 €/t
Coût au m ² en € HT	/	3,6	0*	2,3	7	0,6

Catégorie de bois	Bois de rebut		Mélange bois rebut sciure copeaux
Prix € HT/m ³ ou /t	69 €/t	38 €/t	0*
Coût au m ² en € HT	6	3	0*

**Le coût apparaît nul ici lorsque le bois est gratuit, mais il ne tient pas compte des coûts de récupération, de broyage, stockage et d'amortissement, ces derniers pouvant être compensés dans certains cas lorsque le producteur est payé pour récupérer le bois.*

Pour sécuriser leur approvisionnement, les producteurs signent des contrats avec leurs fournisseurs sur du long terme. Un horticulteur installé dans le Sud-Ouest est parvenu à négocier, avant la mise en place de sa chaudière bois, un contrat de 10 ans pour un tarif fixe sur le bois comptant pour 75 % sur le prix du bois livré, et un tarif indexé sur le cours du pétrole pour les frais de livraison par camion comptant pour 25 % sur le prix du bois livré. La durée du contrat permet de couvrir la durée des prêts et sécurise ainsi le prix de l'énergie sur 10 ans, jusqu'à l'amortissement de la chaufferie bois. Un serriste de Bourgogne pense, quant à lui, que l'offre est loin d'être structurée et que les ressources dans sa région seront mieux exploitées et exportées à l'extérieur par une filière qui se développe et se structure, pour atteindre peut-être un équilibre entre l'offre et la demande. Il a entièrement délégué à un fournisseur ses besoins en qualité et en volume, qui s'est adapté pour lui fournir le bois au meilleur prix.

Afin de faire baisser le prix des plaquettes, notamment en limitant le nombre de livraisons du fournisseur, une entreprise a investi dans un hangar de stockage avec ventilation en plus du silo. Les plaquettes arrivent à 35 % d'humidité et sont brûlées à 20 %. Ainsi, le prix négocié se situe entre 23 et 17 €/kWh. L'investissement, plus élevé, nécessite une emprise au sol relativement importante.

Les établissements Lecompte dans le département de Seine-Maritime, non reliés au réseau de gaz naturel et anciennement chauffés avec du fioul, sont parvenus à sécuriser leurs investissements et le coût du chauffage de la serre de 10 700 m², par la diversité et la complémentarité de leurs sources d'énergie : la chaufferie bois de 2007, alimentée par 1100 tonnes de plaquettes par an, fournit le chauffage au plus fort de la saison hivernale avec un rendement toujours optimisé lié au ballon d'eau chaude. La pompe à chaleur achetée neuve en 1953 intervient à mi-saison en complément, et 2 chaudières au propane servent d'appoint et de secours. Lorsque l'ensemble des frais sont intégrés, les dirigeants constatent un amortissement du projet bois d'une durée d'environ 10 ans, plus long dans la pratique que lors des prévisions en amont du projet.

Afin de se laisser une plus grande autonomie dans la négociation du bois, les producteurs recommandent de prévoir une chaudière polycombustible – capable de brûler du bois comprenant jusqu'à 55 % d'humidité – et d'investir dans un système hydraulique d'acheminement du bois poussé par un vérin hydraulique, et non une vis sans fin, afin de pouvoir accepter différents calibres de bois.

6.6. Bilan des opportunités et contraintes

Le bois est une alternative aux énergies fossiles, intéressante non seulement d'un point de vue écologique, mais également sur le plan économique. Cependant, l'engouement créé autour de cette nouvelle source d'énergie demande une structuration et une mobilisation plus importante et plus efficace de l'offre. L'accompagnement financier est primordial, d'autant plus nécessaire depuis ces cinq dernières années, et doit être uniforme sur le territoire afin d'éviter les distorsions de concurrence d'une région à une autre et l'apparition de transferts de biomasse entre régions sans fondement environnemental. Les enquêtes réalisées auprès de producteurs utilisant le bois-énergie nous ont permis de rassembler les opportunités et contraintes de cette ressource, résumées dans le Tableau 20 : bilan de l'enquête sur les opportunités et contraintes liées au bois énergie.

Tableau 20 : bilan de l'enquête sur les opportunités et contraintes liées au bois énergie

Opportunités	Contraintes
Coût énergétique : économies significatives par rapport aux énergies fossiles et aux augmentations annoncées à moyen terme.	Maintenance : temps et coût d'entretien élevé, arrêts de maintenance et de réparation réguliers et assez longs. Beaucoup d'alarmes, la chaudière bois tombe facilement en panne. Ces contraintes diminuent lorsque la qualité du combustible augmente (quasiment nulles dans le cas des granulés et des plaquettes).
Indépendance : sécurité vis-à-vis de l'augmentation du prix des énergies fossiles.	Qualité du bois fourni : le combustible doit être propre, non traité, bien broyé et ne doit pas contenir de résidus (métaux/plastiques).
Environnement : lutte contre le réchauffement climatique et encouragement vers une gestion forestière durable en valorisant des produits auparavant difficiles à mettre sur le marché.	Injection de CO₂ : pas encore possible de réinjecter le CO ₂ à partir des fumées, il faut donc acheter du CO ₂ liquide, ce qui augmente le coût global de l'énergie.
Sécurité : le bois peut être manipulé sans risques et demande peu de contraintes de sécurité par rapport au gaz ou au fioul.	Investissement élevé (équipement et surface), non envisageable pour une petite unité de serre.
Mécanique plus simple : moins spécifique que celle d'une chaudière gaz : les réparations peuvent être faites directement par le producteur.	Travail de logistique : trouver des fournisseurs, négocier les prix, gérer le stock de bois et l'approvisionnement.
Précurseur : seule une centaine de serristes ont investi dans une chaufferie bois afin de trouver des alternatives aux hausses régulières d'énergies fossiles.	Coût du transport du bois élevé : le bois-énergie est une alternative intéressante pour les serristes, à condition que la ressource soit disponible localement (<50 km).
Image de l'entreprise en région.	Incertitudes par rapport à l'augmentation future du coût du bois et aux tensions au niveau de l'approvisionnement.

7. CONCLUSION

Cette étude a pour objectif de faire le bilan des connaissances sur le chauffage des serres horticoles et maraîchères par la biomasse. Etant donné le nombre important de documents, études et rapports sur ce thème dans la littérature, l'objectif n'était pas d'être exhaustif sur tous les points techniques, réglementaires ou financiers, mais de proposer aux lecteurs un état des lieux suffisamment clair et précis pour apporter les réponses aux principales interrogations qu'un porteur de projet peut avoir. A défaut, les références citées ou les contacts proposés doivent permettre de le faire.

Le chauffage des serres, aujourd'hui très majoritairement par des énergies fossiles, est le premier impact environnemental de ce système de culture. Face à la hausse du prix des énergies et dans un contexte de rude concurrence internationale, l'objectif de cette étude n'est pas uniquement de promouvoir le bois énergie comme une alternative environnementale, mais de convaincre que c'est une solution fiable, pertinente et économiquement viable pour les filières sous serres. Pour le démontrer, nous avons mené une enquête nationale auprès des producteurs équipés de chaudières à biomasse : ce rapport reprend les informations, données et arguments, et présente les retours d'expérience que ces producteurs ont accepté de partager.

Cependant, chauffer des serres avec de la biomasse est loin d'être simple et évident, et c'est également ce que cette étude et l'enquête associée démontrent. Obligations réglementaires, structuration de l'approvisionnement, investissements importants et problèmes de fonctionnement de la chaufferie... autant de contraintes que chaque porteur doit connaître avant de lancer son projet. Nous tenions pour cette étude à ne pas cacher ces contraintes et à traiter de manière objective chacun de ces points. Comme souvent rappelé en matière d'énergie et d'avenir du mix énergétique français, la biomasse est une solution alternative faisant partie du bouquet de solutions, mais ce n'est pas LA solution pour chaque exploitant. C'est pourquoi nous proposons (ou rappelons) dans ce rapport une méthodologie et une description des différentes étapes du montage du projet en partie 3, afin de mettre en évidence dès que possible les freins éventuels à la valorisation durable de la biomasse chez l'exploitant.

Quoiqu'il en soit, les entreprises qui ont investi dans une chaufferie biomasse émettent finalement un bilan favorable de leur passage au bois, et ont accepté de partager leurs recommandations avec les autres serristes qui souhaiteraient utiliser cette énergie renouvelable. Les principales conclusions de cette étude sur les opportunités et contraintes du bois énergie sont ainsi résumées :

- L'utilisation de bois-énergie pour le chauffage des serres est une alternative à l'utilisation d'énergies fossiles, économiquement et environnementalement pertinente, à condition que la ressource soit disponible localement à proximité de l'exploitation agricole (< 50 km).
- La capacité de mobilisation de la ressource locale et régionale et la structuration de l'offre sont un critère essentiel pour la viabilité des projet, et une crainte de premier ordre pour les serristes puisqu'elles influenceront sur le prix du combustible. Les grands projets de cogénération ou de chaufferies des industriels et collectivités sont alors perçus comme des concurrents sérieux sur la ressource, et n'ayant pas les mêmes contraintes économiques.
- Lorsque l'étude de faisabilité indique un retour sur investissement inférieur à 10 ans, le projet peut être considéré comme intéressant et plus ou moins risqué. Au-delà, les risques sont importants, compte-tenu d'un investissement très lourd, de la hausse possible du prix du bois et de marchés devenus difficiles pour la commercialisation des légumes et des fleurs. Les aides publiques à l'investissement sont actuellement essentielles, certainement plus encore qu'il y a quelques années.
- L'utilisation d'un combustible de qualité, comprenant un taux élevé de plaquettes forestières, garantit une qualité de combustion et permet de réduire la demande de maintenance et d'entretien de la chaudière. Les exploitants ayant eu recours à de la biomasse de moindre qualité affirment que l'économie financière est largement contrebalancée par les difficultés techniques de pilotage, maintenance et entretien sur la chaufferie. La réussite technique et

financière du projet réside donc pour une grande partie dans la négociation et l'adaptation face aux différents fournisseurs, et aux évolutions du marché du bois.

- Le producteur souhaitant installer une chaudière bois doit être motivé, intéressé et prêt à diversifier ses compétences professionnelles. Il devra s'investir dans le montage des dossiers pour obtenir des aides, la compréhension des aspects techniques de la nouvelle chaudière et la logistique liée à l'approvisionnement. Les conséquences sur la charge de travail du chef d'entreprise et de ses encadrants, tels que le chef de culture et le responsable maintenance, peuvent être non négligeables voire importantes les premières années.
- Tout est négociable dans l'approvisionnement, et dans la mesure du possible, il convient alors d'assurer son approvisionnement en bois sur une durée au moins égale au temps de retour sur investissement.
- Des chaufferies bois existent pour des exploitations horticoles de petite taille avec des temps de retours sur investissement encore acceptables, des économies non négligeables et des chefs d'exploitation satisfaits de leur investissement. Les chaudières biomasse à air pulsé sont moins coûteuses et peuvent représenter dans certaines situations une opportunité environnementale et économique envisageable pour des exploitations de 2 000 à 5 000 m².
- Les serristes de plus d'1 ha semblent bénéficier de capacités d'investissement et d'adaptation plus importantes, notamment parce qu'ils disposent de davantage de temps pour accompagner la mise en place d'un tel projet.
- Le manque d'espace sur l'exploitation n'est pas un frein à l'installation d'une chaufferie bois. Il faut cependant prévoir un accès rapide et simple pour les livraisons de bois à proximité de la chaufferie et un silo d'au moins 200 m³.
- L'achat d'une chaudière bois d'occasion amplifie significativement les risques techniques, ne permet pas de bénéficier d'un accompagnement financier et donc accroît le temps de retour sur investissement. Dans les cas rencontrés, cela avait engendré des risques financiers importants sur des exploitations déjà fortement impactées par les dernières hausses du prix de l'énergie avant le passage au bois.

Après avoir visité des exploitations et analysé les témoignages de ces entreprises agricoles chauffées au bois, il nous paraît désormais intéressant de poursuivre ce travail réalisé avec les serristes en créant des ateliers, des formations de perfectionnement ou des journées d'information sur le bois-énergie dans différentes régions ou inter-régions. Les échanges et partages de connaissances entre serristes permettraient en effet de lever un certain nombre de freins techniques et d'optimiser l'achat du bois sur un marché fortement concurrencé. Les producteurs attendent de nouveaux observatoires sur la disponibilité en bois par les relais locaux, cellules biomasse régionales et/ou directions régionales de l'ADEME, d'être informés des évolutions du marché du bois et de nouvelles opportunités qui pourraient s'ouvrir à eux.

Des partenariats économiques sont à créer et à organiser entre les serristes utilisateurs de bois et la filière du paysage, avec des entreprises ou collectivités qui entretiennent les jardins privés ou publics, les parcs, canaux, haies et bordures de route, et autres espaces semi-boisés. Les bois de criblage de compost et les bois de taille ou de coupe sont déjà utilisés dans des chaufferies bois mais il est nécessaire d'améliorer la qualité de stockage et de broyage. Ces partenariats économiques pourraient devenir logiquement le pendant du marché des plantes et arbres d'ornement commercialisés par les horticulteurs et pépiniéristes vers les collectivités, les particuliers et les entrepreneurs du paysage.

8. BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et Publications

ADEME, EDP Sciences, *Mise en place d'une chaufferie au bois*, ISBN 978-2-86883-961-9, 2007

ADEME, CRITT BOIS – FIBOIS – CTBA, *Mesure des caractéristiques des combustibles bois*, Juin 2001. 117 p.

ADEME, CRITT BOIS d'EPINAL, ENSTIB/LERMAB, *Etat de l'art de la technologie générateur d'air chaud à partir de biomasse*, Juin 2010. 60 p.

ADEME, FCBA, *Etude pour la qualification des déchets de bois traités et souillés en combustible*, Août 2010, 94 p.

BERTHELOT A., NGUYEN-THE N., *Les taillis à courte rotation. Produire de la biomasse avec des arbres*, Perspectives Agricoles, 371, p. 32-34.

BOIS ENERGIE 66, GDA Serristes, Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales, *Faisabilité Chaufferie Bois-Chauffage des Serres Agricoles-3 cas types en Pyrénées Orientales*, Juin 2010, 52 p.

CIBE, *Contrat type d'approvisionnement de combustible biomasse*, Juin 2008. 18 p.

CIDES, *Evaluation de l'innocuité et du rendement technico-économique d'un générateur de CO₂ à maïs pour les serres*, Juillet 1998, 23 p.

FELIX I., BESNARD A., MARSAC S., *Conduite de culture. Plusieurs espèces au banc d'essais*, Perspectives Agricoles, 371, p. 22-26.

GRISEY A., BRAJEUL E., *Serres chauffées : réduire ses dépenses énergétiques*, Septembre 2007, p.96-103, ISBN 2-87911-227-3.

LANCELOT C., *Chauffer des serres : une paille !*, ADEME & vous, Mars 2009, n°23.

MÜLLER Holzfeuerungen, *Système de chauffage automatique aux plaquettes de bois – Concept modulaire permettant des solutions économiques*, Janvier 2007, 11 p.

Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, Service Régional de l'Economie Forestière, Agricole et Rurale, 2010. Arrêté relatif au Plan Végétal pour l'Environnement 2010 à 2013.

Circulaire DGPAAT/SDEA/C2010-3072, 12 juillet 2010.

Circulaire Serre relative aux aides à la construction ou à l'aménagement de serres maraîchères, n°2008/14, 24 novembre 2008.

Circulaire Serre relative au régime d'aide à la construction et à l'aménagement des serres et d'aires de culture dans le secteur de l'horticulture ornementale et de la pépinière, n°2008/10, 28 août 2008.

ENERZINE, 2010. Bilan du soutien du Fonds chaleur à la biomasse. [En ligne] : <http://www.enerzine.com/6/10848+bilan-du-soutien-du-fonds-chaleur-a-la-biomasse+.html>.

Légumes de France, 2010. Fiches Conseil Energie, [En ligne] : www.energie-legumesdefrance.fr.

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 2010. Présentation du dispositif des certificats d'économies d'énergie, [En ligne] : www.developpement-durable.gouv.fr/Presentation-du-dispositif-des.html.

POUET J.C., 2010. Biomasse et chaleur : quel état des lieux peut-on dresser ? Téléchargeable sur le site de l'ADEME : <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=70513&cid=96&m=3&p1=3&ref=17205>.

SCHWARZ V., 2010. LE FONDS CHALEUR, Une aide financière pour passer aux Énergies

Renouvelables. Téléchargeable sur le site de l'ADEME :

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=70513&cid=96&m=3&p1=3&ref=17205>.

SIGNORET S., 2010. Le Fonds Chaleur dynamise le bois-énergie. *Energie Plus*, 453, p. 10-12.

Sites Internet Consultés :

COLIN A., BARNERIAS C., SALIS M. (IFN), THIVOLLE-CAZAT A. (FCBA), COULON F., COUTURIER C. (SOLAGRO), *Evaluation du gisement de bois pour l'énergie*, ADEME, <http://www.dispo-boisenergie.fr/general/accueil> (Page consulté le 13 août 2010).

Collectif, *Bois Energie*, ADEME, http://www.ademe.fr/midi-pyrenees/a_2_02.html#a_2_02_a (Page consultée le 9 août 2010).

Collectif, *Bois-Energie en Midi-Pyrénées*, Midi-Pyrénées Bois, <http://www.mpbois.net/cmsms/index.php?page=bois-energie-mp> (Page consultée le 16 août 2010).

Collectif, *Contrat d'approvisionnement : Commercialisation des bois en forêts communales*, Communes Forestières Rhône-Alpes, http://www.territoiresforestiers-rhonealpes.eu/docs/commercialisation/actualite_commerce/contrat_appro.pdf (Page consultée le 16 août 2010).

Collectif, *Energie et matières renouvelables : biomasse*, ADEME, <http://www.compensationco2.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13494> (Page consultée le 13 août 2010).

Inventaire Forestier National, FCBA, Solagro, ADEME, *Evaluation du gisement de bois pour l'énergie*, www.dispo-boisenergie.fr (Page consultée le 15 décembre 2010).

Collectif, *Installer une chaudière à bois*, Pratique.fr, <http://www.pratique.fr/installer-chaudiere-a-bois.html> (Page consultée le 02 septembre 2010).

Collectif, *Les combustibles bois*, Institut Technique Européen du Bois Energie, <http://www.itebe.net/portail/affiche.asp?arbo=1&num=261> (Page consultée le 12 août 2010).

Collectif, *Les mots de la combustion*, Groupement Français de la Combustion, <http://www.gfcombustion.asso.fr/index.php?item=glo&page=glossaire.php&langue=fr> (Page consultée le 12 août 2010).

Contributeurs de Wikipédia, *Bois énergie*, Wikipédia, http://fr.wikipedia.org/wiki/Bois_énergie (Page consultée le 9 août 2010).

Site du bureau d'études ECOREN, <http://www.ecoren.fr> (Page consultée en décembre 2010).

Bilan énergétique de la France pour 2009 et les chiffres clés du climat France et Monde Edition 2010, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>. (Page consultée le 30 mai 2011).

Liens vers des vidéos

http://www.dailymotion.com/video/xf7v6p_moins-d-effet-de-serre-pour-les-ser_lifestyle

<http://lot-et-garonne.chambagri.fr/energie/les-fermes-pilotes-energie-en-aquitaine.html>

9. ANNEXES

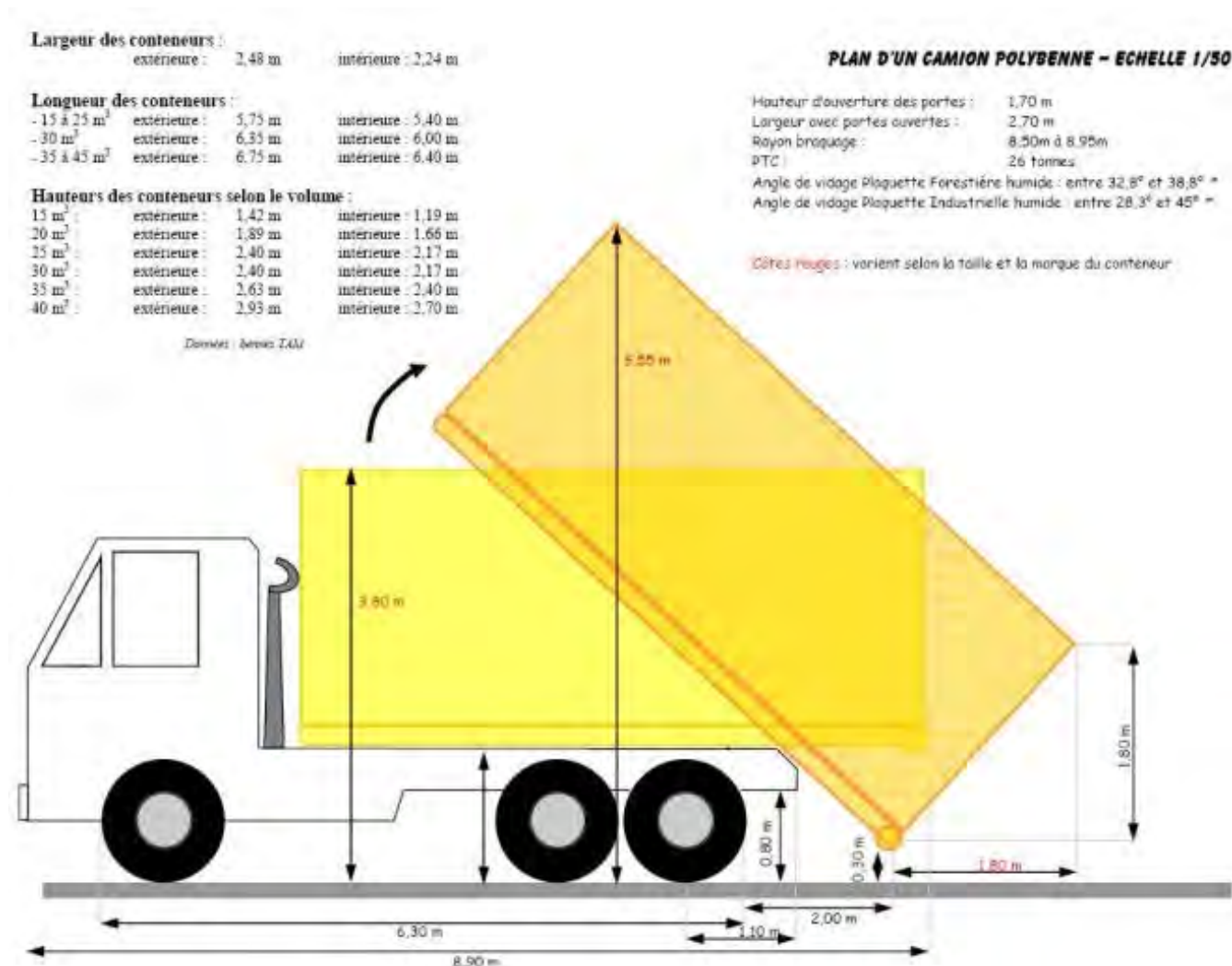
9.1. Annexe 1 - Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents combustibles bois

Origine	Type de combustible bois	Définition	Humidité (%)	PCI (kWh/t)	Masse Volumique (kg/m ³)	Quantité nécessaire en t pour 1 ha de serre/an*	Coût estimé (€/t)	Disponibilité	Observations
1. Produits issus de la forêt	Bûches	rondins ou quartier de bois pouvant aller de 25 cm à 1m de longueur, habituellement utilisés pour le chauffage	15 à 45	2300 à 3500	560 à 810	850 à 1300	64 à 92	Ressource importante	Demande variable mais globalement à la hausse
	Plaquettes forestières sèches	combustibles provenant du déchetage des résidus d'exploitation, d'entretien des forêts et bocages (branchages et petits bois)	20 à 30	3300 à 3900	200 à 320	710 à 910	45 à 100, prix rendu serriste	Ressource très importante ; fort accroissement naturel non exploité	Participe à la gestion & à l'amélioration des forêts = gestion durable
	Plaquettes forestières vertes		40 à 50	2200 à 2800	230 à 400	1070 à 1360			
2. Sous-produits de la filière bois	2.1 Produits connexes	Ecorces	40 à 60	1600 à 2800	250 à 500	1070 à 1870	10 à 30	Ressource déjà très utilisée	Tension sur les prix par augmentation de la demande
		Copeaux et sciures	10 à 15 40 à 60	4400 1600 à 2800		680 1070 à 1870	30 à 60		
		Plaquettes de scierie	30 à 50	2200 à 3400	200 à 400	910 à 1360	20 à 50, prix rendu serriste		
	2.2 Produits compressés	Granulés	5 à 10	4600	750	600 à 650	180 à 250, livré par camion souffleur 250 à 300, en sac par palette entière	Production encore limitée en France	Production basée sur la sciure = ressource limitée et prix tendus
		Briquettes reconstituées	8	4600	750	600 à 650	280 à 350, livrée		
3. Broyats issus du recyclage de bois usagers	Bois de rebut	broyats de produits en bois en fin de vie ne contenant pas d'adjuvants (préservation, colle, finition)	20 à 40	3300 à 3900	180 à 270	770 à 910	15 à 45, conditionnement 10 à 15, transport	Ressource peu connue, progression possible mais limitée en quantité	Risque de tension sur les prix par augmentation de la demande

* calcul réalisé pour un besoin de 300 kWh/m²/an, soit 3 GWh/ha/an

(Source : Compilation des données de Ministère de l'Industrie, de l'ARENE, du CTIFL, de l'ITEBE et de Midi-Pyrénées Bois.)

9.2. Annexe 2 - Plan d'un camion polybenne – échelle 1/50



Le tableau ci-dessous donne des valeurs indicatives pour différents types de camion - mais il est important de vérifier systématiquement ces valeurs avec les fournisseurs locaux !

Type de véhicule	Volume (m ³)	Hauteur maximum (m)	Longueur max de chaque benne (m)	Longueur totale max (m)	Largeur (m)	Rayon de braquage (m)	Poids en charge max (tonnes)
Tracteur agricole + remorque	15	2 à 3.5	6	8 à 10	2.5	8	10 à 15
Camion benne	30 à 40	4	7.5	7 à 9	2.5	8 à 10	19
Camion polybenne	60 à 80	4	7	20	2.5	15	40
Semi-remorque	80 à 100	4	14	20	2.5	15	40

(Source : Midi-Pyrénées Bois)

En fonction du type de véhicule, le dépotage dans le silo peut être réalisé sur le côté (cas des bennes à ouverture latérale) ou vers l'arrière (cas des bennes « classique » avec ouverture arrière et des semi-remorques). Ne pas oublier que lors d'un bennage arrière, la benne atteint une hauteur de 6 à 7 m, alors que les semi-remorques à fonds mouvants déversent directement, sans levage de la benne.

9.3. Annexe 3 - Classification professionnelle des combustibles bois déchiquetés



Classification professionnelle des combustibles bois déchiquetés

(mars 2011)

Cette classification a été élaborée par le Comité Interprofessionnel du Bois Énergie (CIBE) à partir d'une démarche d'enquête auprès des professionnels (chaudéristes, fournisseurs de combustibles et exploitants chauffagistes) sur la pertinence d'un regroupement des classes normatives utilisées et validées au niveau européen et national.

Chaudières concernées :

Cette classification simplifiée des combustibles bois déchiquetés concerne les chaudières automatiques au bois **de 30 kW à quelques MW de puissance**. Il peut exister des chevauchements dans les limites supérieures ou inférieures d'humidité ou de granulométrie d'une classe de combustible à une autre - cela reflète la souplesse et la pratique d'utilisation de combustibles selon la technologie de chauffage.

Sont toutefois exclus les projets de cogénération et les chaudières de très forte puissance à systèmes de combustion spécifique (ex : lit fluidisé, ...) où la composition physico-chimique des mélanges de combustibles est un paramètre essentiel de régulation du système, les mélanges étant souvent réalisés sur place et non pas par le producteur.

Objectifs et présentation de la classification professionnelle CIBE :

L'objectif de cette classification simplifiée des combustibles bois déchiquetés est multiple :

- **simplifier l'utilisation des référentiels combustibles FCBA/ADEME (2006) et des normes européennes** en cours de promulgation (EN14981 – CEN/TC335) tout en respectant les classes normatives énoncées (puisqu'il s'agit d'un regroupement des classes normatives utilisées et validées au niveau européen et national),
- **harmoniser les approches entre le niveau national et le niveau régional** (un seul référentiel commun) pour éviter le développement en régions de chartes de qualité bois énergie qui ne reposent pas toujours sur les mêmes caractérisations des combustibles, et disposer d'un langage commun pour tous les professionnels de la production-commercialisation de combustibles bois déchiquetés
- **améliorer la fluidité de l'utilisation du bois énergie et éviter la multiplicité des caractéristiques possibles (critères d'identification) des combustibles bois dans les cahiers des charges de contrat d'approvisionnement**, source d'incompréhension et de litiges entre maîtres d'ouvrage ou exploitants de chaudières et fournisseurs de bois
- **permettre un suivi des prix des combustibles et une indexation représentative des catégories de combustibles significativement différentes livrées en chaudières**

Cette classification ne se surimpose pas, ni ne se substitue aux référentiels normatifs existants : elle les rend tout simplement applicables dans la pratique usuelle, constatant que :

- dans les référentiels existants, l'utilisation de toutes les classes de paramètres normatifs, soit 6 classes de granulométrie, 8 à 10 classes d'humidité et 8 à 10 classes de taux de cendre, permet d'attendre plusieurs centaines de produits combustibles bois différents en chaudière,
- Cette multiplicité de classes normatives ne correspond pas à la réalité de produits combustibles effectivement introduits dans les silos : dans la pratique, on recense moins d'une dizaine de combustibles différents utilisés dans les chaudières bois de puissance inférieure à quelques MW car **ce panel est dépendant de la relation type de produits - type de projet alimenté** (petit, moyen, gros, industriel, ...) et technologie utilisée;
- **La qualité des produits effectivement livrée est fortement dépendante des matériels, équipements et méthodes de conditionnement des combustibles de chaque fournisseur ou producteur de combustibles bois déchiquetés**, plus que des référentiels ou des cahiers des charges initiaux. Par ailleurs il est généralement difficile pour un fournisseur de garantir, de sécuriser et de contrôler la qualité de dizaines de combustibles bois de catégories différentes sur sa chaîne de production;
- **Les grands types de chaudières acceptent une certaine plage de variation des caractéristiques principales du combustible (granulométrie, humidité) : il est donc essentiel de sélectionner dans un premier temps les types de combustibles admissibles en chaudière puis sur la base de la sélection retenue d'effectuer la régulation optimale de la chaudière**. En conséquence des producteurs de combustibles avec des moyens de production différents, et donc des produits un peu différents, doivent pouvoir être mis en concurrence régulièrement sur la base d'un même cahier des charges (leurs offres doivent pouvoir être comparables, la variable d'ajustement étant la régulation finale de la chaudière)

Présentation de la classification professionnelle CIBE

On distingue 5 classes de combustibles (voir tableau joint) :

- pour les chaudières de petite puissance (< 300 kW) voire moyenne puissance (P < 800 kW) :
 - o 1 classe de combustible : C1 « *calibré fin sec* »
- pour les chaudières de moyenne puissance (entre 300 kW et 800 kW, jusqu'à 1,2-1,5 MW) :
 - o 1 classe (C2 « *calibré ressuyé* »)
- pour les chaudières de forte puissance (entre 800 kW et plusieurs MW) selon leur technologie :
 - 3 classes de combustibles
 - o C3 « *non calibré humide* »,
 - o C4 « *non calibré très sec* »,
 - o C5 « *non calibré très humide* »

Classification professionnelle CIBE des types-qualités de produits BE /usages en chaufferies

classe	type de produit	usage chaufferie	granulo/humidité
C1	calibré fin sec <i>petites plaquettes</i>	petite chaudière <i>P < 200-300 kW</i>	P16/45A M15/25 (30)
C2	calibré ressuyé <i>plaquettes</i>	chaudière MP <i>P de 400 kW à 0,8- 1,2 MW</i>	P45/63 M30/40
C3	non calibré humide <i>plaquettes - broyats</i>	chaudière MP à FP <i>0,8-1 MW à 3-5 MW</i>	P63/125 M35/45
C4	non calibré très sec <i>broyats secs</i>	chaudière FP produits très secs <i>0,8-1 MW à 3-5 MW</i>	P100/200 M10/20
C5	non calibré très humide <i>broyats humides</i>	chaudière FP /TFP produits humides <i>P > 5 MW</i>	P100/200 M40/55
C6	mélanges spécifiques de bois déchiquetés	chaudière très forte puissance et cogénération <i>P > 15 MW</i>	spécifique à chaque projet

Principe et méthode d'utilisation de la classification par les maîtres d'ouvrage et les exploitants chauffagistes lors des consultations pour l'approvisionnement

Objectifs recherchés : évaluer plus justement le rapport qualité/prix ou coût/bénéfice du choix d'un fournisseur de combustible par rapport à sa technologie chaudière bois et être en capacité de comparer des combustibles produits par plusieurs fournisseurs.

- **Etape 1** : Le CC doit faire référence aux classes simplifiées (en joignant le tableau) qui permet à chaque candidat de se situer dans une grille et un rapport caractéristiques / prix comparable en fonction de sa propre production (et non pas en fonction de caractéristiques trop précises fixées à l'avance dans le CC pour lesquelles les candidats pourraient faire abstraction de leur équipement et possibilité de production).

Ex : le maître d'ouvrage qui possède une chaudière de faible puissance indiquera comme combustible requis le C1 « *calibré fin sec* » qui correspond à des plages d'humidité et de granulométrie fixées (P16/P45 et M15/M25). Il est demandé au candidat de se positionner en fonction de ses équipements, donc de ses possibilités, sur la fourchette basse, moyenne ou haute de chaque plage d'humidité-granulométrie avec son prix correspondant.

- **Etape 2** : La méthode consiste alors à comparer sur une grille d'évaluation les qualités fournies par chacun des candidats, et évaluer le rapport qualité/prix¹. Le MO retient l'offre qu'il juge la plus favorable.
- **Etape 3** : Ce n'est que lors de la signature du contrat, que les caractéristiques précises effectivement produites par le fournisseur retenu, sont clairement indiquées dans le contrat qui précise la plage de qualité souhaitée pour la chaufferie objet du marché, les tolérances éventuelles admissibles et les notions de conformité.

Cette démarche présente l'intérêt de favoriser une concurrence plus large et plus loyale entre les différents producteurs de combustibles, et leur **capacité réelle à garantir la production régulière de types combustibles fixés**, et de **mettre en place progressivement une valeur de marché sur une classe de produit donné**.

¹ Cette évaluation doit également comprendre la qualité du service qui n'est pas ici traitée

Version détaillée de la classification professionnelle

Classification professionnelle simplifiée des combustibles bois déchetés propres (non adjuvants)

catégorie et forme	classe de granulométrie	classe d'humidité	taux cendres	Contenu énergétique	préconisations d'utilisation	nature, origine combustible
<i>Petites plaquettes bois calibrées fins sèches</i> C1	P16-P45A	M15-M30	A0.5-A0.7	3,4 à 4,2 MWh/t moy: 3800 kWh/t	petite à très petite chaudière P < 200kW - 300 kW foyer volcan, désilage vis	PF, CIB sans écorces
<i>Plaquettes calibrées ressuyées</i> C2	P45-P63	M30-M40	A1.0-A2.0	2,8 à 3,4 MWh/t moy: 3100 kWh/t	petite à moyenne chaudière de 400 kW jusqu'à 1,5 MW foyer volcan, désilage vis	PF, CIB % écorces faible
<i>Plaquettes-broyats non calibrés humides</i> C3	P63-P125	M35-M45	A1.5-A3.0	2,5 à 3,1 MWh/t moy: 2800 kWh/t	moyenne chaudière 800 KW < P < 3 - 5 MW foyer grille (voire volcan)	mix-produit PF, CIB, BFV % écorces < 50%
<i>Broyats non calibrés très secs</i> C4	P100-P200	M10-M20	A1.0 - A3.0	3,9 à 4,5 MWh/t moy: 4200 kWh/t	moyenne à grosse chaudière 0,8 - 1 MW < P < 3 à 5 MW foyer grille ou équivalent	broyat palettes BFV, CIB sans écorces
<i>Broyats-mélanges non calibrés très humides</i> C5	P100-P200	M40-M55	A3.0-A5.0	1,9 à 2,8 MWh/t moy: 2400 kWh/t	très grosse chaudière P > 5 - 6 MW foyer grille ou équivalent	Mix produit PF, CIB % écorces élevé % BFV peu élevé

humidité	valeur
M10-M20	10% < H ≤ 20%
M15-M30	15% < H ≤ 30%
M30-M40	30% < H ≤ 40%
M35-M45	35% < H < 45%
M40-M55	40% < H ≤ 55%

PF Plaquette forestière (ou assimilée)
CIB Connexes des industries du bois
BFV Bois en fin de vie

Classes d'humidité et de granulométrie respectant la norme NF EN 14961-1 (Oct. 2010)

classe de granulométrie	fraction de 75% du poids		fraction grossière plaquettes		fraction fine (< 3,15 mm)
	minimale	maximale	% en masse	long max	
P16-P45A	3,5mm	45 mm	< 3%	< 100 mm	< 8%
P45A-P63	8 mm	63 mm	< 6%	< 100 mm	< 6%
P63-P125	8 mm	125 mm	< 6-10%	< 200 mm	< 4%
P100-P200	16 mm	200 mm	< 10%	< 350 mm	< 10%

attention: distinguer la fine (< 1 mm qui doit toujours être < 2-3%) de la fraction fine de plaquette (< 3,15 mm)

9.4. Annexe 4 - Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents types de biocombustibles issus des cultures énergétiques

Type de combustible	Espèce	PCI (MWh/t MS*)	Rendement (t MS*/ha/an)	Commentaires
Grains Espèces utilisées : <i>blé, orge</i>	Blé	4,7 – 5,1	6 - 10	Principalement en utilisation de grains déclassés, les volumes étant en augmentation avec le durcissement des normes européennes. Problèmes de rejets gazeux polluants. Utilisation dans des collectivités (ex : chaufferie de Lescherolles en Seine et Marne).
Paille Espèces utilisées : <i>blé, orge</i>	Blé	4,5 - 5	-	Utilisation de paille brûlée en balle entière démêlée, broyée ou en granulés. En 2007, plusieurs exploitations utilisent des chaudières à paille, notamment une exploitation de légumes sous serre et une serre horticole de 2500 m ² dans l'Eure-et-Loir. Le centre CEA de Dijon utilise également une chaufferie à paille de 5 MW.
	Orge	4,8 - 5	-	
Plante entière de culture annuelle Espèces utilisées : <i>triticale, blé</i>	Triticale	5	8 - 16	Combustion de plantes entières brûlées en balles entières démêlées, broyées ou en granulés. Pas de référence en France mais des projets d'utilisation.
Oléagineux : huile et tourteaux Espèces utilisées : <i>colza, tournesol</i>	Huile Végétale Pure	11	-	Obtention d'huile industrielle ou d'huile végétale pure et de tourteaux fermiers par pression à froid. Difficultés à obtenir une HVP de qualité régulière et adaptée à la combustion. Le contenu élevé en protéines (azote) des tourteaux rend ce combustible difficile à privilégier.
	Tourteaux	4 - 6	-	
Taillis à Très Courte Rotation Espèces utilisées : <i>eucalyptus, peuplier, saule</i>	TTCR	4,9	36 (en 3 ans)	Un projet pilote est développé en Bretagne.
Autres cultures dédiées Espèces utilisées : <i>miscanthus</i>	Miscanthus	4,7	12 - 18	Première récolte au bout de 2 ans, pleine récolte au bout de 3 ans. Utilisation similaire en combustion aux plantes entières de culture annuelle. Le miscanthus est valorisé en plante entière en Grande-Bretagne par exemple, surtout comme combustible secondaire. Utilisations énergétiques en développement.

9.5. Annexe 5 - Contrat-type d'approvisionnement en combustible bois



Comité Interprofessionnel du Bois Energie



" Contrat type d'approvisionnement de combustible biomasse "

EDITION JUIN 2008

Résumé

Contrat type d'approvisionnement de combustible biomasse.

.....

Document produit par la **Commission 1 Approvisionnement**

Rédacteur : Collectif, membres de la Commission 1 Approvisionnement

Date de première émission : 18 juin 2008

Date de la présente version : 18 juin 2008

Référence : 2008-APR-2

Date de la présente version : 18 juin 2008

Référence : 2008-APR-2

(*) Le CIBE attache une importance toute particulière à la vérification des informations qu'il délivre. Toutefois ces informations ne sauraient être utilisées sans vérifications préalables par le lecteur et le CIBE ne pourra être tenu pour responsable des conséquences directes ou indirectes pouvant résulter de l'utilisation, la consultation et l'interprétation des informations fournies. L'utilisateur est seul responsable des dommages et préjudices, directs ou indirects, matériels ou immatériels dès lors qu'ils auraient pour cause, fondement ou origine un usage du présent document.

ENTRE :

....., dont le siège social est situé, immatriculée au RCS de
, ci-après dénommé le CLIENT,

d'une part,

et

....., dont le siège social est situé, immatriculée au RCS de
, ci-après dénommé le FOURNISSEUR,

d'autre part,

il a été convenu ce qui suit :

ARTICLE 1 – OBJET

Le présent contrat, (ci-après le « Contrat ») a pour objet de définir les conditions et modalités de la fourniture, du stockage et de la livraison par le FOURNISSEUR au CLIENT, qui s'engage à payer le combustible biomasse (ci-après désignée « Biomasse ») pour les quantités et selon les spécifications décrites dans le présent Contrat et ses annexes.

Optionnel : Le CLIENT est titulaire d'un contrat d'exploitation de chauffage, d'un contrat concession ou d'affermage, d'un BEH..., le liant à et doit approvisionner en bois énergie l'installation de chauffage située à Le contrat liant le CLIENT à son propre client sera désigné dans ce document comme "le contrat principal".

ARTICLE 2 – DURÉE & DATES de PRISE d'EFFET

Le contrat est conclu pour une durée de ... ans, et entre en vigueur à compter du

Il se renouvellera par tacite reconduction pour des périodes successives de ... ans, sauf dénonciation par l'une ou l'autre des parties notifiée 6 (six) mois avant l'échéance par lettre recommandée avec accusé de réception.

Le CLIENT s'engage à notifier au FOURNISSEUR dans un délai de la date effective de mise en route de l'installation et/ou de la date de début des livraisons.

ARTICLE 3 – OBLIGATIONS DU FOURNISSEUR**3.1 Quantités**

Le FOURNISSEUR s'engage à fournir le CLIENT et à lui livrer sur le site de une quantité annuelle de tonnes (ou MAP ou MWh entrée ou MWh sortie) correspondant à la quantité annuelle de référence telle que détaillée mensuellement en *Annexe 2*.

Optionnel : afin de respecter son obligation d'approvisionnement, le FOURNISSEUR est tenu de constituer un stock de Biomasse de sécurité, à compter du et pour un volume de à la fin de la première année d'exploitation, la quantité annuelle de référence sera affinée en fonction de la consommation réelle de la chaufferie biomasse et de sa disponibilité.

3.2 Caractéristiques

Le FOURNISSEUR s'engage à fournir la Biomasse aux caractéristiques correspondant à des critères et seuils de tolérance spécifiques s'agissant notamment de l'humidité, de la granulométrie, du taux de cendres, du taux de poussières et des corps étrangers, telles qu'indiquées en *Annexe 3*.

3.3 Modalités de livraison et contrôle du Combustible Biomasse

Le FOURNISSEUR s'engage à livrer la Biomasse selon un planning défini entre les Parties.

Par ailleurs, le CLIENT pourra à tout moment vérifier la conformité de la livraison aux spécifications décrites à l'*Annexe 3*. Dans le cas où la livraison ne serait pas conforme, le CLIENT est en droit de la refuser. Le FOURNISSEUR dispose alors d'un délai de heures/jours pour effectuer une nouvelle livraison conforme aux spécifications.

Les modalités de livraison ainsi que celles des contrôles réalisés sur la Biomasse sont plus précisément définies aux *Annexes 1* et *3*. Le FOURNISSEUR présentera un bordereau de réception à chaque livraison signé par un représentant des deux Parties.

3.4 Défaut de livraison – incidents prolongés

En cas de défaillance du FOURNISSEUR dans l'approvisionnement, celui-ci s'engage à trouver une solution alternative afin de pallier sa défaillance dans un délai maximum de (heures/jours). Les frais et risques liés à la mise en place et au fonctionnement de cette solution alternative sont à la charge du FOURNISSEUR.

Si cette solution n'est pas appliquée, le CLIENT sera en droit de chercher par lui-même une solution alternative, notamment en faisant intervenir une entreprise tierce capable de fournir la Biomasse (aux quantités et qualités requises) pour lequel le FOURNISSEUR est défaillant.

Dans ce cas, le FOURNISSEUR aura l'obligation de réparer le préjudice subi par le CLIENT, de

quelque nature qu'il soit, et notamment les surcoûts liés à la mise en place de cette solution alternative.

Cette hypothèse ne dispense en rien le FOURNISSEUR de continuer à trouver des solutions pour exécuter son obligation contractuelle de fourniture.

3.5 Anticipation de situation de défaillance

Dans l'hypothèse de phénomènes climatiques et/ou environnementaux qui laisseraient présager au FOURNISSEUR qu'il serait dans l'incapacité de fournir au CLIENT la Biomasse aux conditions de quantités et qualités requises par le Contrat, le FOURNISSEUR s'engage à anticiper cette situation prévisible pour lui en trouvant la quantité de Biomasse nécessaire par d'autres moyens.

Le FOURNISSEUR s'engage à informer le CLIENT sans délai de toutes situations pouvant compromettre son engagement de résultat de livraison aux conditions contractuelles, à l'effet de trouver des solutions alternatives de remplacement.

3.6 Conformité d'origine de la Biomasse par rapport au plan d'approvisionnement

Si un plan d'approvisionnement a été préalablement exigé par le CLIENT, le FOURNISSEUR s'engage à ce que les gisements utilisés soient conformes au plan d'approvisionnement.

ARTICLE 4 – OBLIGATIONS DU CLIENT

Le CLIENT s'engage à enlever une quantité annuelle de tonnes (ou MAP ou MWh entrée ou MWh sortie) correspondant à la quantité annuelle de référence telle que détaillée en *Annexe 2*.

À la fin de la première année d'exploitation, la quantité annuelle de référence sera affinée en fonction de la consommation réelle de la chaufferie biomasse et de sa disponibilité.

ARTICLE 5 – PLANIFICATION

Chaque mois, le CLIENT indiquera les quantités mensuelles pour les 3 (trois) mois à venir, conformément à l'*Annexe 2*.

(Procédure détaillée à préciser entre les parties)

Cet engagement peut être aménagé en fonction des plages de variation par rapport à la quantité de référence annuelle, sans donner lieu à indemnité de part ni d'autre. Ces plages de variations sont fixées en *Annexe 2*.

ARTICLE 6 – ARRETS DES INSTALLATIONS

6.1 Arrêts programmés

Les arrêts programmés seront indiqués annuellement par le CLIENT.

6.2 Arrêts non programmés

En cas d'incidents et/ou en cas de dépassement du temps prévu pour les arrêts programmés, et entraînant des arrêts ayant pour conséquences une baisse ou un arrêt de fourniture de la Biomasse, le présent Contrat sera suspendu le temps de l'arrêt.

Le CLIENT s'engage à en informer le FOURNISSEUR dans un délai maximum de 24 heures à partir du moment où il en aura lui-même eu connaissance, ceci afin que le FOURNISSEUR soit en mesure d'adapter et de modifier les plans de livraisons initialement prévus.

Au-delà des seuils de tolérance prévus en *Annexe 2*, il est expressément entendu que les quantités non enlevées de ce fait seront soit :

6.2.1 - déduites de la quantité de référence, et viendront ainsi minorer les quantités annuelles telles que prévues à l'article 31.

Dans ce cas, le FOURNISSEUR aura droit à une indemnisation dont le mode de calcul est fixé en *Annexe 2*.

6.2.2 - rattrapées par le CLIENT sur une période à convenir entre le CLIENT et le FOURNISSEUR, sans que le CLIENT ait à payer une indemnité.. Si l'accord sur cette période n'est pas réalisé entre les parties, les modalités du § 6.3.1 seront appliquées.

Par ailleurs, le CLIENT s'engage à informer le FOURNISSEUR de la date de redémarrage de fourniture de la Biomasse, avec un préavis minimal de 48 heures.

ARTICLE 7 – FACTURATION & PAIEMENT

7.1 Biomasse

7.1.1 Prix de base contractuel

Le prix P_0 de la fourniture de la Biomasse est de euros HT par tonne (ou MAP, ou MWh entrée, ou MWh sortie), avec un taux d'humidité de référence $H_{réf}$ de ... % correspondant à un $PCI_{réf}$ de..... KWh/ tonne.

voir en *Annexe 6* les PCI_0 généralement admis

7.1.2 Ajustement du prix en fonction du PCI réel

Le prix de la Biomasse sera réajusté annuellement ou mensuellement, en fonction du PCI réel, lui-même fonction du taux d'humidité réel $H_{réel}$ de la Biomasse, selon la règle :

$$P_r = P_0 \times (PCI_{réel}) / (PCI_{réf})$$

les PCI seront calculés selon la formule :

$$PCI = PCI_{0\%} \times (100 - H/100) - 6,786 \times H$$

voir en *Annexe 6* les PCI_0 généralement admis

7.1.3 Révisions indicielles du prix

Le prix de l'énergie facturée en € HT/tonne (ou MAP, ou MWh entrée, ou MWh sortie) sera révisé par application de la formule telle de l'*Annexe 4*.

Le calcul se fera selon la moyenne des indices mensuels connus sur l'année écoulée.

7.1.4 Renégociation périodique du prix

Une renégociation du prix de base aura lieu systématiquement tous les 5 ans.

7.2 Prestations complémentaires

7.2.1 Nature et rémunération des prestations complémentaires

Les prestations complémentaires suivantes seront rémunérées ainsi :

Reprise des cendres :

Autres :

7.2.2 Révision de prix des prestations complémentaires

La rémunération de ces prestations sera révisée annuellement selon les modalités suivantes :

.....

7.2.3 Révisions indicielles du prix

Le prix de l'énergie facturée en € HT/tonne (ou MAP, ou MWh entrée, ou MWh sortie) sera révisé par application de la formule telle de l'*Annexe 4*.

Le calcul se fera selon la moyenne des indices mensuels connus sur l'année écoulée.

7.3 Facturation

7.3.1 Cas général

Le FOURNISSEUR effectuera une facturation mensuelle. Sa facturation comprendra au moins les éléments suivants :

- Quantité livrée en tonnes (avec en annexe copie des bordereaux de livraison correspondants)
- Prix unitaire HT de la Biomasse, éventuellement ajusté en fonction du PCI réel
- En cas d'ajustement, les éléments de calcul du PCI réel
- Prix total HT
- Prestations annexes

7.3.2 Cas de la reprise des cendres par le Fournisseur

En cas de reprise des cendres, le FOURNISSEUR présentera un bordereau d'enlèvement énonçant la quantité et les caractéristiques de ces cendres à signer par un représentant des deux Parties.

En cas d'absence d'un représentant du CLIENT, le FOURNISSEUR enverra ce bordereau par fax pour accord à l'attention du CLIENT, (dans la journée ?) les 24 heures suivant de la reprise des cendres.

La description des conditions de stockage et d'enlèvement des cendres figure en *Annexe 5*.

7.4 Paiement

Les factures sont payables par virement à jours fin de mois de livraison.

ARTICLE 8 – RESPONSABILITÉ ASSURANCE

8.1 Responsabilité

8.1.1 Principe général

Les Parties sont responsables, au titre de leurs obligations respectives telles que définies dans le Contrat, des dommages directs et de toutes natures, qu'elles causent en raison de leur faute, de celle des personnes et /ou des biens qu'elles ont sous leur garde ainsi qu'en raison de la faute de leurs sous-traitants dans les conditions ci-après.

Le FOURNISSEUR est responsable de la garde de la marchandise jusqu'aux points de livraison et une fois déchargée à l'endroit convenu entre les Parties.

La propriété de la marchandise sont ainsi transférés une fois celle-ci déchargée.

La responsabilité du FOURNISSEUR sera notamment engagée si la Biomasse livré contient une matière ou un corps étranger provoquant un ralentissement, un dysfonctionnement, ou un arrêt de la /ou des installations du CLIENT.

8.1.2 Causes exonératoires

Chacune des Parties pourra s'exonérer de sa responsabilité en rapportant la preuve de la survenance des cas d'exonérations suivants :

- Survenance d'un événement de Force Majeure
- Fait d'un tiers
- Faute de l'autre Partie

8.1.3 Limites de responsabilités

Le préjudice subi sera indemnisé dans les limites ci-après stipulées :

..... € pour les dommages corporels ;
..... € pour les dommages matériels et immatériels consécutifs ;
..... € pour les dommages immatériels non consécutifs.

Les Parties s'engagent à renoncer à tout recours l'une envers l'autre au delà des montants correspondants aux limitations énoncées ci-dessus.

8.2 Assurances

Les Parties s'engagent à souscrire et à acquitter à la date de la mise en vigueur du contrat, auprès d'une Compagnie d'assurance notoirement solvable, une police d'assurance couvrant leur responsabilité civile.

Le FOURNISSEUR s'engage à produire une attestation d'assurance annuellement.

ARTICLE 9 – PÉNALITÉS - INDEMNITÉS

9.1 Pénalités imputables au Fournisseur

Quels que soient les défauts de livraison du Combustible par rapport au Contrat, imputable au Fournisseur et entraînant une dégradation des performances de l'Installation pouvant aller jusqu'à son arrêt, le Fournisseur indemniserà le préjudice réel subi par le Client.

Le montant de ce préjudice comprendra entre autres :

- le surcoût lié à l'utilisation d'une autre énergie primaire
- le surcoût lié à une humidité combustible différente à la référence contrat
- le surcoût lié à la perte de rendement de l'Installation
- le surcoût lié à des opérations supplémentaires de conduite et de maintenance
- le surcoût lié à la réparation de l'Installation

- les frais de nettoyage
- le surcoût lié au non respect de la qualité et de la quantité maximale de cendres
- tout autre préjudice financier subi par le Client (frais administratifs divers, franchises, frais d'organismes de contrôle, ...)

L'indemnisation demandée devra être justifiée par tous calculs, documents et factures, et apporter les preuves que :

- le Client s'engage à lui aussi essayer de trouver une solution en liaison avec le Fournisseur
- le Client aura informé immédiatement le Fournisseur des incidents de façon à lui avoir permis de réagir dans les meilleurs délais,
- le Client aura effectué les entretiens, réparations, nettoyages, etc.. dans les meilleures conditions économiques.

Le Client mettra en demeure le Fournisseur par simple notification envoyée par fax, courriel ou courrier, de l'indemniser aux conditions stipulées au présent article.

Si le Fournisseur estime que la responsabilité du manquement ne lui est pas imputable (absence de faute, cause étrangère ou force majeure), il en apportera la preuve par tous moyens.

Les pénalités s'appliqueront au-delà d'une franchise de ...% de la valeur mensuelle des livraisons contractuelles, et seront plafonnées à ...% du montant prévisionnel annuel du contrat.

9.2 Pénalités imputables au Client

En cas d'arrêt technique de plus de jours imputables au CLIENT pendant la pleine saison, (ceci en plus de l'arrêt technique annuel d'une durée de jours, ce dernier s'engage à payer, au-delà de cette période, une indemnisation au FOURNISSEUR.

Le montant de cette indemnisation correspond à% du nombre de tonnes (ou MAP ou MWh entrée ou MWh sortie) qui auraient dû être consommé(e)s par la chaudière sur la période d'arrêt imputable au CLIENT multiplié par le prix hors taxes révisé du combustibles défini en *Annexe 4*.

En cas de non respect du CLIENT du seuil minimum de consommation (en appliquant le seuil de tolérance de ...% précisé en *Annexe 2*) défini à l'article 4, et dans la mesure où la responsabilité du FOURNISSEUR n'est pas mise en cause, les tonnages non enlevés (ou MAP ou MWh entrée ou MWh sortie) seront indemnisés à hauteur de ...% du prix révisé à la tonne (ou MAP ou MWh entrée ou MWh sortie).

ARTICLE 10 – CAS DE FORCE MAJEURE

Il s'agit d'événements imprévisibles, extérieurs et indépendants de la volonté de l'une des Parties, tels que définis par la jurisprudence, rendant impossible l'exécution des obligations de la Partie qui les invoque alors même qu'elle a mis en œuvre toutes les mesures possibles pour éviter la survenance de l'événement.

Sont contractuellement considérées comme cas de force majeure entraînant la suspension du Contrat et l'exonération de responsabilité, s'ils interviennent après la conclusion du Contrat et en empêchent l'exécution : l'explosion, la mobilisation, la réquisition, l'embargo, l'interdiction de transfert de devises, l'insurrection, le manque général de moyens de transport, les restrictions d'emploi d'énergie.

Si de tels événements se produisaient, les Parties s'engagent à se prévenir mutuellement le plus rapidement possible, à indiquer l'importance des réductions des fournitures ou d'enlèvements et à faire toute diligence par les moyens qu'elle énumère pour limiter lesdites réductions au strict minimum.

Le contrat reprendra ses pleins effets lors de la disparition de la cause de suspension.

Passé un délai de 3 (trois) mois, à défaut de disparition de la cause de suspension, le Contrat sera considéré comme définitivement éteint.

ARTICLE 11 – IMPREVISION

Dans l'hypothèse où surviendrait, en cours d'exécution du Contrat, un événement imprévisible à la date de la signature de ce dernier, entraînant un bouleversement dans l'équilibre économique du Contrat au préjudice de l'une ou l'autre des Parties, les Parties se rencontreront à la demande de la plus diligente d'entre elles, afin de tenter de rétablir cet équilibre économique et de poursuivre l'exécution du Contrat.

L'exécution du Contrat ne sera pas suspendue pendant la période de ces négociations fixées à 3 (trois) mois maximum. En cas d'échec desdites négociations, il sera fait appel à un conciliateur, expert indépendant choisi d'un commun accord entre les Parties, qui aura pour mission de leur proposer des solutions alternatives (économiques, financières) dans un délai de 3 (trois) mois. Les propositions du conciliateur ne seront ni obligatoires, ni exécutoires, si les Parties ne sont pas satisfaites.

ARTICLE 12 – RÉSILIATION

12.1 Résiliation du "Contrat Principal" (dans le cas d'un "Contrat Principal" liant le CLIENT à son client utilisateur d'Énergie)

En cas de résiliation du Contrat Principal, le présent Contrat sera résilié de plein droit sans indemnisation de part ni d'autre.

Le CLIENT devra notifier la résiliation au FOURNISSEUR par lettre recommandée avec accusé de réception. La résiliation prendra effet dans les mêmes délais que ceux applicables pour le Contrat Principal.

12.2 Résiliation pour manquement grave

Dans le cas de manquement grave d'une des Parties au titre de ses obligations essentielles, la Partie lésée pourra mettre fin au Contrat après avoir adressé une mise en demeure par lettre recommandée avec accusé de réception. La Partie défaillante disposera d'un délai de trente jours calendaires à compter de la réception de la lettre pour faire parvenir à la Partie émettrice de la mise en demeure son plan d'action en termes de moyens et de délais, lesquels seront proportionnels à la nature et à l'importance de la défaillance ayant donné lieu au non respect des obligations contractuelles. Avant sa mise en œuvre, notamment concernant les délais qu'il contiendra, ce plan d'action devra avoir été accepté par la Partie émettrice de la mise en demeure.

A défaut de remédier à la défaillance par application du plan d'action accepté, ou à défaut d'accord des Parties sur ce plan d'action, la Partie lésée pourra résilier le Contrat par lettre recommandée avec accusé de réception. La résiliation prendra effet 1 (un) mois à compter de la réception de ladite lettre.

L'indemnisation de la Partie qui résilie pour faute de l'autre Partie sera limitée à% du chiffre d'affaires annuel du FOURNISSEUR.

ARTICLE 13 – CESSION

13.1 - Par le CLIENT

Le Contrat sera librement cessible par le CLIENT à une société affiliée, qu'elle contrôle ou qui la contrôle (le contrôle étant défini comme la détention de la majorité des actions ou droits de vote aux assemblées générales), sous réserve d'en aviser préalablement le FOURNISSEUR par simple notification.

Dans tous les cas de cession de contrat ou cession d'activité, le CLIENT garantira le FOURNISSEUR de la bonne exécution du Contrat par le cessionnaire.

13.2 - Par le FOURNISSEUR

Le Fournisseur pourra céder ou faire apport de tout ou partie de ses droits et obligations au titre du Contrat, après avoir reçu préalablement l'autorisation expresse et écrite du Client, et sous réserve de demeurer garant du respect des engagements contractuels en cause.

ARTICLE 14 - CAS DE RENEGOCIATION EXCEPTIONNELLE DU CONTRAT

Le présent contrat, défini dans le cadre du contexte législatif actuellement en vigueur, pourra faire l'objet d'une rediscussion si de nouvelles dispositions d'ordre réglementaires ou fiscales ou des décisions par arrêtés préfectoraux sont susceptibles d'entraver de façon notoire, pour l'une ou l'autre des parties, le respect du contrat dans les conditions initialement définies.

ARTICLE 15 – CLAUSE DE SAUVEGARDE MUTUELLE

L'accord des Parties est établi sur les bases techniques et financières définies à sa signature selon les conditions prévisibles de fourniture. Lorsque apparaissent des difficultés d'exécution du

Contrat, les Parties se rencontrent afin de trouver ensemble une solution.

En particulier, si dans le futur, et par le jeu des indices, le prix actualisé de la Biomasse devenait notablement décalé par rapport aux réalités des marchés de Bois-Énergie, le prix de référence ou le prix actualisé pourrait être renégocié à la demande d'une des parties.

Si dans les 15 (quinze) à compter de la date de demande de réexamen formée par l'une ou l'autre des Parties, un accord n'est pas intervenu, il sera fait appel à un expert, dont les conclusions ne lieront pas les Parties, sauf si celles-ci constituent un compromis acceptable par les deux Parties.

ARTICLE 16 – DROIT APPLICABLE ET RÈGLEMENT DES LITIGES

Le présent Contrat est soumis au droit français à l'exclusion de la Convention de Vienne régissant la vente internationale de marchandises.

Tout différend se rapportant au présent Contrat et qui ne pourrait être réglé à l'amiable sera soumis à la compétence du Tribunal de Commerce de

Fait à ..., le,

Pour le CLIENT,

Pour le FOURNISSEUR,

ANNEXE 1 : LOGISTIQUE ET CONTROLE QUALITE**(ADEME-CIBE)****A1-1 : LOCALISATION de la chaufferie****A1-2 : CADENCEMENT & HORAIRES de réception de la biomasse**

Le FOURNISSEUR s'engage à livrer la Biomasse selon un planning défini entre les Parties.

Le cas échéant, le CLIENT pourra modifier ce programme durant la semaine en cours, sous réserve d'avoir prévenu le FOURNISSEUR avec un délai préalable de

Les heures d'ouverture pour la réception de la biomasse seront de :
.....

Dans le cas d'un dysfonctionnement ou d'un arrêt de l'Installation, le CLIENT pourra annuler une livraison prévue.

La présence d'un représentant du CLIENT lors de la livraison sera obligatoire/facultative.

Lors de chaque livraison, le FOURNISSEUR sera tenu de remettre un bordereau de livraison indiquant :

- référence de la commande,
- la date et l'heure de livraison,
- quantité livrée,
- taux d'humidité.

En cas de présence d'un représentant du CLIENT, ce bordereau devra être contresigné par lui.

A1-3 : TYPE DE VÉHICULES UTILISÉS

- nature
- volume unitaire

A1-4 : VOLUME DU SILO**A1-5 : CONDITIONS DE DÉCHARGEMENT****A1-6 : PÉNALITÉ DE RETARD :**

Horaire :euros par

Journalière :euros par

A1-7 : CONTROLES**Quantités livrées**

La pesée des Quantités Livrées s'effectuera par un système de double pesée. [(poids total en charge) – (poids total à vide)].

Humidité

Pour réaliser le contrôle de l'humidité, un échantillon d'environ ...kg de bois sera prélevé en 5 endroits du camion en cours de déchargement. Cet échantillon sera placé dans un sac hermétiquement fermé

L'humidité de cet échantillon sera :

- soit évaluée au moyen d'un four à micro-ondes sur le site de la chaufferie. Le Bois sera pesé avant introduction dans le four. Le chauffage sera arrêté dès l'apparition de dégagements de fumées blanchâtres et/ou d'apparition de traces jaunâtres sur le bois.
- soit mesurée par mise dans un four à 103° durant 24 heures.

Dans les deux cas l'échantillon sera pesé avant et après sa dessiccation, et l'humidité sera déterminée selon la formule :

$$H \% = [(Masse initiale - Masse finale) / Masse initiale] \times 100$$

Contrôle visuel

ANNEXE 2 : QUANTITE DE REFERENCE ET STOCK DE SECURITE (ADEME-CIBE)**A2-1 : QUANTITÉS**

Le CLIENT a estimé de manière indicative ses besoins en Biomasse sur la base du fonctionnement normal de la chaudière, exprimés en tonnes (ou MAP ou MWh entrée ou MWh sortie) / mois, sur la base d'un PCI moyen de :

Mois	Quantité mensuelle de biomasse à livrer, en Tonnes ou MAP ou MWh-entrée ou MWh-sortie
Janvier	
Février	
Mars	
Avril	
Mai	
Juin	
Juillet	
Août	
Septembre	
Octobre	
Novembre	
Décembre	
Total	

A2-2 : INDEMNITÉ en cas de réduction ou d'augmentation significative de la consommation

En cas de demande de la part du CLIENT d'une réduction des livraisons supérieure à% du volume contractuel sur une période de mois, le FOURNISSEUR percevra une indemnisation de € par tonne non réceptionnée.

En cas de demande de la part du CLIENT d'une augmentation des livraisons supérieure à% du volume contractuel sur une période de mois, le FOURNISSEUR s'efforcera de fournir au mieux. Toutefois, il est convenu que les volumes supplémentaires pourraient être livrés à un prix supérieur à celui du contrat, à débattre entre les parties

A2-3 : STOCK DE SÉCURITÉ

Il est convenu que le FOURNISSEUR maintiendra un stock de sécurité permanent d'au moins tonnes, disponible à tout instant.

ANNEXE 3 : QUALITE DU COMBUSTIBLE BIOMASSE**(ADEME-CIBE)****A3-1 : HUMIDITÉ**

Moyenne / annuelle	... %	
Plage de tolérance	Min ... %	Max ... %

A3-2: GRANULOMÉTRIE

Taux de fines	... % maximum
Taux de Sciures	... % maximum
Granulométrie moyenne	... mm x ... mm x ... mm
Granulométrie maximale	... mm x ... mm x ... mm avec un % maximum de% par livraison

A3-3 : TAUX DE CENDRES

Taux de cendres maximum	% tonnes de bois anhydre
-------------------------	--------------------------

A3-4 : TAUX DE POUSSIÈRES

Taux de poussières maximum	... % / tonnes de bois
----------------------------	------------------------

A3-5 : CORPS ÉTRANGER

Le Combustible Biomasse ne devra compter aucun corps étranger tel que pierres, sable, terre, cordes, plastiques, verre, métaux ferreux et non ferreux,

A3-6 : PÉNALITÉ (à calculer sur le prix de vente de la livraison concernée)

Humidité	... % par degré au delà de ... %
Granulométrie	... % pour une non-conformité
Taux de cendres	... % par degré au delà de ... %
Taux de poussière	... % par degré au delà de ... %
Corps étrangers	... % pour une non-conformité

A3-7 : CAS PARTICULIER DES PLAQUETTES FORESTIERES

Pour préciser les caractéristiques des plaquettes forestières, il pourra être utile de se reporter au référentiel établi sous l'égide du FCBA.

ANNEXE 4 : PRIX ET FORMULES DE REVISION

(ADEME-CIBE)

A4-1 : PRIX DE BASE

Le prix de l'énergie, facturée en € par, est fixé à €/..... HT à la date de signature du présent contrat.

A4-2 :MODALITÉS DE RÉVISION

Le prix sera révisé par application de la formule suivante :

(voir étude CIBE sur les différentes formules d'indexation)

ANNEXE 5 : MODALITE DE REPRISE DES CENDRES

(ADEME-CIBE)

A5-1 : QUANTITÉS PRÉVISIONNELLES ANNUELLES ESTIMÉES

A5-2 : CONDITIONS DE STOCKAGE

A5-3 : CONDITIONS D'ENLÈVEMENT, HORAIRES

A5-4 : ANALYSE QUALITATIVE DES CENDRES

ANNEXE 6 : PCI ANHYDRES DES PRINCIPALES ESSENCES**(ADEME-CIBE)**

PCI anhydre par essence (source : AFOCEL)
--

	<u>essence</u>	<u>PCI₀</u>	<u>moyenne</u>
FEUILLUS DURS	châtaignier	5 200	4 979
	orme	5 100	
	hêtre	5 040	
	frêne	5 000	
	acacia	5 000	
	bouleau	5 000	
	chêne	4 950	
	fruitiers	4 900	
	charme	4 800	
	érable	4 800	
FEUILLUS TENDRES	tilleul	4 900	4 865
	peuplier	4 900	
	aulne	4 860	
	saule	4 800	
RESINEUX	pin sylvestre	5 320	5 255
	mélèze	5 300	
	sapin	5 280	
	épicéa	5 230	
	pin maritime	5 200	
	douglas	5 200	

9.6. Annexe 6 - Liste de bureaux d'études qualifiés pour l'installation de chaufferie bois en entreprises horticoles et maraîchères

Cette liste est donnée à titre indicatif, n'est pas exhaustive et n'engage pas les auteurs sur les compétences et la qualité du service rendu par ces entreprises.

AD3E

8 bis rue Henri Regnault, ZI la Chartreuse,
81100 CASTRES
Tel : 05 63 71 03 02
Fax : 05 63 51 11 09
E-mail : <http://www.ad3e.fr>
Site : <http://www.ad3e.fr>

ECOREN

DF Centre d'affaires
24 rue de la Mouche
69540 IRIGNY
Tel : 04 78 73 27 24
E-mail : <http://www.ecoren.fr>
Site : <http://www.ecoren.fr/>

INDDIGO

367, av du Grand Ariétaz
73024 CHAMBERY Cedex
Tel: 04 79 69 89 69
Fax: 04 79 69 06 00
Email: inddigo@inddigo.com
Site : <http://www.inddigo.com>
Sites à Dijon, Nantes, Paris, Toulouse, Montpellier, Nancy, Marseille

SOPAC ENERGIE BOIS

3 allée du Levant
69890 LA TOUR DE SALVAGNY
Tel : 04 78 35 16 56
Fax : 04 37 41 68 96
Email : toutensoleil@sopac.com
<http://toutensoleil.fr>

Alain Montagut

Ingénierie, bureaux d'études en bâtiment
45 avenue Emile Roudayre
Immeuble Peupliers li K
66000 PERPIGNAN
Tel : 04 68 61 56 56

9.7. Annexe 7 - Plaquette Alsace énérgivie « les aides pour le secteur agricole »



Énergies renouvelables • Alsace • Janvier 2011

Les aides pour le secteur Agricole

Pour leurs projets d'installations solaires thermiques ou photovoltaïques et leurs projets d'installations utilisant le bois énergie, les maîtres d'ouvrages du secteur agricole peuvent bénéficier d'aides de l'ADEME et de la Région Alsace, selon le cas.

Ce dispositif est applicable pour les travaux éligibles ayant fait l'objet d'un dépôt de dossier complet de demande de subvention avant le 31 décembre 2011. La demande doit être préalable au début de l'étude ou des travaux.

Pour qui ?

- Structures collectives agricoles
- Exploitations agricoles (y compris fermes auberges et campings à la ferme)

Pour quoi ?

- Des études de faisabilité
- Des investissements pour des installations utilisant les énergies renouvelables :
 - Les chaudières bois à alimentation automatique (plaquettes ou granulés)
 - Les chauffe-eau solaires
- Pour les chaufferies supérieures à 200 kW et les installations solaires thermiques supérieures à 20 m², nous consulter car les Fonds FEDER sont susceptibles d'être mobilisés.
- Pour les chaufferies collectives automatiques au bois avec ou sans réseau de chaleur (Consommation supérieure à 200 TEP soit une puissance de chaudière d'environ 1,5 MW), les installations solaires thermiques (surface de capteurs supérieure à 100 m²), les installations géothermiques et la méthanisation, voir le Fonds chaleur, géré par l'ADEME.

Combien ?

- Les aides indiquées ci-dessous sont plafonnées à 200 000 € sauf précision contraire.

	ÉQUIPEMENT OU PRESTATION SUBVENTIONNÉ	BÉNÉFICIAIRES	NATURE DE L'AIDE
BOIS-ÉNERGIE	CHAUFFERIE AUTOMATIQUE AU BOIS	Exploitations individuelles (y compris fermes-auberges et campings à la ferme ⁽¹⁾) et structures collectives agricoles	Une subvention pour des études de faisabilité ⁽²⁾ : 35 % financés par l'ADEME, 35 % financés par la Région Alsace Une subvention pour les investissements : 30 % financés par la Région Alsace, plafonnés à 200 000 €
	CHAUFFE-EAU SOLAIRE AVEC UNE PRODUCTIVITÉ SUPÉRIEURE À 450 kWh/m²/an	Exploitations agricoles : laiteries, bâtiments d'élevage... (y compris fermes-auberges et campings à la ferme)	Une subvention pour des études de faisabilité ⁽²⁾ : 70 % financés par l'ADEME Une subvention pour les investissements (coût éligible de l'installation plafonné à 1000 €/m² de capteur) : 30 % financés par la Région Alsace seule si surface de capteurs < 7 m², 60% maximum financés par l'ADEME seule si surface de capteurs comprise entre 7 et 100 m².
SOLAIRE	INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDÉE AU RÉSEAU	Fermes-auberges	Un appel à projets : Modalités à paraître courant 2011

En savoir plus : www.energievie.fr

(1) L'aide est de 50% s'il s'agit d'un hébergement ne bénéficiant pas du crédit d'impôt.

(2) Pas de financement d'étude en deçà de 70 kW pour chaufferie bois et 20 m² pour installation solaire thermique, sauf cas particulier. L'assiette maximale des études solaire thermique est de 4 000 €.



Comment ?



Avant toute demande, **contactez un accompagnateur de projets Alsace énergivie**. Il pourra vous guider dans vos démarches. Retrouvez ses coordonnées sur www.energiev.fr (rubrique "Alsace énergivie" puis "L'équipe").

Retrouvez les [fiches projet](#) et [cahiers des charges](#) sur www.energiev.fr (rubrique "aides financières")

POUR LE "Bois-énergie"

→ La demande de subvention doit être adressée uniquement à la Région Alsace

→ Pièces à envoyer :

POUR LA SUBVENTION "ÉTUDE DE FAISABILITÉ"

(ÉTUDE OBLIGATOIRE SUIVANT LE CAHIER DES CHARGES ÉNERGIVIE POUR LES INSTALLATIONS COMPLEXES OU SUPÉRIEURES À 70kW)

- courrier de demande du maître d'ouvrage (avec n°Siret et code APE)
- devis détaillé de l'étude
- RIB du maître d'ouvrage
- inscription au registre de la Chambre d'agriculture (attestation MSA)

POUR LA SUBVENTION "INVESTISSEMENT"

- courrier de demande du maître d'ouvrage (avec n°Siret et code APE)
- puissance inférieure à 70 kW : **fiche projet** complète avec ses annexes
- puissance supérieure à 70 kW ou installation complexe : **étude de faisabilité** (obligatoire sur le modèle du cahier des charges énergivie)
- inscription au registre de la Chambre d'agriculture (attestation MSA)

POUR Le "Solaire thermique"

- La demande de subvention doit être adressée :
- pour les études : uniquement à l'ADEME
 - pour les investissements : à la Région Alsace et à l'ADEME

→ Pièces à envoyer :

POUR LA SUBVENTION "ÉTUDE DE FAISABILITÉ"

(ÉTUDE OBLIGATOIRE SUIVANT LE CAHIER DES CHARGES ÉNERGIVIE POUR LES INSTALLATIONS SUPÉRIEURES À 20M²)

- voir les modalités pour constituer un dossier de demande d'aide à l'ADEME sur www.ademe.fr/alsace (liens en page d'accueil)
- inscription au registre de la Chambre d'agriculture (attestation MSA)

POUR LA SUBVENTION "INVESTISSEMENT"

- courrier de demande du maître d'ouvrage (avec n°Siret et code APE)
- surface de capteurs inférieure à 20 m² : **fiche projet** complète avec ses annexes
- surface de capteurs supérieure à 20 m² ou installation complexe : **étude de faisabilité** (obligatoire suivant le cahier des charges énergivie)
- RIB du maître d'ouvrage
- inscription au registre de la Chambre d'agriculture (attestation MSA)
- voir les modalités pour constituer un dossier de demande d'aide à l'ADEME sur www.ademe.fr/alsace (liens en page d'accueil)

POUR Le "Solaire photovoltaïque"

- se référer au texte de l'appel à projets photovoltaïques disponible sur le site www.energiev.fr (rubrique aides financières / appels à projets)

NB : Les engagements financiers annuels de l'ADEME resteront subordonnés à l'obtention des autorisations de programmes suffisantes, compte tenu des moyens financiers inscrits par les lois de finances.

Alsace énergivie est un programme d'actions innovatrices initié par la Région Alsace pour développer l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables en Alsace, avec l'ADEME et l'Union européenne.



BON À SAVOIR

→ Pour toute information et conseils personnalisés sur votre projet d'installation, contactez un accompagnateur de projets Alsace énergivie à la Région Alsace au **03 88 15 66 33**

→ Des aides existent aussi pour les récupérateurs de chaleur dans les laiteries et pour la production à la ferme d'huile végétale brute.

CONTACT

Région Alsace
BP 91006
67070 Strasbourg Cedex

CONTACT

ADEME Alsace
8, rue Adolphe Seyboth
67000 Strasbourg