

# Valorisation énergétique des déchets de biomasse d'origine végétale



C4H5O2\_5 2/ 9/99 THERMC 4H 50 2 0G 300.000 5000.000 1392.000 1  
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40468566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2



**ETUDE N° 08-0231/1A**

**VALORISATION ENERGETIQUE DES DECHETS  
DE BIOMASSE D'ORIGINE VEGETALE**

**RAPPORT FINAL**

**juin 2010**

**G. PREVOT - ENVALYS**



Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

**Avertissement :**

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :  
**RECORD**, Valorisation énergétique des déchets de biomasse d'origine végétale, 2010, 123 p, n°08-0231/1A.
  
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

© RECORD, 2010

## **RESUME**

Ce document est constitué de 2 parties. La première récapitule les disponibilités en déchets d'origine végétale en France, en plaçant la notion de déchet dans son contexte économique et réglementaire et en identifiant les principales conditions de mise à disposition de ces ressources (dont la majeure partie n'est pas un déchet fatal, inutilisé, dont on chercherait à se débarrasser). La deuxième partie résume les conditions d'utilisation de 6 technologies principales de production d'énergie<sup>1</sup>. Les contraintes logistiques de mise à disposition des différentes ressources et des procédés intermédiaires de préparation pour mieux les adapter aux technologies sont sommairement décrites.

Ce document couvre donc l'ensemble de la problématique de valorisation des déchets d'origine végétale en France depuis la génération du produit jusqu'à la production d'énergie. L'envergure du sujet traité est considérable car il fait appel à des compétences dispersées dans des activités différentes (forestiers, agriculteurs, industrie du bois, industrie agroalimentaire, valorisation de déchet, etc.) et des métiers différents (marketing amont de matière première et de produits industriels, conception et exploitation de systèmes logistiques, conception et exploitation d'unités de production d'énergie). La contrepartie de l'envergure du sujet est le niveau de généralité. L'objectif a été le repérage des principaux enjeux dans tous les domaines couverts, sans majorer l'un au détriment d'un autre, pour éviter de reproduire les cas trop fréquents d'installations qui ne répondent pas aux objectifs environnementaux et économiques recherchés parce que l'importance d'un paramètre du système dont elles font partie a échappé aux concepteurs du système.

La quantification d'un disponible n'a de sens qu'en regard d'une stratégie pour rendre ces volumes disponibles. Compte tenu des hypothèses prises dans le rapport les évaluations sont les suivantes :

Les déchets non dangereux (6 types sont distingués) s'élèvent à 2 millions de tonnes dont la moitié peut être visée par une stratégie spécifique pour l'énergie avec une espérance de réussite de 40 %. Ils peuvent être faiblement contaminés par des produits qui ne sont pas d'origine végétale

Les déchets dangereux (4 types sont distingués) s'élèvent à 2,5 millions de tonnes dont la totalité peut être visée par une stratégie spécifique pour l'énergie avec une espérance de réussite de 40 %. Ils sont contaminés par des produits dangereux qui les rendent dangereux.

La très grande majorité des déchets d'origine végétale (12 types sont distingués) est constituée intégralement de matière végétale brute qui peut être assimilée à un combustible. Une stratégie spécifique pour l'énergie peut viser environ 60 millions de tonnes avec un objectif réaliste de valorisation de l'ordre de 20 millions de tonnes.

Pour concevoir un système de production d'énergie à partir de déchets d'origine végétale, il est indispensable d'inclure dans les limites du système les activités qui produisent les déchets (une segmentation fine sera souvent nécessaire) et les caractéristiques de la demande spécifique en énergie à satisfaire. Il est recommandé d'utiliser les critères de qualification de la ressource suivant : catégories réglementaires à justifier dans chaque cas, caractéristiques physico-chimiques, volume minimum de livraison annuel espéré, conditions de la collecte et la forme physique du déchet. Les 5 technologies envisagées sont : les grandes installations de production d'électricité en co-combustion avec des énergies fossiles, les installations de cogénération de taille moyenne ou petites, les installations de production de chaleur pour les collectivités, la gazéification et la méthanisation. Les principaux critères de différenciation de ces technologies sont les suivants : l'effet de taille, la flexibilité recherchée au regard des volumes de déchets attendus. Deux opérations intermédiaires de transformation des déchets en combustible sont envisageables : la pyrolyse et la thermolyse. Enfin chaque système comprendra une organisation logistique spécifique composée des opérations suivantes : collecte, transport, séchage éventuel, broyage éventuel. Cette organisation nécessitera une segmentation suffisamment fine des gisements de déchets pour une adaptation optimale.

**Mots clés** : biomasse, déchets, végétal, énergie

---

<sup>1</sup> En excluant la production de biocarburant

## **SUMMARY**

This report covers the whole problematic of energy production from biomass residues in France except the production of biofuels. It is made of two parts. The first one gives an overview of the availability of residual biomass resources, The concept of residue (or waste) is placed in its economical and regulatory context (the major part of the resource cannot be considered as waste without any further potential use). The conditions of availability of the resource for each market segment are identified. The second part describes the conditions for the use of 5 different conversion options of these residues into energy. The logistics constraints for the procurement of the fuel and the intermediate operations to prepare it are briefly summarised.

The objective was the identification of key issues in all relevant aspects, without giving too much emphasis to one of them at the expense of another one in order to avoid duplicating the frequent cases of facilities that do not meet environmental and economic targets because the designers of the system have not paid enough attention to a parameter of the system.

**KEY WORDS** : waste-to-energy, residues, biomass

# Principaux résultats obtenus

## 1. EVALUATION DES GISEMENTS DE DECHETS

### Conclusions générales

Les déchets d'origine végétale constituent un gisement très important d'énergie potentielle, sans commune mesure avec l'utilisation énergétique qui en est faite actuellement. Cependant ils sont actuellement utilisés en grande partie (alimentation animale, recyclage matériau et pour une petite partie énergie). La substitution à ces utilisations, même si la capacité de paiement de l'énergie la rend possible au détriment des autres utilisations actuelles, n'est pas recommandable pour des raisons environnementales et de valeur ajoutée. Il existe cependant une possibilité d'augmenter sensiblement la production d'énergie d'origine végétale en :

- améliorant la collecte et le tri des déchets qui partent de manière indifférenciée en décharge (déchets de chantier essentiellement)
- diminuant le retour direct au sol (déchets de l'agriculture essentiellement)
- participant à l'augmentation de la mise en valeur des ressources naturelles (sylviculture essentiellement)
- Développant des procédés de traitement des déchets dangereux

La quantification d'un disponible n'a de sens qu'en regard d'une stratégie pour rendre ces volume disponibles.

La mesure du gisement théorique est cependant assez imprécise pour les raisons suivantes :

- les processus de production sont assez variables,
- la conjoncture économique joue sur plusieurs paramètres déterminant de la branche industrielle concernée ; leurs effets se multiplient sur la génération des déchets
- ils sont définis de manière différente dans les différents inventaires
- le flux de production peuvent être minorés par des coefficients –dires d'experts rarement justifiés– censés refléter la disponibilité.

La répartition au niveau régional est encore plus incertaine car la mesure des gisements ne peut pas s'appuyer sur des informations régionales trop rarement collectées ; elle résulte de l'application de facteurs macroéconomiques supposés jouer de manière proportionnelle, sans que les biais puissent être évalués.

Les déchets non dangereux s'élèvent à 2 millions de tonnes dont la moitié peut être visée par une stratégie spécifique pour l'énergie avec une espérance de réussite de 40 %. Ils peuvent être faiblement contaminés par des produits qui ne sont pas d'origine végétale

Les déchets dangereux s'élèvent à 2,5 millions de tonnes dont la totalité peut être visée par une stratégie spécifique pour l'énergie avec une espérance de réussite de 40 %. Ils sont contaminés par des produits dangereux qui les rendent dangereux.

La très grande majorité des déchets d'origine végétale est constituée intégralement de matière végétale brute qui peut être assimilée à un combustible. Une stratégie spécifique pour l'énergie peut viser environ 60 millions de tonnes avec un objectif réaliste de valorisation de l'ordre de 20 millions de tonnes.

Les facteurs de disponibilité hiérarchisent les différents segments de marché. Ils sont très variables suivant les déchets et pour un même déchet suivant les régions. Les principaux sont :

- Mise en application effective d'une réglementation contraignante sur la valorisation des déchets
- Coût économique de la collecte ; certains déchets nécessitent des opérations coûteuses qui, si la valorisation des déchets n'est pas obligatoire, devront être couvertes par le prix du déchet, donc par le producteur d'énergie,
- Prix attendu par le générateur du produit pour sa mise en marché ; hors contraintes réglementaires, ce prix est rarement négatif ou nul,
- Valeurs environnementales perçues par les parties intéressées, pour les différents usages possibles ; les arguments utilisés pour jouer sur ce facteur manquent souvent d'objectivité,
- Rapport de concurrence entre les différents usages : recyclage matière, amendement du sol, production de carburants, etc. La très grande majorité des déchets entrent actuellement dans des circuits industriels qui les payent en fonction de leur utilité dans leur chaîne de valeur.

Un nouvel entrant sur ces marchés de la matière première énergétique devra déterminer une stratégie marketing amont (prix, produit, logistique, communication) en fonction de ces facteurs pour se procurer ces déchets au meilleur prix. Les tableaux ci-après résument les volumes des gisements au niveau de la France entière et précisent les facteurs de disponibilité.

Dans la deuxième partie de ce document les spécificités des différents types de déchets au regard de leur transformation en énergie par les différentes technologies de valorisation thermique sont passées en revue.

Gisement	kt /an	Facteurs clés de disponibilité
Déchets de l'industrie du bois	70	Environ 20 % actuellement traités ; besoin d'un procédé de traitement performant. Les contraintes réglementaires sont fortes. La totalité de ce volume peut être considéré comme objectif réaliste.
Traverses de chemin de fer ; poteaux	100	
Palettes de manutention souillées	2 400	Une partie collectée avec les déchets industriels dangereux ; l'autre très peu collectée dans les déchets de chantier
Bois traités dans les déchets de chantier		Application de la réglementation en particulier sur le tri, organisation d'une filière (transport, tri) ; un objectif de récupération de 40 % est envisageable
Total	2 570	

Tableau 1 : potentiel de valorisation énergétique de gisement de déchets dangereux

Gisement	kt /an	Facteurs clés de disponibilité
Déchets de l'industrie du bois	1 000	Gisement en valorisation matière et énergie avec des capacités de paiement de ces déchets équivalentes
Palettes traitées	1 000	Une partie collectée avec les déchets dangereux ; l'autre très peu collectée dans les déchets de chantier
Bois non traités et non souillés dans les déchets de chantier		Application de la réglementation en particulier sur le tri, organisation d'une filière (transport, tri) ; un objectif de récupération de 40 % est envisageable
Emballage papiers cartons	0	Actuellement très bien collecté ; recyclage matière essentiellement
Emballage bois		Essentiellement palettes (voir ci-dessus)
Produit du TMB		Très peu répandu en France ; difficulté de différencier les déchets végétaux des autres déchets organiques
Total	2 000	

Tableau 2 : potentiels de valorisation énergétique de déchets d'origine végétale non dangereux

Gisement		kt /an	Facteurs clés de disponibilité
Paille, après retour au sol à un niveau controversé (2/3 sur sol fragiles, 0 % ailleurs), inférieur à la pratique actuelle et après prélèvement pour usages actuels		2 800	Valeur uniquement indicative ; très forte disparité entre régions : une analyse détaillée par régions est indispensable pour trouver la place d'un projet. Plusieurs projets envisageables en France.
Cannes de maïs	Prélèvement 30 % du gisement	3 800	Pas d'utilisations concurrentes ; la pratique actuelle (le brulage ou le retour à la terre) est peu recommandée
	Prélèvement 80 % du gisement	10 000	
Cannes d'oléagineux ; prélèvement 50 % du gisement		2 600	
Sarments de vigne ; gisement total		1 600	Mise au point d'un système de collecte efficace
Produits de la sylviculture : volume supplémentaire exploitable		17 000	Ces produits ne sont pas considérés comme déchets ; ce sont des coproduits ; leur mise à disposition suppose le développement des autres produits ; le coût de la collecte est très variable en fonction des massifs forestiers ; le pouvoir de concurrence de l'énergie est très fort
Déchets humides de l'industrie du bois	Production actuelle	9 400	Gisement majoritairement utilisé en valorisation matière ; une petite partie pour l'énergie (écorces) ; concurrence de plus en plus forte de l'énergie grâce à sa capacité de paiement égale ou supérieure aux recyclages matière.
	Potentielle	4 000	Dépend du développement de l'industrie du bois : potentiel actuellement très théorique
Déchets secs de l'industrie du bois		2 000	Actuellement utilisé pour l'énergie en interne et en recyclage matière ; concurrence de plus en plus forte de l'énergie grâce à sa capacité de paiement égale ou supérieure aux recyclages matière.
Déchets de l'industrie du grain : gisement total		19 000	Complètement utilisé, essentiellement pour la nourriture animale. Le prix acceptable par l'énergie devrait s'approcher du prix actuel de ces produits pour pouvoir en prendre une partie
Déchets de l'industrie du sucre : gisement total de matière sèche		1 500	Complètement utilisé, essentiellement en alimentation animale ; prix très variable. Petite part pour l'énergie (granulés)
Déchets de la vinification		900	Potentiel intéressant pour l'énergie en substitution du compostage actuel
Drèches issues de production de biocarburant		700	Nouveau gisement; très concentré sur quelques sites industriels
Tontes, élagages, feuilles	Gisement total	10 000	L'organisation de la collecte pourrait augmenter sensiblement le volume disponible ; mais le coût est élevé et difficilement acceptable ; usage actuel : compost
	Objectif de collecte	4 000	
Total		89 300	

Tableau 3 : Les déchets d'origine végétale non contaminés assimilables à un sous-produit combustibles

## 2. LES TECHNOLOGIES

### 1. Approche générale

La méthode d'étude consiste à :

- déterminer les caractéristiques discriminantes principales des installations de production d'énergie, en particulier du point de vue de leur rendement, des exigences sur les déchets et du coût global de production du MWh thermique et électrique,
- Repérer les opérations intermédiaires de préparation des déchets qui peuvent améliorer les performances des installations de production d'énergie et diminuer le coût logistique.

### 2. Six installations de production d'énergie

Elles sont distinguées de la manière suivante :

- Les incinérateurs de déchets. Leurs contraintes réglementaires et leur flexibilité au regard des caractéristiques de déchets acceptés (DIB ou DIS) entraînent des coûts par MWh relativement élevés. Le revenu principal vient essentiellement de la vente du service de traitement du déchet.
- Les installations de combustion, technologies bien maîtrisées,
  - Cogénérations de très grandes tailles, supérieures à 100 MW, rendement électrique supérieur à 40 %, acceptant des déchets préparés et très spécifiés, en co-combustion avec des combustibles fossiles.
  - Cogénérations de tailles moyennes, jusqu'à 100 MW, rendement pouvant atteindre 30 % ; en dessous de 20 MW, l'effet d'échelle augmente très sensiblement le coût par MWh.
  - Chaudières pour réseau collectif de chaleur, rendement sur PCI supérieur à 100 % avec condensation des fumées; éventuellement associées à une cogénération d'électricité, rendement net électrique de l'ordre de 20 %.
- Les installations de gazéification ; le rendement net électrique est en général voisin de 30 %, inférieur à ce qu'indique la théorie, du fait de la difficulté à maîtriser le procédé, sauf dans des cas particuliers de déchets très homogènes; taille efficace<sup>2</sup> très variable en fonction du système dont elles font partie (type de déchets, mode de valorisation du syngas).
- Les installations de méthanisation, rendement très variable en fonction du pouvoir méthanogène des déchets, des concepts techniques et de la maîtrise relativement complexe du procédé; taille efficace industrielle de l'ordre de 100 000 t/a, bien plus faible dans le cas d'installations annexées à une ferme ou à une installation industrielle.

---

<sup>2</sup> La notion de « taille efficace » désigne la taille minimale d'une installation pour atteindre un niveau de coût de production acceptable par le segment de marché sur lequel elle se situe.

### 3. Deux types d'installations de préparation de déchets

En produisant des combustibles à haut pouvoir calorifique, de spécifications plus précises et adaptées, elles élargissent le domaine des déchets acceptables par les installations de production d'énergie et peuvent diminuer le coût du MWh. Quelques unités industrielles de démonstration fonctionnent. Leur taille efficace est supérieure à 60 000 t/a.

- La pyrolyse rapide, procédé exothermique, produit 3 combustibles différents (gaz incondensable, huile lourde et charbon).
- La torréfaction, procédé endothermique de chauffage de la biomasse en dessous de 270 °C, produit un combustible solide, très facilement broyable, de caractéristiques constantes ; il concentre 95 % de l'énergie sur 50 à 70 % de la masse initiale de déchets. Cette technique permet de limiter les coûts de transport et prépare un combustible de qualité homogène à partir de déchets différents. Elle est intéressante dans le cas d'installations de grandes capacités qui doivent s'approvisionner en combustibles sur de grandes distances. Pour de petites installations qui peuvent s'approvisionner à moins de cent km elle améliore la praticabilité de leur alimentation.

D'autres opérations de préparation des déchets bien connues, tri, déferrailage, broyage, séchage, mélange et homogénéisation ont des tailles efficaces très réduites et s'intercalent dans les opérations logistiques pour optimiser l'approvisionnement.

Les tableaux 4 et 5 ci-après récapitulent les performances économiques et contraintes principales présentées par les 6 technologies envisagées. Une distinction est faite entre les déchets assimilables à un combustible (non contaminé) et déchets non assimilable à un combustible, car contaminé ou adjuvanté. Les évaluations de cout d'investissement et de fonctionnement sont issues du document : « Technology Data for Electricity and Heat Generating Plants » publié en 2005 par The Danish Energy Authority et 2 opérateurs Danois : Elkraft System and Eltra et disponible sur :

[http://193.88.185.141/Graphics/Publikationer/Forsyning\\_UK/Technology\\_Data\\_for\\_Electricity\\_and\\_Heat\\_Generating\\_Plants/index.htm](http://193.88.185.141/Graphics/Publikationer/Forsyning_UK/Technology_Data_for_Electricity_and_Heat_Generating_Plants/index.htm); Elles ont été recoupées en particulier avec les données fournies sur le site internet de l'IEA : <http://www.ieabioenergy.com/> et avec l'étude « Bioenergy Options for New Zealand », disponible sur <http://www.scionresearch.com/general/science-publications/science-publications/technical-publications/bioenergy-options>

Technologies	Evaluation des coûts en 2010			Demandes satisfaites	Conditions d'utilisation			
	Investiss M€/MWe	Fonctionnement/an			Présentation du déchet	Humidité	Composition chimique	Taille efficace
		Fixes	Variables €/MWe					
Grandes unités en cocombustion	Neuf : 1,2 Reconstruction : 0,1 à 0,6	22 000 €/MWe/an	3	Adaptation d'unités charbon existantes Production d'électricité sur le réseau Difficulté d'utiliser la très grande production de vapeur	- Broyage en poudre pour pulvérisation avec le charbon, ou - Torréfaction et pelletisation préalable ou - Gazéification préalable du déchet, ou - Production séparée de vapeur ; turbinage commun		En combustion directe : limitation sur le % en métaux alcalins et halogènes. Plusieurs concepts techniques répondent à ce problème	> 100 MWe  Typiquement autour de 200 à 400 MWe
	La plus économique pour la production d'électricité en raison du rendement > 40 % et du coût de modification des centrales à charbon ; sous réserve de co-combustion avec des combustibles fossiles							
Petites unités cogénération	3,5 – 4,6	4 % de l'investiss	-	Nécessité d'utiliser la vapeur	Plaquettes de dimensions contenues dans des plages prédéterminées par la conception de l'installation	- Contenue dans des plages prédéterminées par la conception de l'installation - Condensation des fumées possible en cas de forte humidité		> 20 MWe : Soumis à autorisation
	Coût plus élevé en raison d'un rendement électrique plus faible (inférieur à 30 % au lieu de 45 %)							
Chauffage collectivités	0,25 - 0,5	15 000 à 25 000 €/MW/an	-	Réseau de chaleur ; fonctionnement réduit en été				1 à 20 MWth
Gazéification	3	70 000	15	Production de gaz pour des chaudières existantes Production d'électricité avec des flux restreints de déchets homogènes	Broyage et homogénéisation des flux de déchets Déchets dangereux et non dangereux possibles mais l'installation est réglementée comme une unité d'incinération	Produit sec de préférence	Possibilité de traiter le syngas provenant des déchets contaminés	100 000 t/a pour des déchets collectés Quelques kt/a pour une unité intégrée
	L'intérêt économique est dû au rendement électrique de l'ordre de 30 % pour de petites installations, relativement faciles à installer car occupant moins de place							

Technologies	Evaluation des coûts en 2010		Demandes satisfaites	Conditions d'utilisation			
	Investiss M€/MWe	Fonctionnement €/MWe		Présentation du déchet	Humidité	Composition chimique	Taille efficace
Méthanisation < 300 t/j 550 t/j 800 t/j	4 à 5 3,5 2,9	25 à 30	Traitement de déchet avec retour à la terre d'une grande partie de déchet	Broyage et homogénéisation. Les déchets banals (biomasse contaminée non dangereuse) sont acceptés mais l'installation est alors soumise à autorisation et des conditions spécifiques sont imposées pour l'épandage du digestat	Déchets humides de préférence	- Eviter les déchets contenant de la lignine - Rapport C/N entre 20 et 30	Input : 50 à 600 t/j
Facteurs de coût principaux	- Rendement, dépendant de la nature du déchet - L'épandage du digestat est une contrainte						
Pyrolyse	75 à 100 €/t Trop cher comme procédé de préparation		Production d'un gaz, d'un liquide et d'un solide	Broyage et séchage préalable Déchets dangereux et non dangereux possibles mais l'installation est réglementée comme une unité d'incinération			60 000 t/a
Torréfaction	40 à 56 €/t ; Estimation sur la base de quelques unités pilotes ;		Préparation d'un combustible de qualité homogène, à haut pouvoir calorifique ; diminution des coûts de transport	Broyage préalable			60 000 t/a

**Tableau 4 : comparaison des conditions d'utilisation des principales technologies de production d'énergie à partir de déchets biomasse non contaminée**

Incinération	5,5	222 000	21	Déchets dangereux ou non dangereux ; peu de différences dans les prescriptions réglementaires	Broyage et homogénéisation avec foyer à lits fluidisés		Cas particuliers des DIS contenant des halogènes	10 à 30 t/h de déchets
	Elevé en raison des prescriptions sur les stockages, les rejets dans l'atmosphère, les stockages des cendres et mâchefers. Valables pour de très grosses unités d'incinération.							

**Tableau 5 : Production d'énergie à partir de déchets dangereux ou non dangereux non assimilables à un combustible**

### 3. LES CRITERES DE CARACTERISATION DE LA BIOMASSE PAR RAPPORT AUX TECHNOLOGIES

#### 3.1 Critères réglementaires

Du point de vue des processus de production la réglementation européenne distingue les déchets et les sous-produits. Du point de vue de la valorisation énergétique la réglementation sur les installations classées distingue :

- les combustibles commerciaux,
- les sous-produits assimilables à des combustibles ; la démonstration doit être faite que les émissions atmosphériques issues de leur combustion sont de même nature que celle des combustibles commerciaux
- les déchets qui doivent être incinérés dans des installations spécifiques. La contamination par un produit quelconque qui n'est pas de la biomasse lui confère un statut de déchet, dangereux ou non, qui l'exclut des installations de combustion.

Les déchets non dangereux peuvent être méthanisés dans les mêmes installations que les déchets non contaminés.

La réglementation détermine les conditions d'application de prix de rachat de l'électricité et de la chaleur qui ont des conséquences décisives sur la rentabilité des investissements. Les principaux mécanismes sont : le tarif de rachat de l'électricité, les certificats d'origine, les certificats d'économie d'énergie, la fiscalité, les aides à l'investissement, les échanges de quotas d'émissions de CO<sub>2</sub>.

#### 3.2 Caractéristiques intrinsèques des déchets en tant que combustibles

- **L'humidité** diminue le PCI éventuellement en dessous de l'autocombustion ; les déchets les plus humides (au dessus de 60 % d'eau) sont préférentiellement méthanisés ; cas des tontes de jardin par exemple. Pour les déchets secs (environ 20 % d'humidité) la méthanisation a moins d'arguments.

Pour obtenir une humidité constante dans une fourchette acceptable il peut être nécessaire de sécher à l'air et de mélanger des déchets d'origines différentes. C'est l'une des activités des plateformes de conditionnement de déchets pour l'énergie.

- **La composition chimique** et en particulier la teneur en métaux alcalins, azote, halogènes et cendres; sur ce critère la paille se distingue nettement du bois.

Plusieurs bases de données fournissent des caractéristiques techniques de ces ressources, entre autres:

- <http://www.ieabcc.nl/database/biomass.php> (composition chimique)
- <http://www.ieabcc.nl/database/ash.php> (composition des cendres)
- <http://www.ecn.nl/phyllis/defs.asp>

#### 3.3 Le volume minimum de livraison annuel espéré

Ce critère s'évalue par rapport à la taille efficace des installations. Pour faire face aux aléas de la disponibilité en particulier sur les très grandes installations on peut envisager :

- des stockages importants, répartis le long de la filière d'approvisionnement, qui peuvent atteindre un an de fonctionnement avec des risques de dégradation de la matière; ce stockage est obligatoire dans le cas des collectes annuelles ;
- une plus grande flexibilité de l'installation pour élargir la gamme des déchets acceptables et donc le gisement de déchets exploitables ; cette option doit être étudiée au moment de la conception de l'installation ;
- augmenter la distance de transport, avec éventuellement des opérations intermédiaires de préparation, séchage, broyage, compactage et des opérations de transformation de la matière : la torréfaction et la pyrolyse (dans une moindre mesure)

pour diminuer les coûts. Ces dernières ne sont rentables que pour des distances de transport de plusieurs centaines de km.

### 3.4 Les conditions de la collecte et la forme physique du déchet

C'est un facteur de coût essentiel qui exige une segmentation fine des produits pour pouvoir l'analyser car les conditions sont très variables.

La référence de coût élevé est le rémanent forestier après abattage dans une zone de montagne, à distance de la route, sur une petite parcelle. Des systèmes logistiques incluant des machines spéciales permettent de ramasser, compacter, broyer la biomasse au plus près de la source pour limiter les coûts de transport. Le coût de la récolte dépend des sites. Il n'y a pas de coût standard à la tonne. Le seul cout de collecte peut être supérieur à la capacité de paiement d'une installation de production d'énergie.

Les couts de collecte les moins élevés sont obtenus pour des déchets de l'industrie agroalimentaire ou de bois, broyés aux spécifications des installations de combustion et stocké en silos. Entre ces deux types de déchets les écarts de coût de collecte peuvent être supérieurs à 40 €/t.

Entre les deux la paille : elle se trouve à proximité de la route ou même à portée de camion. Le ramassage et le conditionnement sont des opérations standards. La saisonnalité entraine cependant des coûts de stockage spécifique de tous les déchets de récolte.

Certains déchets peuvent être mélangés (au pire à des déchets non assimilables à des combustibles) comme la tonte de jardin dans les ordures ménagères ou le déchet de chantier. Soit ils sont triés à la source et cela entraine des coûts de transport très élevé de petites quantités. Soit les flux sont massifiés et cela entraine des tris.

Le tableau 6, sur les 6 pages suivantes, caractérise chaque type de déchet au regard des technologies. Les deux technologies « petites unités de cogénération » et « chauffage des collectivités » sont regroupées car, en première approche, les différents déchets ne se différencient pas au regard de ces deux technologies.

Les critères de qualification des déchets sont repérés par les N° suivants :

1. Humidité
2. Caractéristiques intrinsèques des déchets
3. Volume minimum de livraison annuel espéré
4. Conditions de la collecte et la forme physique du déchet

Types de déchets et critères	de et	Installations			
		Grandes unités cogénération ; co-combustion avec charbons	Petites unités cogénération et Chauffage collectivités	Gazéification	Méthanisation
Paille,	1	Faible humidité naturelle favorable			Méthane : 242 à 324 m <sup>3</sup> /t de matières volatiles ; possible dans le cadre de méthanisation à la ferme (faible distance de transport des pailles et d'évacuation du compost).
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La majeure partie de l'énergie est produite par des gaz volatils, donc dimensionnement spécifique de la chambre de combustion</li> <li>• Teneurs en métaux alcalins : abaissement du point de fusion des cendres ; peut provoquer l'encrassement de la chaudière, la fusion des réfractaires et la production de mâchefers qui bloque les évacuations</li> <li>• Teneur en azote supérieur au bois mais inférieure au charbon ; provoque la formation de NO<sub>x</sub> chimiques en plus des NO<sub>x</sub> thermiques ; DENOX peut être indispensable</li> <li>• Teneur en cendres 4 fois plus élevée que le bois ; présence de silice</li> <li>• La combustion émet plus de particules (poussières fines, imbrulées et suies) que le bois</li> <li>• La durée de vie des catalyseurs du traitement SCR de la DENOX peut être diminuée.</li> </ul>		Difficile seule. Possible en mélange avec du charbon. Utilisée en complément des cogénérations pour surchauffer la vapeur avec le gaz produit par la paille. Alternative avec la pyrolyse de la paille	
		Teneur en acides des fumées, corrosives à haute température ; aciers spéciaux indispensables dans les surchauffeurs	Teneurs en chlore et soufre entraînent la production d'acides et la corrosion si la température des fumées baisse en dessous du point de rosée.		
	3	Ressources insuffisantes sauf en co-combustion	Installation de petite taille adaptée aux ressources locales disponibles		
	Difficulté de contracter des approvisionnements à long terme ; rechercher le partage des risques de l'investissement avec le fournisseur de paille				
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La qualité des pailles est influencée par la technique de moissonnage qui doit donc être adaptée en conséquence ;</li> <li>• Stockage supérieur à un an ;</li> <li>• Décompactage des bottes et broyage indispensable avant combustion</li> <li>• La ressource est concentrée dans 2 ou 3 régions céréalières non exposées à la concurrence de l'élevage</li> <li>• Une grande distance de transport impose un conditionnement en botte de haute densité</li> <li>• Plusieurs techniques de conditionnement permettent de réduire les volumes transportés jusqu'à 50 % ;</li> </ul>				

Types de déchets et critères d'évaluation	Installations				
	Grandes unités cogénération	Petites unités cogénération Chauffage collectivités	Gazéification	Méthanisation	
Canes de maïs	1	L'humidité diminue de 74 % à 20 % entre août et novembre ; considérer le séchage en andains		- 205 à 450 m <sup>3</sup> de méthane par tonne de matières volatiles - Réactions lentes avec les fibres de la tige	
	2	Conditions critiques comme pour la paille : <ul style="list-style-type: none"> <li>• % de chlore inférieur à la paille mais 8 fois celle du bois</li> <li>• Teneur en cendres intermédiaire entre bois et paille</li> <li>• Azote et potassium supérieur à la paille (K : 1,5 % ; N : 0,97 %)</li> </ul>	La gazéification peut être un moyen d'éviter les problèmes de combustion		
	3	En l'absence d'utilisation concurrente et de circuit commerciaux et logistiques, la mise en place d'un réseau de collecte semble plus facile que pour les autres produits		La méthanisation à la ferme peut être profitable	
		Quantités suffisantes pour de grandes installations			Risque plus limité avec des tailles plus petites
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage minimum d'un an à prévoir ; problème éventuel de conservation de la matière trop humide</li> <li>• Collecter tardivement pour baisser l'humidité (maintenue à 30-40 % de MS pour la méthanisation) et, dans une moindre mesure, la concentration en N et Cl</li> <li>• Broyage indispensable avant combustion et méthanisation</li> </ul>				
Canes d'oléagineux	1	Idem maïs			
	2	Même difficultés, encore plus critiques, que pour les pailles	Idem maïs	150 à 400 m <sup>3</sup> de méthane par t de matières volatiles	
	3	Idem maïs mais les quantités sont moins importantes		Idem maïs	
	4	Stockage d'un an à prévoir avec problème éventuel de conservation Broyage indispensable avant combustion et méthanisation			
Sarments de vigne	1	Inadaptée (lignine)			
	2				Teneur en cendres élevée
	3				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressource relativement concentrée permettant d'envisager l'approvisionnement d'une unité de taille importante, éventuellement en co-combustion, mais volume unitaire collecté faible.</li> <li>• Possibilité de contrats pour de petites installations liées aux viticulteurs</li> </ul>
	4				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise à disposition 1 fois par an, donc stockage à prévoir</li> <li>• Récolte, mise en ballots, transport et broyage, stockage, si l'installation est petite avec des distances de transport courtes ou</li> <li>• Récolte et broyage simultanés, transport stockage</li> </ul>

Types de déchets et critères		Installations			Méthanisation
		Grandes unités cogénération	Petites unités cogénération Chauffage collectivités	Gazéification	
Produits de la sylviculture	1	L'humidité moyenne doit être maintenue dans des limites spécifiées par la conception de la chaudière ; d'où l'exigence éventuelle de plateformes de préparation et de mélange de déchets d'origine variées pour garantir l'humidité moyenne du flux de bois dans la chaudière.		Le bois doit être au préalable séché, éventuellement dans une première phase du système de gazéification	Inadapté lignine
	2	Nombreuses références techniques existantes permettant de limiter les risques de la conception		Plusieurs installations de référence ;	
	3	La garantie de fourniture nécessite l'intervention de sociétés spécialisées en exploitation forestière liées aux propriétaires, aux industriels ou indépendantes et des contrats pluriannuels pour partager les risques de l'approvisionnement. Les plus grosses installations de cogénération envisageables consomment plus de bois que les usines de pâte européennes.			
		Une analyse de risque (prix, volume) sur la durée de vie de l'installation de combustion est indispensable ; la couverture de ces risques doit être prévue			
	4	Les opérations logistiques et leur cout dépendent : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Du type de coupe (dépressage, éclaircie, coupe rase, coupe d'amélioration)</li> <li>• Des peuplements (taillis, futaie, taillis sous futaie, etc.) de feuillus ou de résineux</li> <li>• Des produits récoltés (rémanents, souches, rondins)</li> <li>• Des caractéristiques de la coupe (pente, distance de débardage, densité du peuplement, volume)</li> </ul>			
		L'investissement dans une unité de torréfaction peut être profitable	Une petite taille permet de cibler des gisements relativement homogènes à proximité de l'unité		

Types de déchets critères d'évaluation	de	Installations				Méthanisation
		Grandes unités cogénération	Petites unités cogénération	Chauffage collectivités	Gazéification	
Déchets humides de l'industrie du bois	1	L'humidité moyenne doit être maintenue dans des limites spécifiées par la conception de la chaudière ; d'où l'exigence éventuelle de plateformes de préparation et de mélange de déchets d'origine variées pour garantir l'humidité moyenne du flux de bois dans la chaudière.			Séchage préalable à la gazéification, éventuellement dans le même réacteur	Inadapté ; lignine
	2	L'écorce est plus riche en incombustibles ; pci légèrement plus faible				
	3	Concurrence avec l'industrie du papier et du panneau de bois qui procurent une meilleure performance environnementale et une meilleure valeur ajoutée. Mais leur capacité de paiement est contrainte par la concurrence sur les produits finis ; Coût de marketing amont nettement plus faible que pour les produits de la sylviculture.				
	4	Certains scieurs produisent des pellets pour la vente aux détails ou à l'industrie. Le broyage en plaquettes peut être fait par le producteur (humidité environ 55 %, difficile à sécher) ou sur une plateforme de conditionnement après séchage (dosses et délignures) La production de déchets se concentre progressivement sur de grandes unités de production réparties sur les principaux massifs forestiers ; logistique simple				
Déchets secs de l'industrie du bois	1	Humidité de l'ordre de 20 % ; coût de transport relativement plus faible			Inadapté ; lignine	
	2	Pas d'enjeu particulier				
	3	Idem déchets humides				
	4	Le broyage est en général fait sur des plateformes de préparation de déchets par des entreprises qui assurent la logistique globale Ressource répartie dans toute la France				
Tontes, élagages feuilles	1	Humidité moyenne très variable en fonction des déchets et des périodes de collecte. Ces techniques ne sont pas favorables pour les tontes.			Le plus favorable pour les tontes. Les déchets d'élagage ne sont pas méthanisables.	
	2	Les déchets issus des ménages doivent être incinérés comme des OM ou séparés pour être considérés comme un combustible				
	3	Flux de déchets facilement maîtrisable par l'industrie du nettoyage Concurrence du compostage				
	4	Deux logistiques différentes :a) tri à la source et transport ou b) collecte en masse avec les OM et tri mécano biologique La norme sur les composts rend coûteuse le TMB qui garantit sa qualité. Le tri à la source peut-être préféré Concentré dans les grandes villes				

Types de déchets et critères d'évaluation	Installations				
	Grandes unités cogénération	Petites unités cogénération Chauffage collectivités	Gazéification	Méthanisation	
Déchets de l'industrie du grain	1	Faible humidité favorable			Pouvoir méthanogène faible
	2	Forte teneur en cendres : 10 à 20 fois celle du bois			
	3	Très forte concurrence de l'alimentation animale à des prix relativement élevés. Difficile de compter sur cette ressource sauf pour de petites installations sur les lieux de production du déchet			
	4	Logistique très simple			
		Ressource concentrée en quantités limitées sur des sites industriels			
Pulpe de betterave	1	Le produit est séché pour les besoins de l'alimentation animale : 68 % de la MS disponible contient 20 % d'eau ; 31 % contient 70 à 80 % d'eau ; 1 % contient 90 % d'eau			Possible avant séchage
	2	Teneur en cendres fortes et variables : 5 % à 24 % de la MS Teneur en S jusqu'à 20 g/kg MS par suite des traitements en amont, d'où nécessité de traitement des fumées adapté			
	3	Approvisionnement risqué car très dépendant du prix de marché de l'alimentation animale			
	4	Concentration dans des régions délimitées et sur des sites de grande production Production de pellets très limitée			
Déchets de la vinification	1	55 % d'eau			Favorable
	2	Forte teneur en K ; risque de fusion des cendres (voir paille)	Evite les problèmes liés à la combustion		Rapport C/N faible : 20
	3	Gisement trop faible et dispersée pour la taille	Installations sur site possible avec accord avec le producteur Concurrence du compostage		
	4	Collecte très facile sur site			
Drêches	1	Le produit est très humide. Peut être livré en granule déshydraté ou humide			Possible avant séchage
	2	Pas d'enjeu signalé dans les données disponibles			
	3	Approvisionnement risqué car très dépendant du prix de marché de l'alimentation animale			
	4	Nécessite un séchage Très concentré sur quelques sites industriels			L'épandage des digestats sera coûteux en transport en raison des quantités produites par sites

Types de déchets et critères	de et	Installations			
		Grandes unités cogénération	Petites unités cogénération Chauffage collectivités	Gazéification	Méthanisation
Palettes	1	Bois secs			Inadapté
	2	Difficulté de garantir l'absence de souillures telles que peintures, colles, vernis et agents fongiques		Prétraitement de bois faiblement contaminé avant combustion du syngas <u>épuré</u> dans une chaudière ?	
	3	Nécessité de contracter avec des collecteurs qui assurent entre autres la traçabilité Concurrence de l'industrie du panneau			
	4	Des plateformes de préparation réalisent le broyage, dépoussiérage, pesage et garantissent grâce à des mélanges avec d'autres combustibles l'humidité moyenne de la livraison adaptée à l'installation			
Emballage papiers cartons	1	Produit sec de fort PCI			Inadapté sauf pour le papier « sans bois » qui doit être trié à la source
	2	Les déchets ne doivent pas être souillés pour être acceptés dans des installations de combustion			
	3	- Taux de recyclage très élevé : la matière est disponible - Très forte concurrence du recyclage matière qui bénéficie d'une aide financière des collectivités ; - Arguments pour le recyclage contestables du point de vue environnemental pour certaines sortes			
	4	Les systèmes logistiques sont connus et optimisés			
Produit du TMB	1	La matière organique extraite est en général très humide ; donc PCI relativement faible			Convient à la méthanisation
	2	La qualité du TMB doit être suffisante pour démontrer que le déchet devient un combustible. Sinon le déchet doit être incinéré		Etape intermédiaire avant combustion d'un gaz propre ?	La qualité du TMB doit être suffisante pour permettre l'épandage des digestats
	3	Idéalement une installation produit un combustible dans des conditions industrielles ; la contractualisation des fournitures est possible. La production est faible et très chère, jusqu'à 100 €/t			
		Les petites unités peuvent être intégrées au TMB et limiter la logistique			
4	En théorie une installation idéale pour préparer un combustible adéquat. Des améliorations techniques doivent être apportées pour garantir la qualité et séparer les déchets d'origine végétale des autres biodéchets (statuts différents au regard de la contribution à l'effet de serre)				

**Tableau 6 : Adéquation d'un type de déchet à une technologie de combustion**

#### 4. CONCLUSION SUR LES SYSTEMES DE VALORISATION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE

- Un système de production d'énergie à partir de déchets d'origine végétale ne peut être conçu que dans un cadre très précis et déterminé qui limite le nombre de degré de liberté du système. Les seuls critères techniques d'adaptation d'une technologie de production d'énergie avec les caractéristiques physiques et chimiques d'un déchet sont très insuffisants et même trompeurs pour structurer un système de valorisation de ces déchets. La hiérarchie des options est bouleversée dès l'instant que l'on prend en compte :
  - o Les diverses options de conception des technologies de base qui peuvent répondre aux spécificités des déchets arrivant à l'unité industrielle
  - o La multitude des degrés de liberté pour organiser les opérations logistiques et de préparation du déchet avant l'entrée de la chaudière
  - o Le cout de couverture du risque de rupture de l'approvisionnement.
- La problématique de la valorisation des déchets d'origine végétale se pose donc en termes de système industriel, étendu :
  - o en amont aux activités qui font l'offre de déchets. C'est indispensable pour pouvoir ajuster la demande de l'énergie dans l'ensemble des autres utilisations existantes en recherchant au maximum les synergies (recyclage matières, utilisations agroalimentaires);
  - o en aval aux utilisateurs de l'énergie (systèmes existants de production d'énergie, caractéristiques de la demande)
- La taille efficace d'une installation de production d'énergie est le paramètre essentiel au regard de la ressource en déchets. Les plus grandes sont en général les plus efficaces. Mais la distance de transport donc le coût du déchet augmente et le risque sur les prix et les volumes peut devenir trop grand pour permettre le financement de l'installation. Le marketing amont et la logistique matière première peuvent devenir très complexes pour de très grandes installations. En aval la production de chaleur doit trouver les demandes suffisantes.
- La flexibilité d'une installation donnée au regard de la variabilité des caractéristiques des déchets disponibles dans des conditions économiques acceptables, éventuellement en co-combustion avec des combustibles fossiles, est le deuxième critère primordial de conception. Les réponses techniques à cette question sont connues. Mais la mesure de la rentabilité du supplément d'investissement initial, par exemple pour baisser le prix du déchet rendu ou pour maîtriser le risque de rupture d'approvisionnement, est beaucoup plus délicate. En particulier le travail de conception d'une installation ne peut pas aboutir si l'on ne dispose pas des résultats d'une étude précise des sources potentielles et des stratégies d'approvisionnement qui détermineront les couts de la matière première.
- Les risques techniques sont très faibles pour la combustion, quelque soit le produit, si les spécificités de ce produit ont été prises en compte au moment de la conception du système. De multiples références industrielles existent, même si des développements techniques sont envisageables pour rendre les installations plus flexibles et améliorer les rendements. Ils sont plus importants pour la gazéification et la méthanisation, surtout dans le cas de variabilité des caractéristiques des déchets, en raison de la difficulté de maîtriser ces procédés relativement complexes.

## **SOMMAIRE DE LA PREMIERE PARTIE : EVALUATION DES VOLUMES DISPONIBLES**

1.	Résidus de récoltes .....	27
1.1.	Pailles de céréales .....	27
1.1.1.	Définition ; portée de l'étude.....	27
1.1.2.	Sources d'information.....	27
1.1.3.	Caractérisation des déchets.....	27
1.1.4.	Facteurs déterminant les quantités .....	28
1.1.5.	Tableaux récapitulatifs des quantités disponibles par région .....	31
1.2.	Cannes de maïs .....	34
1.2.1.	Définition.....	34
1.2.2.	Sources d'information.....	34
1.2.3.	Modalités de collecte .....	34
1.2.4.	Caractérisation des déchets.....	34
1.2.5.	Facteurs déterminant les quantités .....	35
1.2.6.	Incertitude de la mesure des volumes.....	35
1.2.7.	Tableau récapitulatif des quantités disponibles .....	36
1.3.	Les pailles et cannes d'oléagineux .....	37
1.3.1.	Définition.....	37
1.3.2.	Sources d'informations .....	37
1.3.3.	Caractérisation des déchets.....	37
1.3.4.	Facteurs déterminant les quantités .....	37
1.3.5.	Niveaux d'incertitude .....	38
1.3.6.	Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région .....	38
1.4.	Résidus de la viticulture .....	40
1.4.1.	Définition.....	40
1.4.2.	Sources d'information.....	40
1.4.3.	Caractérisation des déchets.....	40
1.4.4.	Facteurs déterminant les quantités .....	41
1.4.5.	Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région .....	41
2.	Déchets de la sylviculture et de l'exploitation forestière .....	43
2.1.	Génération des déchets.....	43
2.2.	Sources d'information .....	43
2.3.	Traitement des déchets avant livraison aux usines .....	44
2.3.1.	Contraintes de livraison.....	44
2.3.2.	Rémanents .....	44
2.3.3.	Souches.....	44
2.3.4.	Rondins .....	45
2.4.	Caractéristiques des déchets.....	45
2.5.	Détermination des volumes disponibles .....	46
2.5.1.	Facteurs déterminant les quantités disponibles .....	46
2.5.2.	Le point de vue de cette étude .....	47
2.5.3.	Tableau récapitulatif des volumes disponibles.....	47
2.5.4.	Comment utiliser ces évaluations de disponibilité.....	48
3.	Déchets de l'industrie mécanique du bois .....	49
3.1.	Sans substances dangereuses.....	49
3.1.1.	Les produits humides .....	49
3.1.2.	Les produits secs (environ 20 % d'humidité) .....	51
3.2.	Avec substances dangereuses .....	51
3.2.1.	Bois faiblement adjuvantés .....	51
3.2.2.	Bois fortement adjuvantés.....	51
4.	Déchets de bois en fin de vie.....	52
4.1.	Traverses de chemin de fer et poteaux télégraphiques.....	52
4.2.	Palettes et emballages lourds en bois .....	52
5.	Déchets de jardins, tontes, élagage .....	53
5.1.	Définition .....	53
5.1.1.	Déchets verts des ménages.....	53
5.1.2.	Déchets verts des collectivités .....	54
5.2.	Sources d'information .....	54
5.3.	Caractérisation des déchets.....	54
5.4.	Facteurs déterminant les quantités .....	55
5.5.	Niveaux d'incertitude.....	56
5.6.	Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région.....	56

6.	Déchets de l'Industrie Agro Alimentaire.....	58
6.1.	Origines des déchets .....	58
6.2.	Déchets de la transformation du grain .....	58
6.2.1.	Définition.....	58
6.2.2.	Sources d'information.....	58
6.2.3.	Modalités de collecte .....	59
6.2.4.	Caractérisation des déchets.....	59
6.2.5.	Facteurs déterminant les quantités .....	59
6.2.6.	Méthodologie appliquée et incertitude .....	60
6.2.7.	Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région .....	60
6.3.	Déchets de l'industrie de la transformation du sucre .....	61
6.3.1.	Sources d'informations .....	61
6.3.2.	Caractérisation des déchets.....	61
6.3.3.	Filières actuelles de valorisation .....	61
6.3.4.	Méthodologie d'évaluation des gisements et niveaux d'incertitude .....	63
6.3.5.	Tableau récapitulatif des disponibilités par régions .....	63
6.4.	Marc de raisin.....	64
6.4.1.	Définition.....	64
6.4.2.	Sources d'information.....	64
6.4.3.	Modalités de collecte .....	65
6.4.4.	Caractérisation des déchets.....	65
6.4.5.	Facteurs déterminant les quantités .....	66
6.4.6.	Méthodologie et niveaux d'incertitude.....	67
6.4.7.	Tableau récapitulatif des quantités de marcs de raisins disponibles en France.....	67
6.5.	Drèches de blé .....	68
6.5.1.	Définition.....	68
6.5.2.	Sources d'information.....	69
6.5.3.	Volumes disponibles.....	69
6.5.4.	Composition.....	69
7.	Déchets de chantiers .....	71
7.1.	Sources d'information .....	71
7.2.	Activités génératrices de déchets .....	71
7.3.	Caractérisation des déchets.....	71
7.4.	Méthodologie d'évaluation des gisements de déchets d'origine végétale .....	72
7.5.	Règlementation du captage et de la valorisation des déchets du BTP .....	73
7.6.	Les installations de stockage et de tri des déchets du BTP : .....	73
7.7.	Evaluation du captage et de la valorisation des déchets du BTP .....	74
7.8.	Condition de gestion des déchets du BTP.....	75
7.8.1.	Coût .....	75
7.8.2.	Mode de transport des déchets du BTP.....	75
7.8.3.	Facteurs clés de collecte du bois dans les déchets du BTP.....	75
7.9.	Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région.....	76
8.	L'extraction bio-mécanique .....	80
8.1.	Sources principales d'information .....	80
8.2.	Définition .....	80
8.3.	Processus.....	80
8.4.	Coût et rendement .....	81
9.	Déchet d'emballage .....	82
9.1.	Sources d'information .....	82
9.2.	Caractérisation des déchets.....	82
9.3.	Facteurs déterminant les quantités.....	82
9.4.	Les gisements .....	82
9.4.1.	Modalités de valorisation.....	83
9.4.2.	Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région .....	84

## **Sommaire de la deuxième partie: La production d'énergie**

10.	Objet de cette partie du rapport et méthode .....	87
11.	L'impact de la réglementation sur la valorisation énergétique des déchets d'origine végétale	88
11.1.	La définition d'un déchet du point de vue des processus de sa production .....	88
11.1.1.	Déchet ou sous-produit .....	88
11.1.2.	La classification réglementaire des déchets .....	88
11.1.3.	La classification de la profession.....	88
11.2.	La définition d'un déchet du point de vue de sa valorisation énergétique.....	90
11.2.1.	Les rubriques de la réglementation sur les installations classées .....	90
11.2.2.	Cas particulier de la gazéification et de la pyrolyse .....	91
11.2.3.	Principales différences réglementaires entre les installations de combustion et d'incinération.....	91
11.2.4.	La réglementation sur les déchets ultimes .....	93
11.3.	La réglementation sur le marché de l'énergie .....	93
11.3.1.	Principe général.....	93
11.3.2.	La fiscalité.....	93
11.3.3.	Les certificats d'économie d'énergie .....	94
11.3.4.	Les obligations d'achat à un prix prédéterminé.....	94
11.3.5.	La fixation des prix de vente de l'électricité par appel d'offres.....	94
11.3.6.	Les quotas d'émission (cf. <a href="http://installationsclassées.ecologie.gouv.fr/11-Quotas-de-CO2.html">http://installationsclassées.ecologie.gouv.fr/11-Quotas-de-CO2.html</a> ) 94	
11.3.7.	Les garanties d'origine et certificats verts .....	95
11.3.8.	Les aides à la sylviculture .....	96
11.3.9.	Les aides à l'investissement.....	96
12.	Description sommaire des installations .....	97
12.1.	Chaudières de production de chaleur pour les réseaux des collectivités .....	97
12.1.1.	Caractéristiques des installations.....	97
12.1.2.	Contraintes sur les flux de déchets entrant.....	98
12.2.	Cogénération de taille moyenne .....	98
12.2.1.	Caractéristiques des installations.....	98
12.2.2.	Contraintes sur les déchets.....	99
12.3.	Centrale de cogénération de forte capacité en co-combustion .....	100
12.3.1.	Caractéristiques des installations.....	100
12.3.2.	Contraintes sur les déchets.....	101
12.4.	Installations d'incinération.....	101
12.4.1.	Caractéristiques des installations.....	101
12.4.2.	Contraintes sur les déchets.....	102
12.5.	Gazéification .....	102
12.5.1.	Caractéristiques des installations.....	102
12.5.2.	Variante du procédé .....	103
12.5.3.	Intérêt de la gazéification .....	103
12.5.4.	Contraintes sur les déchets.....	104
12.6.	Méthanisation.....	104
12.6.1.	Caractéristiques des installations.....	104
12.6.2.	Conditions d'applications de la méthanisation .....	106
12.6.3.	Contraintes sur les déchets.....	106
12.7.	Tableaux récapitulatifs .....	107
13.	Critères de différenciation des déchets du point de vue des installations .....	112
13.1.	Critères techniques.....	112
13.1.1.	Humidité .....	112
13.1.2.	PCI.....	112
13.1.3.	Composition chimique .....	113
13.1.3.1.	Différenciation réglementaire, non dangereux/dangereux .....	113
13.1.3.2.	Déchets non dangereux .....	113
13.1.4.	Granulométrie.....	114
13.1.5.	Homogénéité du flux de déchets et variabilité des caractéristiques .....	115
13.2.	Critères de disponibilité .....	115
13.3.	Critères relatifs aux opérations logistiques.....	115
13.3.1.	Les critères relatifs à la collecte .....	115
13.3.1.1.	Les conditions géographiques de la collecte .....	115

13.3.1.2.	La dispersion géographique .....	116
13.3.1.3.	La forme physique présentée par le déchet et les conditions de production .....	116
13.3.2.	Le tri.....	116
13.3.3.	Les critères relatifs au transport .....	116
13.3.3.1.	Foisonnement ou densité apparente du déchet.....	116
13.3.3.2.	PCI par tonne transportée .....	116
13.3.3.3.	Les moyens de transport.....	116
13.3.3.4.	Possibilité de fret retour.....	117
13.3.4.	Les critères relatifs au chargement .....	117
13.3.4.1.	Présentation physique du produit.....	117
13.3.4.2.	Stockage tampon en silo .....	117
13.4.	Les critères relatifs au stockage .....	117
13.4.1.	Saisonnalité de la récolte .....	117
13.4.2.	Constitution d'un stock tampon commercial.....	117
13.4.3.	Conditions de stockage .....	117
14.	Les techniques de préparation des déchets .....	118
14.1.	Pyrolyse rapide .....	118
14.1.1.	Caractéristiques de la technique .....	118
14.1.2.	Contraintes sur les déchets.....	119
14.1.3.	Stade de développement de la technique.....	119
14.1.4.	Place de la pyrolyse dans la valorisation des déchets végétaux .....	120
14.2.	Torréfaction.....	120
14.2.1.	Caractéristiques de la technique .....	120
14.2.2.	Etat de la technique.....	120
14.2.3.	Place de la torréfaction dans une chaîne de valorisation de déchets .....	121
14.3.	Cas particulier des déchets dangereux .....	122
15.	Pertinence des opérations de préparation des déchets.....	122
15.1.	Augmentation du pouvoir calorifique .....	122
15.2.	Homogénéisation .....	123
15.3.	Tri.....	123
15.4.	Broyage.....	123

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 :	Schéma des réactions de méthanisation .....	104
Figure 2 :	Production de méthane par type de déchets (source : ADEME) .....	107
Figure 3 :	rendement sur pci d'une chaudière en fonction de l'humidité.....	112
Figure 4 :	courbes de variation du PCI du bois en fonction de l'humidité .....	113
Figure 5 :	schéma du procédé Dynamotive.....	118
Figure 6 :	schéma du procédé BTG .....	120
Figure 7 :	Schéma de la technologie (source ECN).....	121

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : potentiel de valorisation énergétique de gisement de déchets dangereux.....	6
Tableau 2 : potentiels de valorisation énergétique de déchets d'origine végétale non dangereux .....	6
Tableau 3 : Les déchets d'origine végétale non contaminés assimilables à un sous-produit combustibles.....	7
Tableau 4 : comparaison des conditions d'utilisation des principales technologies de production d'énergie à partir de déchets biomasse non contaminée.....	11
Tableau 5 : Production d'énergie à partir de déchets dangereux ou non dangereux non assimilables à un combustible .....	11
Tableau 6 : Adéquation d'un type de déchet à une technologie de combustion.....	19
Tableau 7 : composition chimique des pailles.....	27
Tableau 8 : Teneur en azote, soufre et chlore des pailles (sources : étude ADEME sur la combustion des pailles) .....	28
Tableau 9 : Disponibilité en paille dans les régions à fort risque d'érosion .....	32
Tableau 10 : Disponibilité en paille dans les régions à faible risque d'érosion.....	33
Tableau 11 : composition chimique des chaumes de maïs au moment de l'ensilage .....	35
Tableau 12 : disponibilité en cannes de maïs .....	36
Tableau 13 : Composition des cannes d'oléagineux.....	37
Tableau 14 : disponibilité en cannes d'oléagineux.....	39
Tableau 15 : composition des sarments de vigne.....	41
Tableau 16 : disponibilité en sarments de vignes .....	42
Tableau 17 : Volume supplémentaire de bois énergie et de bois de trituration en milliers de m <sup>3</sup> par région.....	47
Tableau 18 : décomposition du coût des plaquettes de bois (moyenne en 2008 d'un fournisseur de bois énergie).....	48
Tableau 19 : exemple de coût comparé d'exploitation et de transport du bois.....	48
Tableau 20 : Production de déchets humides non contaminés de l'industrie du bois en millions de t.	49
Tableau 21 : Volumes supplémentaires de produits connexes de scieries en milliers de m <sup>3</sup> (source CEMAGREF octobre 2007).....	50
Tableau 22 : disponibilité en produits connexes de scierie (en milliers de t).....	50
Tableau 23 : production de déchets secs faiblement contaminés de l'industrie du bois .....	51
Tableau 24 : composition chimique des déchets verts .....	55
Tableau 25 : production de déchets verts .....	57
Tableau 26 : Production de déchets de l'industrie du grain .....	60
Tableau 27 : production de déchets de l'industrie du sucre.....	63
Tableau 28 : production de marc de raisins .....	68
Tableau 29 : production de drèches.....	69
Tableau 30 : Composition chimique (% MS) relevé par le comité national des coproduits .....	70
Tableau 31 : déchets de chantiers .....	79
Tableau 32 : déchets d'emballage .....	85
Tableau 33 : Quelques caractéristiques distinctives des procédés de production d'énergie à partir de biomasse .....	87
Tableau 34 : classification des déchets.....	89
Tableau 35 : principales références réglementaires pour la valorisation énergétique des déchets d'origine végétale non contaminés, assimilables à des combustibles .....	91
Tableau 36 : Evaluation des coûts externes de la production d'un MWh par différentes énergies (source : étude CEE ExternE : Global warming, Public health, Occupational health, Material damage) .....	93
Tableau 37 : Prix des certificats verts (source : <a href="http://www.cwape.be/xml/themes.xml?IDC=1559">http://www.cwape.be/xml/themes.xml?IDC=1559</a> ) ....	96
Tableau 38 : Technologies, principaux aspects techniques.....	109
Tableau 39 : technologies, ordre de grandeur des coûts de production de l'énergie .....	110
Tableau 40 : technologies, aspects réglementaires principaux .....	111
Tableau 41 : Comparaison pellets de bois torréfié et pellets de bois bruts (source ECN) .....	122

**PREMIERE PARTIE**

**EVALUATION DES VOLUMES DISPONIBLES**

## 1. Résidus de récoltes

Les résidus de récolte sont majoritairement constitués des pailles et des cannes de céréales et des oléagineux, et des sarments de vignobles. Ces résidus représentent cependant un gisement très important, de près de 20 millions de tonnes.

### 1.1. Pailles de céréales

#### 1.1.1. Définition ; portée de l'étude

Il s'agit des co-produits de la culture de céréales à petits grains: blé, orge, avoine, seigle, riz, triticale, constituée de la tige lignifiée rigide de la plante récoltée à maturité, suivant la définition qu'en donne le Comité National des Co-produits de l'Institut de l'Élevage. Cette tige est également désignée par le terme chaume.

La production française de céréales à paille est concentrée sur le blé tendre et l'orge, représentant respectivement 70% et 21% de la production nationale. Cette partie du rapport sera donc consacrée à ces deux productions, ceci afin de limiter les approximations en ce qui concerne les ratios de production de paille.

#### 1.1.2. Sources d'information

Le cahier du CLIP "Biomasse et électricité"<sup>3</sup>, du Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement a fourni des informations concernant les gisements potentiels en biomasse de l'agriculture et de l'IAA, que nous avons recoupés avec les données du Comité National des Coproduits et celles du Guide Biomasse Energie de 2005, sous la direction de Yves Schenkel et Boufeldja Benabdallah<sup>4</sup>. Le CLIP fournit des productions et des tonnages de collecte.

L'AGRESTE, l'institut de statistiques agricoles du ministère de l'agriculture et de la pêche, disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/>, fournit des données sur les productions de céréales par régions.

Une étude menée en région Picardie a donné lieu au Guide « Exporter des pailles sans risque pour l'état organique des sols », réalisé en mai 2008 avec la participation de l'INRA ; il a permis de préciser les indications sur les besoins en paille des sols<sup>5</sup>.

#### 1.1.3. Caractérisation des déchets

Les pailles sont constituées de la tige rigide des céréales récoltées. Il s'agit de biomasse naturelle.

En moyenne, une paille de céréales au moment de la récolte est composée de 75 à 88% de matière sèche. Les caractéristiques chimiques donnent un pci moyen 4 600 kWh/t matière sèche (CLIP 199).

La composition chimique est donnée dans le tableau ci-après :

	Moyenne	Valeurs extrêmes	Sources
Matière sèche (% de MS)	80	75-88	Comité national des Coproduits
Matières minérales (% MS)	7	5-10	
Cellulose brute (% MS)	42	40-50	
Carbone (% MS)	45	Max 62	Centre de l'Energie des Pays Bas (ECN), <a href="http://www.ecn.nl">www.ecn.nl</a>
Hydrogène (% MS)	6	Max 9	
Oxygène (% MS)	42	Max 54	

Tableau 7 : composition chimique des pailles

<sup>3</sup>"Biomasse et électricité", *Les cahiers du CLIP*, Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement. N°10, septembre 1999,

<sup>4</sup> *Guide Biomasse Energie*, sous la direction de Yves Schenkel et Boufeldja Benabdallah, en partenariat avec l'ADEME et le CRA-W Gembloux, *Les publications de l'IEPF*, Collection les Points de Repère, 2<sup>ème</sup> édition, 2005.

<sup>5</sup> Guide de décision à la parcelle Exporter des pailles sans risque pour l'état organique des sols , FRCA Picardie – AGRO-TRANSFERT – ARVALIS – INRA – LDAR – Chambres d'agriculture de Picardie, mai 2008.

		PAILLE		PLANTE ENTIERE		GRAINS		BOIS	
		Min.	Max.			Min.	Max.	Min.	Max.
<b>Azote (N)</b>	%	0,18	0,84	1,16	1,35	1,65	3,94	0,07	0,49
<b>Soufre (S)</b>	%	0,05	0,27	0,10	0,14	0,10	0,11	0,004	0,05
<b>Chlore (Cl)</b>	%	0,14	0,75	0,18	0,30	0,04	0,09	0,004	0,02

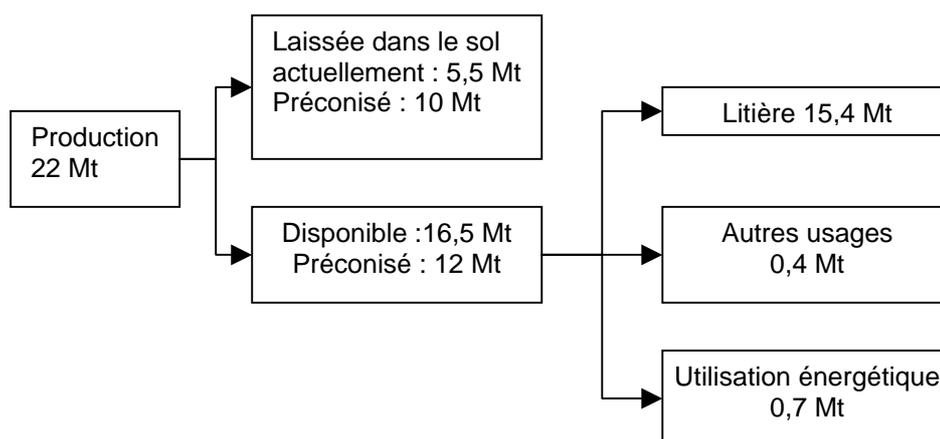
**Tableau 8 : Teneur en azote, soufre et chlore des pailles (sources : étude ADEME sur la combustion des pailles)**

La teneur des pailles en azote, soufre et chlore (20 fois plus que le bois) provoquent la production de gaz acides en combustion et donc des risques de corrosion (voir deuxième partie). De même les pailles contiennent en moyenne 1 % de potassium (soit 10 fois plus que le bois), ce qui entraîne une température de fusion des cendres plus basse.

#### 1.1.4. Facteurs déterminant les quantités

##### a) structure de l'analyse

Le diagramme ci-après indique les flux principaux actuels et envisageables.



##### b) Rendement des productions par hectares

Les rendements de paille varient peu d'une exploitation à une autre. Le CLIP (CLIP 1999) donne un rendement des pailles de blé de 3,5 ts/ha. Il s'agit, selon le Guide biomasse Energie, d'une production de 4 t à l'hectare (sur 12 t de production totale) pour l'ensemble des céréales, de 1 à 5 t pour le froment selon les pratiques culturales. Afin de limiter les incertitudes sur les rendements à l'hectare, nous appliquerons un ratio par tonne de produit, soit une t de paille pour deux de grains. La production totale annuelle en France est donc d'environ 22 millions de tonnes.

##### c) Disponible pour la collecte, après retour au sol pour amendement naturel

###### Pratique actuelle

Les statistiques du CLIP, régions par régions, indiquent que l'exportation hors terre agricole représente 16,5 millions de t. Donc il ne resterait que 5,5 millions de t pour l'amendement.

## Préconisations

Actuellement le retour au sol moyen en France est inférieur au taux moyen préconisé par le CLIP. En effet il resterait un disponible théorique de 12 millions de tonnes si l'on répond aux prescriptions agronomiques énoncées moins que ce qui est constaté. Mais ces moyennes nationales cachent des très grands écarts au niveau régional, en particulier sur les prescriptions de retour au sol. Les analyses régionales montrent alors qu'il existe des excédents disponibles dans certaines régions. C'est pourquoi nous avons réalisé 2 tableaux de disponibilité afin de distinguer les régions où le retour au sol est considéré comme une nécessité et les autres régions.

Le CLIP estime que les régions à fort risque d'érosion sont les suivantes : Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Haute-Normandie, Alsace, Rhône- Alpes, Ile-de-France et Midi-Pyrénées. Il est recommandé dans ces régions d'enfouir les 2/3 de la paille produite. Pour les autres régions, un enfouissement de 40% semble raisonnable pour maintenir le bilan carboné des sols. D'autres avis suggèrent que dans ces régions il n'est pas même nécessaire. Le CLIP rappelle que par exemple le Danemark collecte l'intégralité de la production des pailles.

Pour l'estimation des disponibilités nous avons donc retenu :

- pour les régions les plus touchées par les problèmes d'érosion un prélèvement de 35% du potentiel disponible (Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Haute-Normandie, Alsace, Rhône- Alpes, Ile-de-France et Midi-Pyrénées).
  - pour les autres régions
  - un prélèvement de 60%, les 40% restant permettant d'équilibrer le bilan carbone des sols. Cette pratique n'est en effet pas reconnue par tous les professionnels comme une mesure pertinente pour enrichir les sols, mais elle est encouragée par l'Union européenne qui lui consacre une subvention sous la classe des Mesures Agro-environnementales du second pilier de la PAC.
  - Cependant nous avons également fait une estimation avec un prélèvement de 100 % de la production

### d) Utilisations

La collecte des 16,5 millions de tonnes se répartit ainsi :

- litière pour l'élevage : 15,4 Mt selon le comité national des coproduits
- culture des champignons : 400 kt.
- Energie : 700 kt<sup>6</sup>.

On voit donc que même s'il est possible de mettre en évidence un disponible dans certaines régions après nécessaire retour au sol, l'augmentation de l'utilisation énergétique devra se faire soit au détriment des usages actuels, essentiellement l'élevage, soit en arrêtant le retour au sol partout où la qualité du sol ne l'exige pas.

### e) Coût

Pour capter une partie de la ressource disponible le prix offert est un facteur important. Il semblerait que la plupart des transactions concernant la paille se fassent de gré à gré, diminuant ainsi les coûts de transaction. Actuellement le prix de marché est estimé par le Comité National des Coproduits à 15 €/t en andain. Des coûts logistiques sont à ajouter : pressage, ramassage, transport, déchargement, stockage. Le prix s'élève alors à 38 €/t pour le produit récolté, pressé et stocké sous abri. Mais ce prix est très variable en fonction du conditionnement, de la distance de transport, des conditions climatiques et de la demande.

---

<sup>6</sup> Arvalis

A partir d'une étude faite par Arvalis et FNCUMA en 1996, la délégation de l'ADEME en Lorraine<sup>7</sup> estime le prix rendu à 60 €/t pour 50 km parcourus.

f) facteurs réglementaires

Ils jouent de manière contradictoire sans qu'il soit possible ici d'identifier la résultante :

- a. Les ajustements de la PAC et les législations nationales influencent aussi l'offre de paille, notamment :
- b. l'élevage et la production laitière sous quota, diminue la demande de paille
- c. les contraintes environnementales ; par exemple la lutte contre la pollution azotée et la restriction de l'incinération sur sol nécessitent de se débarrasser des pailles.
- d. Les mesures agroenvironnementales favorisant les amendements organiques limitent l'offre de paille.

g) comportement des acteurs

La tradition pour le traitement des résidus de récolte s'oppose à une organisation industrielle du marché des pailles. L'importance de cette contrainte n'est pas mesurée. Mais elle devra être prise en compte pour définir une stratégie de marketing amont efficace. Actuellement la pertinence de la valorisation agronomique par restitution au sol est débattue.

En comparaison, la collecte à des fins énergétiques des pailles nécessite de mettre en place des structures de récolte et de s'intégrer à des circuits de valorisation, pérennisés par des contrats à moyen ou long terme. Les montants d'investissement logistiques correspondants sont importants.

h) Niveaux d'incertitude de l'évaluation des volumes disponibles

Concernant **la production de paille**, l'incertitude est faible. Elle a été minimisée en appliquant le ratio à la production de grains (1 t de paille pour 2 t de grains), au lieu d'un ratio de production à l'hectare, qui ne prend pas en compte les différences de rendements entre les régions. Le ratio de 2 unités de grains pour une unité de paille est corroborée par les données du CLIP (CLIP 1999), du Guide Biomasse (Guide Biomasse 2005), et du comité national des coproduits en ce qui concerne la culture du blé tendre et de l'orge.

Concernant **la collecte actuelle des pailles**, l'incertitude est moyenne à forte:

Le comité national des coproduits, le Guide Biomasse (Guide biomasse 2005) ainsi que le CLIP (CLIP 1999) s'accordent sur ratio moyen au niveau national de 2/3 collectés et 1/3 non collecté. Cependant, la comparaison avec le total paille de céréales de l'AGRESTE, ainsi que les données régionales données par le CLIP (CLIP 1999) montre une forte variation de la collecte de paille, en fonction des pratiques culturales et de la demande de paille. Nous avons donc utilisé le ratio :

collecte / production

indiqué, régions par régions, par le CLIP en 1999 pour établir une estimation de la collecte de la paille région par région plus nuancée que le ratio 1/3-2/3 valable à l'échelle nationale.

Concernant la nécessité d'enfouir les pailles, nous disposons de ratio généraux selon les caractéristiques physiques des sols fournis par le CLIP. Il ne donne pas d'informations sur ce qui est considéré comme une nécessité par les agriculteurs, mais fournit des préconisations à l'échelle régionale, négligeant ainsi les variations intra-régionales. La pertinence d'une telle pratique est débattue. C'est pourquoi nous avons indiqué la production de pailles, la production actuellement non collectée, et la production collectable selon l'application de la logique de retour au sol avec les ratios indiqués au § c) ci-dessus.

---

<sup>7</sup> Colloque Biomasse du 26 Mars 2007.

#### 1.1.5. Tableaux récapitulatifs des quantités disponibles par région

Les 2 tableaux ci-après distinguent les régions selon le risque d'érosion et la nécessité de restituer ou non des pailles au sol. Ils indiquent :

- la production de paille totale par région (source AGRESTE)
- le disponible après retour au sol pour amendement
- le disponible après retour au sol et « exportation » pour usages actuels

Dans le premier tableau (régions à fort risque d'érosion), le ratio de retour au sol est de 2/3. Dans le deuxième tableau (régions sans risque d'érosion) il est de 40% et 0 % (prélèvement total).

	Production totale de pailles		Restant après restitution au sol de 2 pailles sur 3		Restant après restitution et usage actuel	
					Part produite – restitution – usage actuel	Rendement énergétique
Sources Facteurs d'interprétation	AGRESTE Production de Céréales à paille /2	pci = 4 600 kWh/ts 1 ts = 0,88 t brut	Préconisation CLIP 1 paille sur 3 collectable	pci = 4 600 kWh/ts 1 ts= 0,88 t brut	Collecte effective : ratio CLIP 1999	Pci = 4 600 kWh/ts 1 ts= 0,88 t brut
Unités	kt brut/an	GWh/an	kt brut/an	GWh/an	Kt brut/an	GWh/an
Total de ces régions	7 202	26 503	2 401	8 836	- 1 455	1 011
Alsace	177	651	59	217	-60	
Haute-Normandie	1 007	3 706	336	1 236	-520	
Ile de France	1 073	3 949	358	1 317	275	1 011
Midi-Pyrénées	1 080	3 974	360	1 325	-188	
Nord-Pas de Calais	1 194	4 394	398	1 465	-559	
Picardie	2 151	7 916	717	2 639	-132	
Rhône-alpes	520	1 914	173	637	-261	

Tableau 9 : Disponibilité en paille dans les régions à fort risque d'érosion

Les régions en négatif sont les régions qui après restitution (préconisée) de 2/3 t de pailles se trouvent en déficit pour leur usage dans l'élevage et doivent donc importer des autres régions. Ainsi seule l'Ile de France présente un potentiel supplémentaire. Dans les autres régions l'augmentation de la valorisation en énergie se ferait soit au détriment des autres usages soit en ne respectant pas le nécessaire retour au sol.

	Production totale de pailles		Disponible après usage actuel si restitution nulle		Disponible après usage actuel si restitution de 40%		
	Production totale de paille	Potentiel énergétique	Production totale – usages actuels	Potentiel énergétique	Total - Paille à restituer	Total – restitution – usages actuels	Potentiel énergétique
Sources	AGRESTE		Ratio CLIP		Préconisation CLIP	Ratio CLIP	
Facteurs d'interprétation	Production de céréales à paille /2	pci = 4 600 kWh/ts 1 ts = 0,88 t brut	Collecte effective en 1999	pci = 4 600 kWh/ts 1 ts= 0,88 t brut	Taux de restitution 40%	Collecte effective en 1999	pci = 4 600 kWh/ts 1 ts= 0,88 t brut
Unités	kt brut/an	GWh/an	Kt brut/an	GWh/an	Kt brut/an	Kt brut /an	GWh/an
Total régions	14989	55 160	4 255	15 658	8 993	- 1 739	4 427
Aquitaine	363	1 336	123	453	218	- 22	
Auvergne	477	1 755	114	420	286	- 77	
<b>Basse-Normandie</b>	<b>761</b>	<b>2 800</b>	<b>-192</b>	<b>-707</b>	<b>457</b>	- <b>495</b>	
Bourgogne	1744	6 418	780	2 870	1 046	83	305
<b>Bretagne</b>	<b>1242</b>	<b>4 571</b>	<b>-443</b>	<b>-1 630</b>	<b>745</b>	- <b>941</b>	
Centre	3467	12 759	1 910	7 029	2 080	523	1924
Champagne-Ard	2130	7 838	1 287	4 736	1 278	436	1604
Franche-Comté	326	1 200	-46	-169	196	- 177	
Languedoc-R	57	210	20	74	34	- 2	
Limousin	131	482	8	29	79	- 44	
Lorraine	1222	4 497	650	2 392	733	161	592
PACA	79	291	22	81	47	- 10	
<b>Pays de Loire</b>	<b>1381</b>	<b>5 082</b>	<b>-275</b>	<b>-1 012</b>	<b>829</b>	- <b>827</b>	
Poitou Charente	1609	5 921	297	1 093	965	- 347	

**Tableau 10** : Disponibilité en paille dans les régions à faible risque d'érosion

Les régions en négatif sont les régions qui après restitution (préconisée) de 40 % des pailles se trouvent en déficit pour leur usage dans l'élevage et doivent donc importer des autres régions. Ainsi seules Champagne-Ardenne, Centre et Lorraine présentent un disponible et ensemble ne suffisent pas à compenser les déficits des autres régions.

Il faut envisager dans ces régions un retour au sol nul pour faire apparaître un disponible après utilisations actuelles dans l'élevage.

En résumé, le potentiel énergétique des pailles en France est fort. Mais la concurrence du retour au sol dont la pertinence est controversée, et la concurrence avec l'élevage limitent ce potentiel. Ce n'est que par un arrêt de la restitution au sol des pailles dans les zones où cela n'est pas absolument nécessaire que l'on pourra trouver un potentiel nouveau pour l'énergie.

## 1.2. Cannes de maïs

### 1.2.1. Définition

Il s'agit des coproduits de la culture du maïs grain. Ils sont constitués de la tige, des feuilles et des spathes de la plante récoltée lorsque les grains sont à maturité. Le maïs est récolté par moissonneuse batteuse, et les sous-produits restent sur champ.

### 1.2.2. Sources d'information

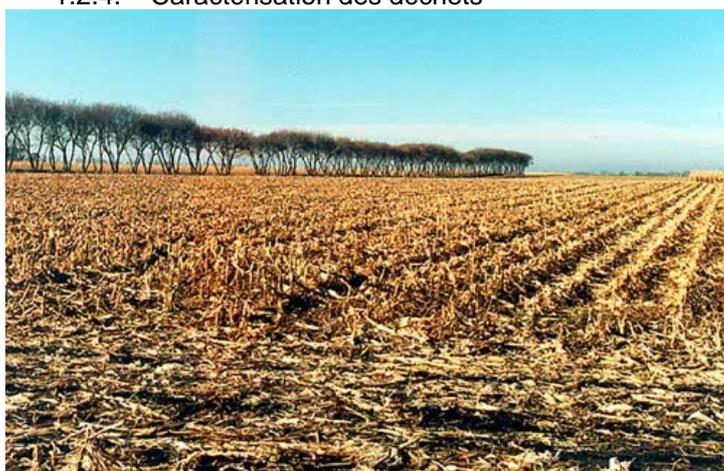
- Le cahier du CLIP "Biomasse et électricité"<sup>8</sup>, du Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement a fourni des informations concernant les gisements potentiels en biomasse de l'agriculture et de l'IAA, que nous avons recoupés avec les données du comité national des coproduits et celles du Guide Biomasse Energie de 2005, sous la direction de Yves Schenkel et Boufeldja Benabdallah<sup>9</sup>.
- SOLAGRO a réalisé avec la région Poitou Charente une étude sur l'agro-industrie en Poitou Charente<sup>10</sup>, identifiant le gisement de biomasse résiduelle mobilisable, dont il a été tiré des ratios de production de cannes.
- L'AGRESTE, l'institut de statistiques agricoles du ministère de l'agriculture et de la pêche, disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/>.
- La composition chimique des pailles vient du centre de l'énergie des Pays Bas, [www.ecn.nl](http://www.ecn.nl) et du comité national des coproduits.

### 1.2.3. Modalités de collecte

Il n'existe pas de filière de valorisation industrielle pour ces cannes, et la restitution intégrale au sol n'est pas recommandée pour des raisons agronomiques. On trouve des exemples très localisés de valorisation thermique de ces cannes par les agriculteurs.

Le comité national des coproduits estime qu'il est possible de récolter entre 30 % et 80 % de la matière restée sur sol, en fonction de la portance du sol nu, du degré de contact avec la terre, des conditions climatiques.

### 1.2.4. Caractérisation des déchets



Chaulmes de maïs,  
[www.ccrs.nrcan.gc.ca](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca)

<sup>8</sup>"Biomasse et électricité", *Les cahiers du CLIP*, Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement. N°10, septembre 1999,

<sup>9</sup> *Guide Biomasse Energie*, sous la direction de Yves Schenkel et Boufeldja Benabdallah, en partenariat avec l'ADEME et le CRA-W Gembloux, *Les publications de l'IEPF*, Collection les Points de Repère, 2<sup>ème</sup> édition, 2005.

<sup>10</sup> "Valorisation énergétique de la biomasse en Poitou-Charente, Etat des lieux et perspectives de développement", Madeleine Charru -Jean Luc Bochu, Solagro.

Les cannes contiennent de la matière organique et de l'eau à hauteur de 80 %<sup>11</sup> au moment de la récolte du grain. La teneur en eau peut baisser jusqu'à 60 % au moment de la récolte des cannes<sup>12</sup>. C'est une biomasse non contaminée.

Le pci moyen est de 4 830 kWh/ts (CLIP 1999).

	Moyenne	Valeurs extrêmes	Source
Matière sèche (%)	40		Comité national des coproduits
Matières minérales (%MS)	8	7-9.7	Comité national des coproduits
Cellulose brute (% MS)	35	30-37	Comité national des coproduits

**Tableau 11** : composition chimique des chaumes de maïs au moment de l'ensilage

De plus les cannes de maïs contiennent 15 fois plus de potassium (1,5 %) et 8 fois plus de chlore (0,08 %) que le bois.

#### 1.2.5. Facteurs déterminant les quantités

Les rendements de paille varient peu d'une exploitation à une autre. Il s'agit, selon Solagro<sup>13</sup>, d'une production de 4 ts/ha, supérieure à la paille de blé et d'orge. Cela correspond, en Poitou-Charentes, à une production de 548 ts de cannes pour 1 000 t de maïs grain. C'est ce ratio que nous utiliserons pour les estimations de volume.

Les méthodes de récolte influencent aussi les tonnages collectés: le comité national des coproduits aborde la coupe fine pour ensilage comme méthodologie de récolte efficace, et indique qu'une récolte sur cannes humides est préférable.

L'enfouissement de la totalité des cannes n'est pas recommandé. Les cannes sont en général incinérées. Elles ne servent généralement pas de fourrage ni de litière.

Nous indiquerons donc la quantité de cannes produites par région, les estimations hautes et basses de collecte possible selon le comité national des coproduits, et le rendement énergétique associé.

Il n'y a pas d'utilisation concurrente à un niveau significatif ou pour lequel des données sont disponibles. Les données sur les valorisations thermiques par les producteurs ne sont pas disponibles, mais ce sont des pratiques qui existent.

Il n'y a pas de marché organisé de ces sous-produits. Les seuls opérateurs sont les producteurs de maïs.

Les cannes sont récoltées chaque année une fois dans l'année

#### 1.2.6. Incertitude de la mesure des volumes

Concernant la production de cannes, l'incertitude est faible. Elle a été minimisée en appliquant un ratio à la production de grains, au lieu d'un ratio de production à l'hectare, qui ne prendrait pas en compte les différences de rendements entre les régions. Le ratio de 2 unités de grains pour une unité de paille, tiré de la production en région Poitou-Charente, est corroboré par les données du Guide Biomasse (Guide Biomasse 2005), et du comité national des coproduits.

Concernant la collecte effective des cannes, le comité national des coproduits donne une fourchette assez large : entre 30 et 80 % serait collectable. C'est un avis d'expert qui n'est pas appuyé par des analyses plus poussées.

<sup>11</sup> Comité national des coproduits

<sup>12</sup> Arvalis, fiche Cannes de maïs.

<sup>13</sup> Idem.

1.2.7. Tableau récapitulatif des quantités disponibles

	Production de maïs	Production de cannes	Estimation de récolte basse		Estimation de récolte haute	
Source	Agreste	Solagro en Poitou Ratio cannes/grains = 0,548	CNC		CNC	
Facteur d'interprétation			30 %	pci = 4 830 kWh/ts	80 %	pci = 4 830 kWh/ts
Unités	kt/an	kts/an	kts/an	GWh/an	kt/an	GWh/an
France entière	12 897	7 067	2 120	10 241	5 653	27 309
Alsace	1 212	664	199	962	531	2 566
Aquitaine	2 672	1 464	439	2 122	1171	5 658
Auvergne	278	152	46	221	121	589
Basse-Normandie	145	80	24	115	64	307
Bourgogne	315	173	52	250	138	667
Bretagne	931	510	153	739	408	1 971
Centre	1 050	575	173	834	460	2 223
Champagne-Ardenne	337	185	56	268	148	714
Franche-Comté	172	94	28	137	75	364
Haute-Normandie	76	41	12	60	32	161
Ile de France	266	146	44	211	116	563
Languedoc-Roussillon	17	9	3	13	7	36
Limousin	32	18	5	25	14	68
Lorraine	49	27	8	39	21	104
Midi-Pyrénées	1 572	862	259	1 248	689	3 329
Nord-Pas de Calais	126	69	21	100	55	267
PACA	29	16	5	23	12	61
Pays de Loire	896	491	147	711	392	1 897
Picardie	344	189	57	273	151	728
Poitou Charente	1 318	722	217	1 047	577	2 791
Rhône-alpes	1 058	580	174	840	464	2 240

Tableau 12 : disponibilité en cannes de maïs

### 1.3. Les pailles et cannes d'oléagineux

#### 1.3.1. Définition

Il s'agit des résidus de la récolte des oléagineux (colza et le tournesol majoritairement). Ils sont composés de la tige de la plante broyées lors de la récolte ou arrachées puis broyées après récolte.

#### 1.3.2. Sources d'informations

Le CETIOM, Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains, <http://www.cetiom.fr/> fournit des informations sur la culture des oléagineux. Une étude menée par Solagro en Poitou Charente<sup>14</sup> a indiqué des ratios de production par hectare, que nous avons couplé avec les informations disponibles dans le Guide Biomasse Energie de l'UCL<sup>15</sup>.

Une étude de l'AGRICE menée en 1998 a servi de base à un dossier disponible auprès d'Arvalis sur le thème " Les cultures ligno-cellulosiques et herbacées pour la production de biomasse à usage non alimentaire"<sup>16</sup>.

Les statistiques de production agricoles de l'AGRESTE ont permis de répartir la production de ces résidus régions par régions.

#### 1.3.3. Caractérisation des déchets

C'est de la matière végétale naturelle non contaminée.

	Pailles de Colza	Cannes de tournesol
Matière sèche	25 à 30 %	Non défini (les cannes s'humidifient très vite). Approximation : idem cannes de maïs soit 22%.
C % de ms	43 %	44.6 %
H % ms	5,3	5.1
Cendres % ms	4,7	9.7
O	47	
Soufre	0,3 %	0,11 %
Chlore	0,98 %	0,72 %
Azote	0,7 %	1,1 %
PCI	4 580 kWh/ts	4 830 kWh/ts

Tableau 13 : Composition des cannes d'oléagineux

Les concentrations plus importantes que pour les pailles de céréales en soufre et chlore (2 fois plus) entraînent des difficultés d'autant plus grandes pour la combustion. Idem pour la production de cendres. Les bases de données consultées ne donnent pas la teneur en métaux alcalins.

#### 1.3.4. Facteurs déterminant les quantités

Solagro donne une estimation de production de 1 ts de cannes de tournesol par hectare, et 2 ts de pailles de colza par hectare. Arvalis souligne qu'étant donné les modalités de récolte de ces tiges, seule la moitié est récoltable. Nous avons appliqué ces ratios par hectare sur les statistiques de l'AGRESTE de 2006.

<sup>14</sup> "Valorisation énergétique de la biomasse en Poitou-Charente, Etat des lieux et perspectives de développement", Madeleine Charru -Jean Luc Bochu, Solagro.

<sup>15</sup> *Guide Biomasse Energie*, sous la direction de Yves Schenkel et Boufeldja Benabdallah, en partenariat avec l'ADEME et le CRA-W Gembloux, *Les publications de l'IEPF*, Collection les Points de Repère, 2<sup>ème</sup> édition, 2005.

<sup>16</sup> Dossier thématique: " Les cultures ligno-cellulosiques et herbacées pour la production de biomasse à usage non alimentaire", fiches réalisées par Arvalis et publiées en 2006 à partir d'une étude d'Agrice en 1998. [http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiqu/279\\_can\\_tournesol.pdf](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiqu/279_can_tournesol.pdf)

Les utilisations par le producteur lui-même n'ont pas été prises en compte. Le *Guide Biomasse* note que les produits résiduels ont pu faire l'objet de valorisation thermique ou servir de litière lors de pénurie des litières traditionnelles (pailles de blé).

Il n'y a pas de valorisation de ces résidus à un niveau industriel. Il n'y a pas de marché organisé ni d'intermédiaires déterminés. Les opérateurs sont les producteurs d'oléagineux.

#### 1.3.5. Niveaux d'incertitude

Concernant la production de pailles et de cannes, l'incertitude est faible, puisque la source est sûre: l'étude de Solagro. L'estimation par hectare ne tient cependant pas compte des différences de rendements entre les surfaces.

Concernant la production disponible des pailles et des cannes, le ratio de 50% de cannes disponible émane d'un dossier réalisé par Arvalis en collaboration avec l'ADEME et les céréaliers de France à partir d'une étude de l'AGRICE sur le thème des "cultures ligno-cellulosiques et herbacées pour la production de biomasse à usage non alimentaire". Il est disponible sur le site d'Arvalis<sup>17</sup>.

#### 1.3.6. Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région

---

<sup>17</sup> Dossier thématique: " Les cultures ligno-cellulosiques et herbacées pour la production de biomasse à usage non alimentaire", fiches réalisées par Arvalis et publiées en 2006 à partir d'une étude d'Agrice en 1998. [http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiqu/279\\_can\\_tournesol.pdf](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiqu/279_can_tournesol.pdf)

Sources	Colza				Tournesol				Total récoltables	
	Superficie	Paille	Récoltable	Energie	Superficie	Cannes	Récoltable	Energie		
	Agreste	Solagro	Arvalis	ECN	Agreste	Solagro	Arvalis	ECN	kt	GWh
Unités	Milliers ha	kt	kt	GWh	Milliers ha	kts	kt	GWh		
National	1 939	3 879	1 940	8 536	631	1 263	631	2 904	2 571	11 440
Alsace	3	8	4	18	0,3	1	0	2	4	19
Aquitaine	16	33	17	75	52	104	52	240	69	314
Auvergne	14	30	15	66	13	27	14	63	29	129
Basse-Normandie	41	84	42	185		-	-	-	42	185
Bourgogne	219	439	220	968	29	59	29	135	249	1 103
Bretagne	47	96	48	211	0,3	1	0	1	48	212
Centre	365	730	365	1 606	73	147	74	339	439	1 945
Champagne-Ardenne	306	614	307	1 351	10	21	10	48	317	1 399
Franche-Comté	28	58	29	128	7	15	7	33	36	161
Haute-Normandie	95	191	95	418	0,3	1	0	2	95	420
Ile-de-France	90	181	90	396	3	7	4	16	94	412
Languedoc-Roussillon	8	16	8	35	20	41	20	94	28	129
Limousin	2	5	3	13	2	5	3	12	6	25
Lorraine	186	373	186	818	2	4	2	9	188	828
Midi-Pyrénées	56	113	57	251	193	388	194	891	251	1 142
Nord-Pas de Calais	27	55	28	123		-	-	-	28	123
PACA	3	6	3	13	7 053	14	7	32	10	46
Pays de Loire	66 202	132	66	290	35 266	71	35	162	101	453
Picardie	150 275	301	150	660	1 027	2	1	5	151	665
Poitou-Charentes	181 653	363	182	801	157 950	316	158	727	340	1 527
Rhône-Alpes	25 936	52	26	114	18 460	37	18	85	44	199

Tableau 14 : disponibilité en cannes d'oléagineux

## 1.4. Résidus de la viticulture

### 1.4.1. Définition

L'"Organisation internationale de la vigne et du vin" donne des sarments la définition suivante: "rameau d'un an bien développé". Il s'agit des rameaux ligneux flexibles de la vigne.

La taille des sarments est une pratique annuelle indispensable à la culture de la vigne. Il existe deux modalités de récolte mécanisée :

- Production de sarments broyés par des machines assurant en même temps ramassage et broyage directement dans les rangs de la vigne.
- Constitution et récupération de fagots à partir de sarments ramassés dans les rangs ; séchage de 6 mois puis broyage<sup>18</sup>.

### 1.4.2. Sources d'information

Le site internet MatéVi de la Chambre d'Agriculture de Gironde a publié un dossier sur la valorisation des sarments, dont nous tirons les pci, la densité et les modalités de collecte<sup>17</sup>. Plus généralement, la base de données de MatéVi a été utile concernant les expérimentations et les possibilités de valorisation.

L'AGRESTE a fourni les données sur la superficie en vigne régions par régions pour 2008.

La base de données de l'ECN, le Centre de l'énergie néerlandais, sur certains produits de biomasse a permis de corroborer les analyses de matière et de pci trouvées dans l'étude.

### 1.4.3. Caractérisation des déchets

Les sarments se présentent sous formes de branchages plus ou moins épais et alambiqués. Ils peuvent éventuellement être broyés sur la parcelle pour diviser le volume par 3.



Sarments de vigne jeune,  
[www.Viti-net.fr](http://www.Viti-net.fr)

Ils sont composés de bois non contaminés

- Caractéristiques physiques
  - En moyenne, une tonne de sarment est composée de 85% de matière sèche.
  - Le PCI moyen se situe entre 3 800 et 4 200 kWh/t de matière brute.
  - La masse volumique se situe entre 180 et 200 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>18</sup> "Sarments: les valoriser grâce à la filière bois énergie" Jean Michel M Maron, *Brèves MATEVI*, Chambre d'agriculture de la Gironde, avril 2008.

- Composition chimique

	Moyenne	Valeurs extrêmes	Source
Matière sèche (%)	83	71 - 94	ECN
Cendres (% MS)	2,5	2-3	
Cellulose brute (% MS)	39,9	8,8 – 82,5	
Carbone (% MS)	46,6	42,4 – 59,7	
Hydrogène (% MS)	5,85	4,55 – 8,9	
Oxygène (% MS)	44	33,1 – 52,5	
N	0,83		
S	0,04		
Cl	0,08		

**Tableau 15 : composition des sarments de vigne**

#### 1.4.4. Facteurs déterminant les quantités

- Production

Une production moyenne de 2 tonnes par hectare est donnée par la chambre d'agriculture de la Gironde qui indique que les productions peuvent aller jusqu'à 3 t/ha.

- Utilisation

Les sarments peuvent être valorisés en interne par épandage des sarments broyés. Leur valorisation par incinération ou combustion se développe. Cependant elle n'est pas généralisée du fait de l'investissement préalable nécessaire dans un appareil de chauffage. Il n'y a pas de données concernant la répartition de ces pratiques.

Les acteurs ne sont pas encore organisés en une filière de valorisation, les expériences trouvées restant expérimentales et/ou locales.

- Niveaux d'incertitude de la mesure

Nous avons fait les calculs sur la base de 2 t/ha sachant que dans certains cas la production peut être 50 % supérieure

#### 1.4.5. Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région

	Production de sarments de vigne	
Sources	Chambre d'agriculture de Gironde :	Chambre d'agriculture de Gironde
Facteurs explicatifs	3 t/ha,	pci : 4 MWh/t à 15% d'humidité sur brut
Unités	kt	GWh/an
<b>France entière</b>	<b>1 625</b>	<b>6 500</b>
Alsace	32	127
Aquitaine	290	1 160
Auvergne	3	13
Basse-Normandie	-	-
Bourgogne	60	240
Bretagne	-	-
Centre	45	180
Champagne-Ardenne	60	240
Franche-Comté	5	20
Haute-Normandie	-	-
Ile de France	-	-
Languedoc-Roussillon	528	2 113
Limousin	-	-
Lorraine	-	-
Midi-Pyrénées	73	293
Nord-Pas de Calais	-	-
PACA	185	740
Pays de Loire	73	293
Picardie	5	20
Poitou Charente	165	660
Rhône-alpes	107	427

**Tableau 16 : disponibilité en sarments de vignes**

## 2. Déchets de la sylviculture et de l'exploitation forestière

### 2.1. Génération des déchets

Les déchets générés au moment des opérations, avant toute transformation, sont :

- Rémanents (branches, tiges en dessous du diamètre acceptable pour le bois de trituration, en général 7cm)
- Souches
- Rondins laissés sur parterre de coupe

Les opérations qui génèrent ces déchets sont :

- Les éclaircies de résineux ou de taillis sous futaie
- Les coupes rases de feuillus ou de résineux
- Les coupes sélectives de feuillus

Ces opérations répondent à une nécessité sylvicole (les premières éclaircies qui ne produisent pratiquement pas de bois de trituration) et ont un objectif économique (vente de bois aux industries de la trituration et du bois d'œuvre et au marché du bois bûche).

Ce sont des « résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation », « abandonnés ou destinés à l'abandon ». Bien qu'ils ne soient pas individualisés dans la nomenclature, on peut donc les qualifier de déchets. Ils sont composés exclusivement de matière végétale, feuilles, écorces et bois. Ils ne sont pas contaminés par des produits toxiques pouvant affecter les conditions de leur traitement thermique. Ils sont de même nature que les produits connexes de scierie<sup>19</sup>.

Ces résidus n'ont jamais été qualifiés de déchets car, laissés sur le chantier d'exploitation forestière, ils contribuent par leur dégradation, au maintien de la qualité du sol. Ils sont éventuellement transportés par la route sans être jamais entrés dans le champ de la réglementation du transport des déchets. D'ailleurs leur nature ne les distingue pas des rondins de bois d'œuvre ou de trituration.

Nous les faisons entrer dans cette analyse des gisements car ils représentent un volume très considérable de biomasse d'origine végétale non contaminée qui peut entrer dans une stratégie d'approvisionnement en énergie primaire en complément d'autres déchets.

### 2.2. Sources d'information

Il n'y a pas d'étude de gisement de « déchets » d'origine végétale issus des opérations sylvicoles, car comme indiqué ci-dessus le monde forestier ne considère pas que ces opérations en génèrent.

Par contre le CEMAGREF a comparé 288 études (à l'échelon régional ou national), en général très récentes, sur la « biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels ». Ces études couvrent les gisements définis au point 2.1 ci-dessus. Le rapport date d'octobre 2007. Il présente et synthétise les données fournies. L'étude du CEMAGREF est elle même constituée de 4 tomes :

- Analyse et synthèse des études existantes recensées au niveau national (124 p)
- Calcul des volumes<sup>20</sup> (76 p) ;
- Partie économique (55 p)
- Note de synthèse (6 p)

---

<sup>19</sup> Ils sont dénommés déchets dans la nomenclature des déchets, bien qu'en fait la profession veille à ce qu'ils ne soient pas considérés comme des déchets

<sup>20</sup> Le CEMAGREF a jugé utile de proposer son propre calcul

Autre source d'information : « le Référentiel combustible bois énergie ; définition et exigence » par le FCBA, d'avril 2008, passe en revue en 124 pages tous les types de combustibles depuis la forêt jusqu'aux produits en fin de vie.

### 2.3. Traitement des déchets avant livraison aux usines

#### 2.3.1. Contraintes de livraison

La livraison aux usines de production d'énergie des produits traditionnellement laissés sur la coupe nécessite des opérations complexes et coûteuses. Comme il n'y a pas d'obligation d'enlèvement de ces produits qui ont par ailleurs un effet bénéfique sur la qualité du sol, le coût de ces opérations devra être intégralement couvert par leur valorisation énergétique.

Par rapport aux clients de l'industrie de la trituration, le marché de l'énergie exige :

- Spécification du produit
  - Humidité
  - granulométrie
- Gestion des stocks, relativement limités à l'usine (4 jours en général)

La fourniture du déchet nécessite donc, outre les opérations précédentes spécifiques de chaque déchet :

- constitution, sur une plateforme de conditionnement, de mélanges de bois d'origines variées pour répondre à des exigences spécifiques de l'usine (prix, humidité moyenne)
- une logistique spécifique de gestion d'un stock de bois

#### 2.3.2. Rémanents

En l'absence de marché du bois énergie, les rémanents sont laissés dans le sol. La réponse aux besoins de ce marché nécessite les opérations spécifiques suivantes :

- collecte et mise en fardeau des rémanents par des machines spéciales,
- débardage en bord de route,
- séchage naturel en bord de route ou sur parterre de coupe avant collecte
- broyage (mise en plaquettes de granulométrie adaptée aux exigences des usines) en bord de route ou après transport sur une plateforme de conditionnement ; ce broyage peut également être effectué sur coupe ; il est suivi du débardage de plaquettes
- transport des fardeaux de rémanents jusqu'à une plateforme de conditionnement ou des plaquettes jusqu'à une plateforme de conditionnement ou directement à l'usine

Les facteurs de coût de ces opérations dépendent :

- Des caractéristiques de la coupe, en particulier la pente et la distance de débardage
- Des distances de transport entre la forêt et l'usine

Dans certaines conditions, relativement fréquentes, le coût de mise à disposition de ces produits est supérieur au prix acceptable. La matière correspondante ne peut alors pas être considérée comme disponible.

#### 2.3.3. Souches

En l'absence de marché du bois énergie, les souches sont laissées dans le sol. La réponse aux besoins de ce marché nécessite les opérations spécifiques suivantes :

- Extraction et fragmentation
- Débardage

- Séchage à l'air
- Broyage en une ou 2 phases sur une plateforme de conditionnement
- Criblage pour éliminer le sable
- Transport, mélange éventuel, gestion du stock

Le dessouchage n'est actuellement envisagé qu'en Aquitaine, pour des raisons économiques.

#### 2.3.4. Rondins

En l'absence de marché du bois énergie, certains rondins peuvent être abandonnés sur parterre de coupe parce qu'ils ne correspondent pas aux spécifications du bois de trituration. Ils sont donc considérés comme des déchets. Mais l'augmentation du prix du bois énergie et la baisse conjoncturelle des capacités de paiement du bois par l'industrie papetière peuvent amener des rapports de concurrence favorables à la production de rondins pour l'énergie. Dans ces conditions les rondins en question pourront difficilement être considérés comme des déchets. Les opérations spécifiques de traitement sont les suivantes :

- Débardage
- Transport sur une plateforme de conditionnement
- Broyage en une ou deux phases
- Séchage à l'air

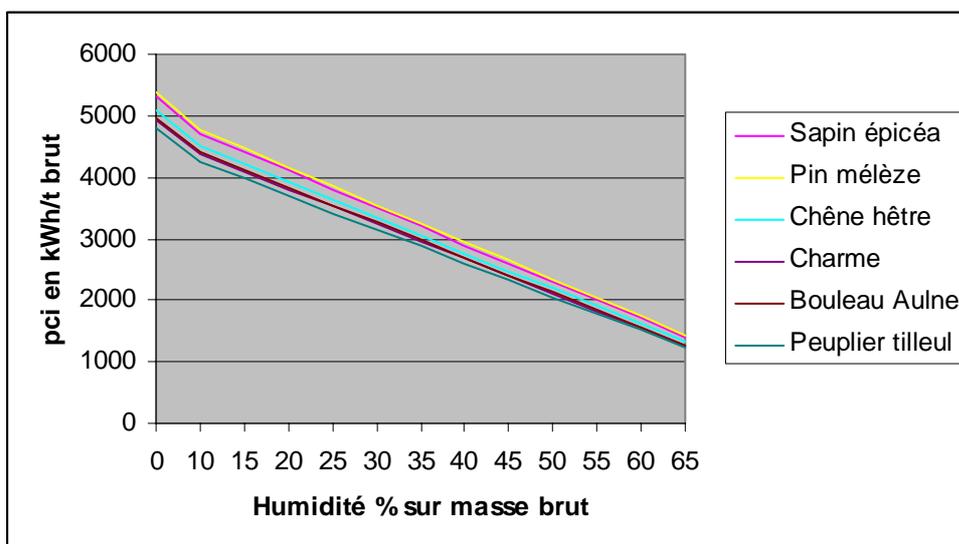
Les rondins pour l'énergie ne seront en général que des sous-produits des coupes de bois qui seront exploitées pour le bois d'œuvre qui assure la majeure partie du chiffre d'affaire de la coupe. Sur un massif forestier donné, le volume de bois en rondins qui pourra être vendue en énergie sera donc fonction de la dynamique forêt industrie locale. Il est indispensable pour un maître d'œuvre d'un projet qui entend exploiter un potentiel de bois énergie de bien connaître cette dynamique et de ne pas l'entraver.

Le bois abattu par les tempêtes est exploité progressivement, quelques fois en plusieurs années. Il ne peut être considéré comme du bois énergie sauf à le payer au prix que les propriétaires forestiers espèrent le vendre, malgré les réfections pour pertes de qualité aux utilisateurs industriels. Actuellement ce prix est en général incompatible avec le prix de l'énergie biomasse

#### 2.4. Caractéristiques des déchets

Du point de vue de la valorisation énergétique et dans le but de l'évaluation des disponibilités, les données à retenir sont les suivantes :

- Pas de différence significative de pci, mesuré en kWh/t sèche, entre les essences et entre les différentes composantes de l'arbre
- Variation linéaire de pci en fonction de l'humidité :  $pci = - 57,76 H + 5080$  avec H en % et pci en kWh/t (voir diagramme ci-après)
- Les exigences réglementaires et techniques pour la combustion sont les mêmes quelque soit l'essence
- La variation de rendement sur pci entrée chaudière des installations de combustion en fonction de l'humidité est faible sous réserve que les installations aient été conçues de manière adéquat.



## 2.5. Détermination des volumes disponibles

### 2.5.1. Facteurs déterminant les quantités disponibles

- Facteurs forestiers
  - Des facteurs techniques caractérisent une saine gestion de la forêt, dans un souci de développement durable ; la « doctrine » forestière suggère des valeurs ; il y a un consensus en France sur ces valeurs.
  - Ces facteurs peuvent être modifiés pour rattraper le retard de récolte constaté depuis des décennies ; il s'agit de diminuer le stock de peuplements forestiers âgés qui aurait pu être coupés ; l'étude du CEMAGREF parle d'un volume « conjoncturel » par opposition au volume précédent dit « pérenne » ; mais les estimations varient en fonction de la vitesse à laquelle on prévoit de rattraper le retard d'exploitation
- Le coût d'exploitation du bois rend inexploitable dans des conditions économiques acceptables certains peuplements; il est variable d'une coupe à l'autre en fonction des paramètres techniques connus (pente, distance de débardage) relatif à cette coupe;
- Le prix total des produits de la coupe rendus usine par les industriels doit, au minimum, couvrir le coût d'exploitation augmenté du revenu attendu par le propriétaire forestier, ce revenu étant difficilement prévisible ;
- La décision de vente du propriétaire dépend en général de son libre-arbitre ; la maximisation du profit qu'il peut tirer de ce capital n'est en général pas le critère prépondérant ; il n'existe pas d'étude fiable permettant de déterminer à l'avance la part des propriétaires susceptibles de vendre leur bois à un moment donné ;
- Les rapports de concurrence entre les utilisateurs des produits de la forêt (bois d'œuvre, bois de trituration, bois énergie), se traduisent essentiellement par des écarts de prix de bois entre les produits, et entraînent des parts de marché différentes, variables en fonction de la conjoncture, de ces produits dans la ressource théorique disponible.

Le cumul de ces facteurs entraîne donc des incertitudes très grandes dans les évaluations des volumes disponibles. En particulier en ce qui concerne le bois qui peut être valorisé par la production d'énergie, le prix que l'acheteur est prêt à payer aura un effet très considérable sur les volumes qui pourront être approvisionnés. Il jouera de 2 façons :

- sur le chiffre d'affaire total d'une coupe de bois qui peut déclencher des décisions de mise sur le marché

- sur la part du bois énergie dans le mix produit de la coupe.

### 2.5.2. Le point de vue de cette étude

C'est celui d'un industriel de l'énergie (et/ou du déchet) qui souhaite développer son activité en utilisant le potentiel des produits de l'exploitation forestière laissés sur le chantier après l'exploitation. Mais les caractéristiques de ces produits diffèrent des autres déchets de 3 façons :

- Il n'est pas nécessaire de les enlever
- Le coût de leur enlèvement est élevé et doit être entièrement couvert par leur valorisation énergétique
- Il n'y a pas de différences de nature entre ce qui peut être considéré comme un résidu d'un processus industriel (par exemple les rémanents) et des produits qui seraient spécifiquement façonnés pour la production d'énergie.

Dès lors l'évaluation du volume disponible doit prendre en compte le prix départ (compte non tenu du transport vers l'unité de valorisation énergétique) que l'on accepte de payer pour orienter ces produits vers la valorisation énergétique. Il n'est pas possible de distinguer a priori un gisement de bois énergie du volume de bois de trituration. L'évaluation du disponible doit donc prendre en compte ce volume global, étant entendu que la valorisation énergétique concerne des produits que l'industrie de la trituration ne peut pas utiliser.

### 2.5.3. Tableau récapitulatif des volumes disponibles

Dans le tableau ci-après, le CEMAGREF a exclu les rémanents de la mesure des volumes disponibles. Car ils seront de toute façon plus difficiles à collecter que les produits traditionnels de l'exploitation forestière desquels la valorisation énergétique peut prendre une part de marché. C'est d'ailleurs ce que l'on constate actuellement dans une conjoncture basse de l'industrie papetière. Plusieurs opérateurs « détournent » vers le bois énergie des volumes de bois traditionnellement dédiés à l'industrie plutôt que de récolter les rémanents. Car le bilan économique est meilleur.

Régions	Disponible total	Consommation	Disponibilité complémentaire
Alsace	1 555	785	770
Aquitaine	6 714	5 189	1 525
Auvergne	2 860	1 191	1 669
Basse-Normandie	605	1 104	- 499
Bourgogne	3 971	1 660	2 309
Bretagne	1 462	1 008	454
Centre	3 375	1 798	1 577
Champagne-Ardenne	2 892	1 998	894
Corse	434	171	263
Franche comté	2 920	1 418	1 502
Haute-Normandie	790	880	- 90
Ile-de-France	1 004	847	157
Languedoc-Roussillon	1 699	922	777
Limousin	2 707	1 538	1 170
Lorraine	3 812	2 451	1 361
Midi-Pyrénées	3 513	2 036	1 477
Nord-Pas-de-Calais	346	768	- 422
Pays-de-la-Loire	1 201	1 327	- 126
Picardie	1 309	1 281	29
Poitou-Charentes	1 629	1 284	345
PACA	1 477	1 285	192
Rhône-Alpes	4 124	1 775	2 349
Total	50 399	32 716	17 683

**Tableau 17 : Volume supplémentaire de bois énergie et de bois de trituration en milliers de m<sup>3</sup> par région**

#### 2.5.4. Comment utiliser ces évaluations de disponibilité

Le tableau ci-dessus montre qu'il existe un volume important de bois, dont une partie peut-être assimilé à des déchets, disponible pour les usages énergétiques. Ce tableau peut donc servir de base à la définition préalable de stratégie d'investissement dans la production d'énergie à partir de déchets d'origine végétale. Il est possible de choisir la région la plus propice à un investissement, celle qui aura la meilleure élasticité de l'offre de bois énergie en fonction du prix. Car le volume théoriquement disponible n'est pas une limite dans l'état actuel de la demande.

Cela dépend de la qualité de la ressource forestière et de la demande des usages industriels. Ce n'est qu'une analyse détaillée région par région qui peut conduire à ce choix.

Les prix actuellement pratiqués peuvent donner des indications. En dessous de 23 €/MWh soit un peu plus de 60 €/t brut il n'est pas envisageable de se procurer des plaquettes forestières de manière pérenne. Ce prix couvre en effet les coûts suivants :

<b>Prix des plaquettes forestières</b>	
	€/T
matière	4
exploitation	10
débardage + broyage	23
stockage, pertes	4
transport sur client	15
frais généraux	6
total	62
taux d'humidité	40%
PCI kWh/t	2 729
€/MWh	22,7

**Tableau 18 : décomposition du coût des plaquettes de bois (moyenne en 2008 d'un fournisseur de bois énergie)**

Opérations	Plaquettes forestières		Fagots	
	Chantier 1	Chantier 2	Mini	Maxim
	€/MAP	€/MAP	€/MAP	€/MAP
Débardage porteur	2,38	2,85	0,9	0,9
Fagotage	0		2,16	2,94
Déplacements entre sites	0,24		0,24	0,24
Remise en état et divers	0,69		0,24	0,24
Couverture par film papier goudron	0,34		0	0
Déchetage (forêt ou terminal)	3,97	4,02	1,14	1,71
Sous total	7,62	6,87	4,44	6,03
Distance de transport en km	75	50	30	30
Coût du transport primaire	2,62		1,14	1,14
Frais de réception au terminal	0,57		1,14	1,14
Transport du terminal à chaufferie	0		1,14	1,14
Coût total par MAP (hors prix du bois)	10,78	11,9	8,06	9,42
MWh/MAP	0,88		0,8	0,8
Coût total par MWh (hors bois)	12,2		10,06	11,74

**Tableau 19 : exemple de coût comparé d'exploitation et de transport du bois (Scandinavie 2009)**

### 3. Déchets de l'industrie mécanique du bois

Le document national de référence est l'étude du FCBA intitulé « Guide de gestion des déchets de bois ». Au niveau régional de nombreuses études sont périodiquement réalisées en s'appuyant sur les statistiques du Ministère de l'Agriculture.

La nomenclature des déchets distingue 2 types de déchets suivant qu'ils sont ou ne sont pas contaminés.

#### 3.1. Sans substances dangereuses

Ces déchets sont assimilables à de la biomasse naturelle.

##### 3.1.1. Les produits humides

Il s'agit des produits connexes de scierie (PCS) et des déchets de l'industrie de l'emballage pour une part relativement modeste.

Les tonnages en millions de tonne, produits par type sont les suivants :

Ecorces	2,2
Plaquettes (dosses et délignures broyées)	3,2
Dosses et délignures	1,1
Sciures et copeaux de bois	2,1
Chutes de tronçonnage	0,8
Total	9,4

Tableau 20 : Production de déchets humides non contaminés de l'industrie du bois en millions de t

Les rendements varient suivant les essences et les dimensions des arbres qui sont sciés. Cependant, consolidés au niveau régional, les rendements fournis par les statistiques sont fiables.

Les écorces sont valorisées pour une production d'énergie (essentiellement en interne, pour le séchage) ou dans le domaine agricole (compostage ou paillage). Les autres produits sont actuellement utilisés par l'industrie du panneau et de la pâte à papier. Le marché de l'énergie prend cependant une petite partie de ce volume.

Les volumes supplémentaires qui peuvent être affectés à la production d'énergie dépendent :

- des quantités de bois supplémentaires qui pourraient être sciés
- des écarts de prix entre les usages qui pourraient déclencher un transfert de flux vers le bois énergie au détriment des usages actuels.

La deuxième hypothèse doit être écartée pour des raisons d'intérêt économique et d'intérêt environnemental. La première hypothèse suppose une augmentation sensible de la production de sciages. C'est envisageable au prix d'une stratégie industrielle volontariste au niveau de chaque région. Le nouveau marché du bois énergie est un élément favorable de cette stratégie mais certainement pas déterminant. Dans ces conditions les volumes indiqués dans le tableau ci-après peuvent être considérés comme théoriques. Ils ont été calculés par le CEMAGREF sur la base des quantités de bois d'œuvre supplémentaires qui pourraient être sciés.

REG	Volume théorique BO	Volume BO SCEES 2004	Volume BO Supplémentaire Possible	PCS induits
ALSACE	1517	1181	336	135
AQUITAINE	5605	5038	567	227
AUVERGNE	1789	1405	384	154
BASSE-NORMANDIE	340	296	44	18
BOURGOGNE	2106	1164	943	377
BRETAGNE	691	416	275	110
CENTRE	1251	719	532	213
CHAMPAGNE-ARDENNE	1737	704	1033	413
CORSE	351	20	331	132
FRANCHE-COMTE	2660	1680	980	392
HAUTE-NORMANDIE	503	292	212	85
ILE-DE-FRANCE	471	166	305	122
LANGUEDOC-ROUSSILLON	841	547	295	118
LIMOUSIN	1172	1258	-86	-34
LORRAINE	3763	1672	2091	837
MIDI-PYRENEES	1319	769	550	220
NORD-PAS-DE-CALAIS	215	136	79	32
PAYS DE LA LOIRE	684	518	167	67
PICARDIE	908	564	344	138
POITOU-CHARENTES	464	441	23	9
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	869	148	721	289
RHONE-ALPES	3196	1737	1460	584
<b>TOTAL</b>	<b>32454</b>	<b>20868</b>	<b>11586</b>	<b>4634</b>

Tableau 21 : Volumes supplémentaires de produits connexes de scieries en milliers de m<sup>3</sup> (source CEMAGREF octobre 2007).

Ces produits doivent être mis en plaquettes pour un approvisionnement en continu des foyers. Cela se passe soit à l'usine productrice, soit sur des plateformes de conditionnement du bois énergie.

A ces volumes s'ajoutent les écorces soit au total en milliers de tonnes :

Régions	PCS	Ecorces
Alsace	94	24
Aquitaine	159	40
Auvergne	107	26
Basse-Normandie	13	3
Bourgogne	264	66
Bretagne	77	19
Centre	149	37
Champagne-Ardenne	289	72
Corse	92	23
Franche comté	274	68
Haute-Normandie	60	15
Ile-de-France	85	21
Languedoc-Roussillon	83	21
Limousin	-24	-6
Lorraine	586	144
Midi-Pyrénées	154	38
Nord-Pas-de-Calais	22	5
Pays-de-la-Loire	47	11
Picardie	97	25
Poitou-Charentes	6	1
PACA	203	50
Rhône-Alpes	409	100
<b>Total</b>	<b>3244</b>	<b>811</b>

Tableau 22 : disponibilité en produits connexes de scierie (en milliers de t)

Le bois est à une humidité supérieure à 50 % au moment du sciage. Son pci est équivalent à celui du bois massif (cf.§ 2.4 ci-dessus).

### 3.1.2. Les produits secs (environ 20 % d'humidité)

Ils sont générés par l'industrie de la menuiserie et du meuble essentiellement. Ils se présentent sous forme de :

- Délignures
- Sciures
- Poussières de ponçage
- Chutes de tronçonnage

Les enquêtes réalisées au niveau national par le FCBA montrent que le volume total produit en France est de l'ordre de 2,5 millions de t. Ils sont produits par les industries suivantes :

- Ameublement : 361 kt
- Construction : 1 646 kt

Ils se répartissent par régions approximativement comme la production industrielle.

Ce gisement est actuellement consommé par l'industrie des panneaux mais le marché de l'énergie commence à empiéter sur cette ressource.

Le pci est proche de 4 000 kWh/t.

## 3.2. Avec substances dangereuses

### 3.2.1. Bois faiblement adjuvantés

L'industrie de la construction (menuiserie, charpente), l'industrie du meuble, l'industrie des panneaux produisent des déchets contenant des adjuvants tels que : vernis, colles (urée-formol, vinyliques, phénol-formol, isocyanate), certains produits de préservation. S'ils ne contiennent ni métaux lourds ni organo-halogénés ils tombent dans la catégorie des DIB.

Ils se présentent sous forme de poussières de ponçage, chutes de délignage et de mise au format des panneaux, sciures et copeaux. La valorisation comme matière première de l'industrie des panneaux est la meilleure d'un point de vue environnemental et économique, excepté les poussières de ponçage, intégralement valorisées en énergie. Cependant ils sont utilisés en interne dans les entreprises pour la production d'énergie avec les poussières de ponçage.

Secteur	t/a
Ameublement	200 000
Construction	858 000
Sciage Emballage	0

Tableau 23 : production de déchets secs faiblement contaminés de l'industrie du bois

### 3.2.2. Bois fortement adjuvantés

Certains bois sont traités en profondeur en autoclave, pour des usages sous terre ou en milieu constamment humides, avec des produits à base de sels CCA (chrome, cuivre, arsenic) ou par des cuivres organiques ou par des créosotes. Leur usinage produit des déchets sous forme de sciures, poussières, copeaux et chutes massives. La production atteint 71 000 t/a.

#### 4. Déchets de bois en fin de vie

##### 4.1. Traverses de chemin de fer et poteaux télégraphiques

RFF est maintenant contraint d'éliminer les traverses bois. La revente pour d'autres usages imposent aux acheteurs des contraintes (traçabilité) telles que plus personne ne veut les prendre.

Le besoin de traitement<sup>21</sup> est le suivant :

- un gisement de 84 000 tonnes (1 200 000 traverses) réparties sur 650 sites, soit environ 10 000 t/a pour résorber le stock à un rythme raisonnable.
- 15 000 tonnes (210 000 traverses) par an issues des travaux de maintenance, qui iront en se réduisant car il y a de plus en plus de traverses béton.

Un poste coûte cher : le transport. Sidénergie traite actuellement les traverses par thermolyse, pour en faire du charbon de bois, mais avec une capacité limitée à 12 000 t/a (y compris les poteaux télégraphiques) sur un seul site, Laval de Cère dans le Lot. Le prix moyen du traitement tout compris est de l'ordre de 9 € la traverse.

On estime à environ 300 000, le nombre de poteaux retirés annuellement du 'parc installé' de France Telecom. Cela représente environ 70 000 t/a. Afin de les protéger des agressions extérieures (intempéries, insectes), ces poteaux ont subi différents traitements chimiques qui sont, ou qui ont été pour l'essentiel, à base de sulfate de cuivre ou de CCA (Cuivre, Chrome, Arsenic) et de créosote. [Le Calvez, 1999].

##### 4.2. Palettes et emballages lourds en bois

Au regard de la valorisation énergétique, 3 catégories doivent être distinguées :

- Les palettes non souillées et non traitées
- Les palettes traitées contre le bleuissement du bois et non souillées
- Les palettes souillées par des produits toxiques

Les premières peuvent être utilisées comme de la biomasse naturelle avec toutefois l'application de la réglementation sur les déchets banals. Les deuxièmes sont considérés comme des bois faiblement adjuvantés. Les troisièmes tombent dans la catégorie des déchets dangereux.

Les palettes sont autant que possible récupérées en vue d'un réemploi. En fin de vie elles sont broyées pour une utilisation en panneaux de particules ou en énergie.

Le volume de palettes en fin de vie est estimé à 1,7 millions de t, y compris 5 % environ de caisses en bois. Ce volume se répartit par région proportionnellement au niveau de l'activité économique générale.

---

<sup>21</sup> Source : RFF

## 5. Déchets de jardins, tontes, élagage.

### 5.1. Définition

La définition de l'ADEME est la suivante : « Matières végétales issues de l'exploitation, de l'entretien ou de la création de jardins ou d'espaces verts publics et privés ainsi que les déchets organiques des activités horticoles professionnelles ou municipales, à l'exception des supports de culture ». Ceci rassemble ainsi tous débris végétaux sortant d'un jardin ou d'un espace vert.

Deux gisements doivent être nettement distingués :

- Les déchets verts des espaces publics (entretien des espaces verts et des arbres d'alignement)
- Les déchets verts des ménages.

Eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites, ces déchets peuvent être éliminés dans les mêmes conditions et installations que les déchets ménagers sans sujétions techniques particulières (Cf. article L.2224-14 du code des collectivités territoriales). Ils sont assimilés à des déchets des ménages.

Les modalités de collecte sont différentes.

#### 5.1.1. Déchets verts des ménages

Les déchets collectés sélectivement hors déchetterie représentent un gisement de 990 kt en 2005 (ADEME enquête collecte 2005). Ils ne concernent que 30% de la population (ADEME, enquête collecte 2005, enquête collecte 2007). Deux modalités :

- collecte en porte à porte pour 86% de la population, (avec une expérience de collecte payante en Bourgogne)
- collecte en points de collecte dans des lieux accessibles, plus proches des habitations que les déchetteries.

La collecte sélective n'est pas répartie de façon homogène sur le territoire. Elle ne concerne que 69 collectivités, auquel il faut ajouter neuf opérations en test, et d'autres à un niveau trop local<sup>22</sup> pour être comptabilisables. Le Nord pas de Calais et l'Île de France sont parmi les régions les plus actives dans la collecte sélective de déchets verts, représentant respectivement 22% (ADEME 2005) et 20% du tonnage capté.

La collecte sélective en porte à porte a des rendements faibles, de l'ordre de 50% des déchets verts effectivement produits (ORDIF 1997). Ceci peut s'expliquer par un retour au sol volontaire (utilisation en compost) ou l'absence de motivation à utiliser les modalités de collecte municipales offertes. Par comparaison, on peut constater que le tri à la source des recyclables secs (verre, cartons, journaux, plastiques, ...) a pris du temps pour se généraliser et s'ancrer dans les pratiques des citoyens. On peut donc s'attendre à une augmentation des livraisons.

Cette collecte est cependant coûteuse : en moyenne 165 € HT/t pour les collectivités ayant mis en place une opération de collecte sélective (ADEME 2008<sup>23</sup>). Pour amortir ce coût, certaines collectes regroupent les déchets verts et les biodéchets, dont les tonnages sont plus importants, ce qui pourrait poser des difficultés pour isoler les déchets d'origine végétale.

Une autre façon de limiter les coûts de collecte de ces déchets verts consistent à favoriser la réutilisation sur place en compost. Un plan de compostage individuel a été initié depuis 2000 par les services publics et l'ADEME. Les volumes correspondant ne seront pas disponibles.

---

<sup>22</sup> Analyse technico-économique des opérations de gestion biologique des déchets, MEDDAT et ADEME, mai 2008.

<sup>23</sup> Analyse technico-économique des opérations de gestion biologique des déchets

### 5.1.2. Déchets verts des collectivités

La loi du 13 Juillet 1992 relative à l'élimination des déchets réserve à partir de 2002 la décharge aux seuls déchets ultimes. La collecte des déchets verts des espaces publics doit donc passer par les déchetteries. La collecte se fait en apport volontaire par les opérateurs. En 2005 ces déchets verts représentaient 27 % des tonnages apportés en déchetterie, soit 2 543 kt.

#### 5.2. Sources d'information

- La source principale concernant les tonnages collectés est constituée des enquêtes déchetterie réalisées par l'ADEME tous les deux ans, disponible sur le site de l'IFEN, [www.ifen.fr](http://www.ifen.fr).
- Le glossaire des déchets de l'ADEME nous a servi de référence afin d'estimer et d'homogénéiser les données de documents différents le cas échéant.
- Le document de l'ORDIF (IDF 1997) *Synthèses des connaissances sur les déchets végétaux d'Ile de France Gisement et productions; modes de collectes et de traitement. Tendances*, nous a apporté la composition moyenne des déchets verts ainsi que des informations sur des ratios de production de déchets verts.
- Le *Guide biomasse-énergie* de l'Université de Louvain nous a fourni les pci.
- Les enquêtes ITOM, « Installations de Traitement des Ordures Ménagères » réalisées par l'ADEME tous les deux ans auprès des installations de traitement ont été recoupées avec les données de la publication « La collecte des déchets par le service public » réalisée elle aussi tous les deux ans. Les données sont disponibles sur le SINOE, Système d'Information et d'Observation de l'Environnement, [www.sinoe.org](http://www.sinoe.org) et sur le site de l'IFEN.
- Le gisement total a été établi sur les bases du ratio de l'ORDIF de 0,1m<sup>3</sup> de déchets verts de jardins par habitant et par an et appliqué aux statistiques fournies par l'INSEE. Concernant les arbres d'alignement nous avons conservé le ratio de 4,2 arbres par ha de réseau urbain. Cette superficie a été donnée au niveau régional par le système d'informations européen CORINE Land Cover.

#### 5.3. Caractérisation des déchets

C'est de la matière végétale pure, non contaminée, composée d'herbe, de feuilles et de bois non traité. Ils peuvent être broyés avant transport pour diminuer par trois le volume des branchages, qui constituent 15% du poids mais 60% des volumes avant broyage (ORDIF 1997). La composition par origine est la suivante :

##### Déchets verts des collectivités

- tontes de gazon : 45 %
- Feuilles mortes : 12 %
- Elagage : 42 %
- dont élagage d'été : 7 %
- élagage d'hiver : 35 %

##### Déchets verts des jardins particuliers<sup>24</sup>

- gazon : 56 %.
- feuilles mortes : 13 %
- entretien (élagage) : 14 %
- déchets mélangés : 17 %

---

<sup>24</sup> ORDIF 1997

Ces déchets ne sont pas contaminés. Cependant 17 % des déchets verts des ménages apportés en déchetterie et comptabilisés avec l'ensemble des déchets verts, sont mélangés avec la fraction fermentescible des ordures ménagères (principalement déchets de cuisine et cartons), dont le taux d'impureté en verre, métaux et plastiques est de 13% sur matière sèche<sup>1</sup>.

Les déchets verts des collectivités présentent un taux d'humidité moyen de 50 à 60 %; 80% pour les déchets verts des ménages. Au vu des ratios précédents, nous retenons une humidité moyenne de 65%, confirmée par l'ADEME<sup>25</sup>. (Livre Vert sur la gestion des biodéchets, Commission européenne, www.europa.eu ). Le détail est le suivant :

Produit	Humidité %	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>
élagage d'hiver (branches sans feuilles)	40	100 ; 300 à 350 en cas de broyage,
élagage d'été	45	100 à 120
feuilles mortes	50 à 60	150
tonte	86	

- Composition chimique

La composition chimique est variable, mais en conservant les proportions susmentionnées il est obtenu :

	MS (% masse brute)	C (%MS)	H (%MS)	O (%MS)	pci kWh/ts
Feuilles	45	50	6.13	43.5	4 700
Branches	60	48.1	5.76	37	5 080
Tonte	85	49.4	6.06	43.5	4 600
Total retenu sur la base d'une composition moyenne des déchets verts	35%				4 700

Tableau 24 : composition chimique des déchets verts

#### 5.4. Facteurs déterminant les quantités

##### Production

Une moyenne de production de 0,3 m<sup>3</sup>/hb/an de déchets verts des collectivités est citée par l'ORDI, reprise par l'INSA de Lyon, soit une production moyenne de 1 000 à 1 500 kt de déchets verts urbains par an. A cela il faut ajouter une production de 800 kt de bois d'élagage des arbres d'alignement. Les déchets des collectivités représentent donc entre 1 800 et 2 400 kt, soit entre 70 et 94 % des déchets verts collectés en déchetterie. Les autres déchets verts seraient donc produits par les ménages.

##### Marketing

La communication concernant la nécessité de valoriser ces déchets est a priori bonne, puisqu'il s'agit de déchets d'organismes publics. Cependant, l'absence de bénéfices associés à cette valorisation pour les maîtres d'œuvre, ainsi que le coût de transport et l'inconvénient d'apporter en déchetterie les déchets verts a un impact certain sur les volumes portés en déchetterie.

<sup>25</sup> Cité dans INSA Lyon .

L'ORDIF estimait qu'en 1997 80 % des déchets verts des collectivités étaient détournés d'une déchetterie, car placés en décharge ou laissés sur place (décharge dite « sauvage ») pour 50 % et incinérés sur place pour 30 %. La multiplication des déchetteries présente sur le territoire de chaque département ainsi que l'imposition de la loi relative au stockage en centres de stockage ultimes a réduit ces pratiques en ce qui concerne les déchets verts des collectivités, dont le tonnage apporté en déchetterie a été multiplié par 2,4 entre 1996 et 2005. On peut ainsi considérer que près de 60% des déchets verts produits par les collectivités sont désormais captés par les déchetteries.

Il existe donc une possibilité d'augmenter les volumes qui nécessite pour se réaliser de donner une motivation aux acteurs amont : principalement les professionnels de l'entretien des espaces publics et de l'élagage, sans compter les ménages.

#### Utilisations concurrentes

Les déchets verts des collectivités apportés en déchetteries sont transformés pour 93% de la masse (ADEME Enquête collecte 2005), en compost majoritairement. Cette filière de valorisation a pris de l'importance puisque les PDEDMA antérieurs à 2001 indiquent que seulement 25% des déchets verts collectés suivaient une filière de valorisation organique.

#### Opérateurs

La collecte et le traitement des déchets verts sont majoritairement (75 %) assurés en délégation de services (source : « *Les marches des activités liées aux déchets :- situation 2006-2007 et perspectives 2008* » édité par l'ADEME en 2008). Le prix moyen du traitement des déchets verts est évalué par l'ADEME à 46 €/t.

#### Saisonnalité

- Les tontes se déroulent d'avril à novembre avec une fréquence plus importante au printemps et en début d'été
- Les feuilles mortes sont généralement ramassées d'octobre à janvier.
- Les élagages se déroulent selon deux sessions: la taille " au carré " d'arbres d'alignement s'effectue en Mai et Juin lorsque l'arbre est en sève (influençant donc l'humidité des produits, voir *supra*). L'élagage d'hiver se déroule en hiver sur arbres nus.

#### 5.5. Niveaux d'incertitude

- Concernant la comptabilité des déchets verts collectés par rapport aux tonnages de déchets verts apportés en déchetterie, le niveau d'incertitude est faible puisque la majorité de ces centres est équipé de bennes spéciales pour les déchets verts.
- Concernant la production totale effective, le niveau d'incertitude est moyen (+/- 20 %, soit 4 millions de tonnes brutes). En effet, l'ORDIF a mené des enquêtes auprès des ménages, auprès des professionnels de l'entretien des espaces verts et auprès des centres de collecte des déchets. Cependant la répartition régionale par habitant est très approximative car le type d'habitat (maison individuelle, superficie de l'espace vert) est un facteur essentiel à la production des déchets verts, de même que la surface d'espaces verts et de routes (arbres d'alignement) par habitant par région.
- Le volume collectable est une évaluation de l'ADEME, sans indication de méthode.

#### 5.6. Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région

Il fait apparaître deux volumes :

- Celui qui est actuellement collectés en déchetteries ;
- Celui qui est potentiellement collectable avec une organisation plus ou moins efficace de la collecte. Estimation donnée par l'ADEME, sans indication de la méthode.

Facteurs explicatifs	Collectes en déchetteries		Production totale Publique et privée		Objectif de collecte	
		pci : 4 170 kWh/ts  1 ts = 0,35 t brute	Estimation : 10 kt en France,  160 kg/hb/an	pci : 4 170 kWh/ts 1 ts = 0,35 t brute	Estimation : 4 000 kt en France,  soit 64 g/hb/an	pci : 4 170 kWh/ts 1 ts = 0,35 t brute
Sources d'informations	Enquêtes collecte 2005 ADEME	ECN	ADEME, ORDIF	ECN	ADEME	ECN
Unités	kt	GWh	kt	GWh	kt	kWh
<b>France entière</b>	<b>2 543</b>	<b>4 183</b>	<b>9 987</b>	<b>16 429</b>	<b>4 020</b>	<b>6 613</b>
Alsace	61	100	294	484	118	194
<b>Aquitaine</b>	<b>201 + collecte sélective des biodéchets</b>	411	<b>510</b>	839	<b>205</b>	337
Auvergne	46	76	219	360	88	145
Basse Normandie	85	140	239	393	96	158
Bourgogne	85 + collecte sélective	165	267	439	108	178
<b>Bretagne</b>	<b>297 + collecte sélective des biodéchets</b>	576	<b>508</b>	836	<b>204</b>	336
Centre	140	230	412	678	166	273
Champagne-Ar	30	49	219	360	88	145
Franche comte	39	64	189	311	76	125
Haute-Normand	135	222	294	484	118	194
<b>Ile de France</b>	<b>88 +200 kT en collecte sélective</b>	474	<b>1 856</b>	3 053	<b>747</b>	1 229
Languedoc-Rou	123	202	412	678	166	273
Limousin	24	39	120	197	48	79
Lorraine	64	105	380	625	153	252
Midi-Pyrénées	95	156	454	747	183	301
Nord-Pas-de-Calais	137 + 220 kT en collecte sélective	587	<b>650</b>	1 069	<b>262</b>	431
Pays-de-la Loir	<b>237</b>	390	<b>779</b>	1 281	<b>313</b>	515
Picardie	74	122	<b>565</b>	929	<b>227</b>	373
Poitou-Charent	119	196	309	508	124	204
Provence-Alpes	188	309	283	466	114	188
<b>Rhône-Alpes</b>	<b>270</b>	444	<b>981</b>	1 614	<b>395</b>	650

Tableau 25 : production de déchets verts

## 6. Déchets de l'Industrie Agro Alimentaire

### 6.1. Origines des déchets

L'ADEME considère que les déchets de l'IAA en France représentent environ 43 millions de tonnes chaque année qui se répartissent de la façon suivante:

- **Sucrierie, distillerie de betteraves : 52 % , soit 22 000 kt**
- Laiterie, fromagerie : 21 % , soit 90 300 t
- Industrie de la viande : 9 % soit 3 870kt
- **Meunerie : 4,2 % 1 806 kt**
- **Viticulture : 4 % soit 1 720 kt**
- **Transformation des oléoprotéagineux : 4% = 1 720 kt**
- **Fruits et légumes : 3% = 1 290 kt**
- Divers : 2,8 %

Il s'agit principalement des produits issus de la première transformation industrielle.

Une étude réalisée par l'ADEME et le cabinet Blezat Consulting publiée en 2006 "Etude de marché sur l'utilisation des biocombustibles dans les secteurs industriel et agricole" donne des indications sur l'utilisation des coproduits principaux de l'industrie agroalimentaire :

Les déchets de la sucrierie, de la meunerie et de la transformation des oléoprotéagineux (tourteaux ) sont valorisés dans leur intégralité<sup>26</sup>. La France importe d'ailleurs des tourteaux (résidus de la transformation des oléoprotéagineux), puisque sa production ne couvre que 26 % de ses besoins, c'est pourquoi nous ne nous attacherons pas à ces résidus.

Les déchets des fruits et légumes sont en majorité produits lors du conditionnement<sup>27</sup>. Les producteurs sont donc intéressés par des voies de valorisation. Quant aux coproduits à fort potentiel de valorisation énergétique, tels que les pépins, noyaux et les coques et drèches de fruit, leur production est insuffisante et trop dispersée pour assurer un débouché facile à échelle régionale<sup>28</sup>.

Les déchets de la viticulture intéressants pour une valorisation énergétique sont les marcs et ses coproduits (rafles, pulpes, pépins).

Dans les divers se trouvent les huiles des industries agroalimentaires et les huiles de la restauration, au fort pouvoir calorifique mais au gisement modeste, représentant de 100 à 150 000 tonnes. Seules 25 000 tonnes seraient collectées chaque année, ce qui en fait gisement disponible mais que nous n'avons pas traité du fait de son faible volume et de sa dispersion.

### 6.2. Déchets de la transformation du grain

#### 6.2.1. Définition

Les déchets produits par les opérations suivantes : décortilage, polissage, étuvage, broyage... sont majoritairement : farines de sons, balles de riz, produits de pré-triage (matières premières brutes).

#### 6.2.2. Sources d'information

La source principale est une étude réalisée par le CRITT de PACA, publiée en juillet 2006, "Co-Produits d'origine organique des industries agro-alimentaires de la région Provence Alpes Côte d'Azur : évaluation des gisements et réalisation d'une cartographie régionale, évaluation des solutions

<sup>26</sup> Ministère de l'Agriculture

CRITT PACA, "Co-Produits d'origine organique des industries agro-alimentaires de la région Provence Alpes Côte d'Azur : évaluation des gisements et réalisation d'une cartographie régionale, évaluation des solutions technologiques proposées pour leur valorisation", ADEME, CR PACA, Préfecture PACA, juillet 2006;

Filière française des huiles et protéines végétales, [www.prolea.com](http://www.prolea.com),

<sup>27</sup> CRITT PACA, *Op. Cit.*

<sup>28</sup> Voir étude PACA sus-mentionnée.

technologiques proposées pour leur valorisation". Le ministère de l'agriculture, le comité national des coproduits associé et le service de l'AGRICE ont fourni des informations complémentaires sur les autres valorisations existantes.

L'école nationale vétérinaire de Lyon fournit des données sur la composition chimique et les rendements de coproduits. <http://www2.vet-lyon.fr/ens>

L'étude du CRITT donne des ratios de production qui ont été répartis par régions selon les chiffres d'affaires de différents secteurs concernés, donnés par la publication de l'Agreste "Chiffres et Données" sur l'Agroalimentaire", (N° 143) pour 2004.

### 6.2.3. Modalités de collecte

La collecte de ces déchets se réalise généralement directement auprès des entreprises productrices par l'entreprise cliente intéressée. Les circuits commerciaux sont bien rodés avec des courtiers pour les coproduits les plus vendus (farines de sons).

Certaines entreprises ont mis en place une valorisation interne partielle ou totale des coproduits, par incinération des produits secs (balles de riz par exemple) et par compostage des issues de pré-triage.

### 6.2.4. Caractérisation des déchets

Principales formes : les sons de blé et les balles de riz.



Leurs caractéristiques sont semblables

	Son de blé	Balles de riz
Matière sèche		87 %
Cendres	7 %	17 %
pci		3 940 kWh/ts

Le taux de matière sèche varie peu entre les différents sous produits, entre 85 et 87% sur produit brut. A noter les très fort taux de cendres pour les balles de riz.

### 6.2.5. Facteurs déterminant les quantités

Les coproduits principaux sont les sons et les balles de riz, représentent respectivement entre 14 et 16% du grain et 20% du riz.

Les coproduits de meunerie et de transformation du grain sont valorisés à 99% (CRITT PACA 2006), principalement auprès des filières d'alimentation animale. Le son de blé est le co-produit le mieux valorisé. Il se vend environ 80 €/t, mais ce prix varie en fonction du cours du blé. Le CRITT indique que « La filière produits du grain compte peu de points faibles ».

Pour une utilisation énergétique, le coût par MWh est estimé par Bezat/ADEME<sup>29</sup> entre 18 et 27 €

#### 6.2.6. Méthodologie appliquée et incertitude

Le principe consiste à multiplier le nombre de salariés par région indiqué dans les statistiques de l'Agreste par le ratio de production de sous-produits constaté en PACA par le CRITT. Il s'agit d'une production en tonne par employé des entreprises de plus de 20 personnes. Cette méthode extrapole la structure industrielle de la transformation des grains de la PACA à l'ensemble des régions.

#### 6.2.7. Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région

Source des données Facteurs explicatifs	Nombre de salariés	Production de coproduits sur l'ensemble des entreprises de la transformation des grains	
		CRITT Production en PACA Ratio 1 120 t/salarié/an.	ECN: pci = 3 940 kWh/ts 1 ts = 0,88 t brute
Unités		kt/an	GWh
<b>France entière</b>	<b>14 847</b>	<b>19 479</b>	<b>63 819</b>
Alsace	885	1 161	3 804
Aquitaine	205	269	881
Auvergne	273	358	1 173
Bourgogne	368	483	1 582
Bretagne	233	306	1 002
Centre	564	740	2 424
Champagne-Ardenne	627	823	2 695
Franche-Comté	90	118	387
Île-de-France	823	1 080	3 538
Languedoc-Roussillon	72	94	309
Limousin	45	59	193
Lorraine	192	252	825
Midi-Pyrénées	343	450	1 474
Nord - Pas-de-Calais	6 667	8 747	28 658
Basse-Normandie	44	58	189
Haute-Normandie	133	174	572
Pays de la Loire	458	601	1 969
Picardie	1 336	1 753	5 743
Poitou-Charentes	233	306	1 002
PACA	566	743	2 433
Rhône-Alpes	690	905	2 966

Tableau 26 : Production de déchets de l'industrie du grain

<sup>29</sup> Bezat consulting et ADEME: "Etude de marché sur l'utilisation des biocombustibles dans les secteurs industriel et agricole", 2006.

### 6.3. Déchets de l'industrie de la transformation du sucre

Il s'agit des pulpes de betterave après extraction du sucre. Les feuilles et les collets de betteraves seront traités plus sommairement puisqu'ils sont restitués au sol dans leur intégralité dans le cadre de la mise en place d'une agriculture raisonnée de la betterave (Institut du Sucre). Les sucreries produisent de la mélasse qui n'est pas prise en compte ici.

#### 6.3.1. Sources d'informations

Le CEDUS, le Centre d'Etudes et de Documentation du Sucre, a fourni les ratios de production et des informations sur les filières de valorisation existantes: [www.lesucre.com](http://www.lesucre.com)<sup>30</sup>. Le comité national des coproduits, l'USICA, l'Union des SICA de transformation de pulpes de betteraves ([www.labetterave.com](http://www.labetterave.com)) et l'Institut Technique de la Betterave (ITB; [www.itbfr.org](http://www.itbfr.org)) ont complété ces informations<sup>31</sup>. Une étude présentée par Arne Sloth JENSEN lors du Symposium AVH 2008 organisé par l'Association Andrew VanHook et la Maison des Agriculteurs de Reims<sup>32</sup>, a donné le PCI.

Les statistiques de l'AGRESTE ont permis de répartir les productions par régions.

#### 6.3.2. Caractérisation des déchets

C'est une matière végétale naturelle. Le PCI de la matière sèche est de 4 720 kWh/ts (3 744 kWh/ts selon ECN). La proportion de cendres est très élevée mais les valeurs sont très variables suivant les sources (5 à 24 % de la MS selon ECN).

Trois présentations des pulpes (Source: CEDUS, Mémo statistiques 2008<sup>33</sup>):

- Les pulpes humides, contenant 89% d'eau en moyenne représentent 10 % des tonnages brutes et 1 % de la matière sèche
- Les pulpes surpressées contenant entre 68 et 79 % d'eau représentent 20 % des tonnages brutes et 31 % de la matière sèche
- Les pulpes déshydratées, contenant 20% d'eau en moyenne, représentent 20 % des tonnages brutes et 68 % de la matière sèche.

Le compressage et la déshydratation sont réalisés par le producteur de sucre. Le coût est ensuite répercuté sur le prix de vente de la pulpe.

Des sulfates d'aluminium et ou de calcium sont fréquemment ajoutés au surpressage, ce qui peut conduire à des teneurs de 3 à 5g de soufre par kg de pulpe surpressés, soit de l'ordre de 20g/kg de matière sèche. Une série de mesures a été réalisée à la suite de l'arrêté du 20 janvier 2001 modifiant celui du 16 mars 1989 fixant les teneurs maximales en produits indésirables des matières premières entrant dans l'alimentation des animaux a montré que les pulpes de betteraves ne comportaient pas de pesticides ni d'acide cyanhydrique, ni de métaux lourds dans des proportions contraires aux réglementations.

#### 6.3.3. Filières actuelles de valorisation

La destination principale des coproduits de la betterave à sucre est la filière de l'alimentation animale. Ces caractéristiques nutritives en font un aliment excellent pour les ruminants.

---

<sup>30</sup> Dossier "L'extraction du sucre", CEDUS – Université de Reims, Pr. Mathlouti et MC. Barbara Rougé.

<sup>31</sup> "Guide Environnement pour la production raisonnée de la betterave sucrière", ITB 2003.

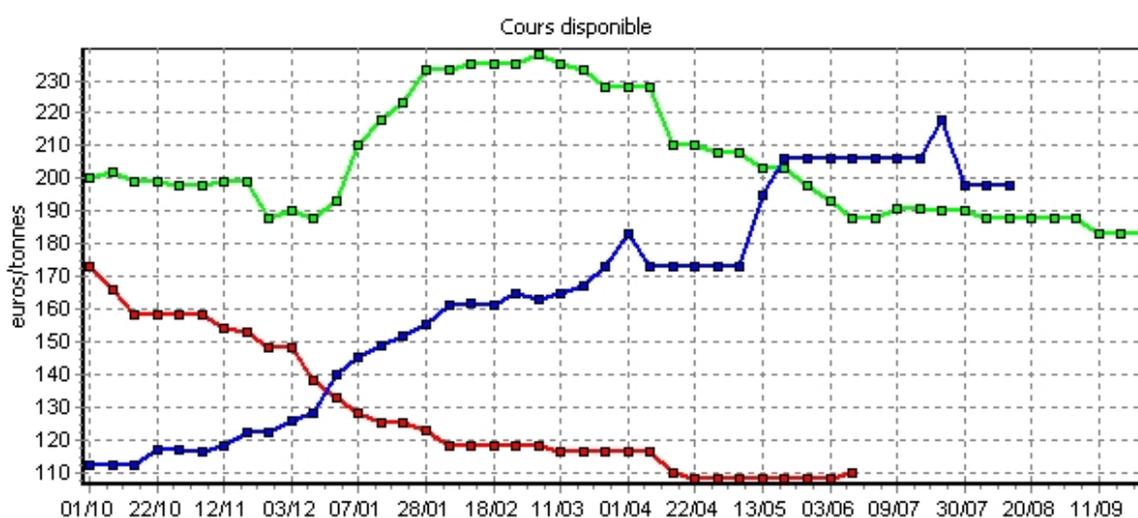
<sup>32</sup> "Sécheur de pulpes de betteraves à vapeur, Unités plus importantes, sans pollution d'air, avec réduction conséquente des émissions de CO<sub>2</sub>." Arne Sloth JENSEN de EnerDry ApS, Kongens Lyngby, Danemark., présenté au Symposium AVH 2008, Association Andrew VanHook et Maison des Agriculteurs, Reims, France.

<sup>33</sup> "Sucre, coproduits, biocarburants, France, Europe, Monde" Colection *Mémo statistiques*, CEDUS, [www.lesucre.com](http://www.lesucre.com), Février 2008)

La pulpe est également valorisée à d'autres fins, mais en bien moindre quantités. L'USICA indique les débouchés suivants <sup>34</sup>:

- Cosmétique et pharmacie
- Traitement des effluents,
- Chimie synthèse de tensio-actifs biodégradables
- Industrie papetière
- Production de vaniline
- Production d'énergie (l'entreprise Biomasse Concept commercialise des pulpes de betterave séchées et pressées en granulés <sup>35</sup>).

Le prix de la pulpe de betterave est donné par un marché aux cours très variables essentiellement fonction du prix du pétrole. En cas de baisse de débouchés dans l'alimentation animale il est envisageable d'utiliser cette biomasse pour la production direct d'énergie.



*Cours de la pulpe de betterave*

Ligne rouge = concerne la campagne 2008-2009 (du 1er octobre 2008 au 30 septembre 2009)

Ligne verte = concerne la campagne 2007-2008 (du 1er octobre 2007 au 30 septembre 2008)

Ligne bleue = concerne la campagne 2006-2007 (du 1er octobre 2006 au 30 septembre 2007)

Source: <http://cours.la-pulpe.com/frontoffice/commercialisation/courspulpe/default.asp>

Les ventes de pulpe de betterave déshydratée s'effectuent soit en direct du producteur au fabricant d'aliments, à l'éleveur ou à des revendeurs locaux (courtiers, petit négoce), soit par l'intermédiaire de négociants nationaux, tels que Desialis (qui opère sur 11 sucreries). C'est un marché relativement concentré : 30 sucreries sur la France).

Les livraisons accompagnent les récoltes de betteraves, la campagne sucrière durant en moyenne 80 jours par an. Le stockage des pulpes surpressées ou déshydratées permet un approvisionnement constant sur l'année.

<sup>34</sup> [www.Labetterave.com](http://www.Labetterave.com)

<sup>35</sup> [www.biomass-concept.com/produit.granules-de-paille-pulpe-de-betterave](http://www.biomass-concept.com/produit.granules-de-paille-pulpe-de-betterave)

#### 6.3.4. Méthodologie d'évaluation des gisements et niveaux d'incertitude

La production dépend des volumes de betteraves traités et de la demande de sucre. Concernant les rendements de processus, ils sont très généralement homogènes. Toutes les études donnent en effet les mêmes rendements.

Nous avons utilisé les données de l'AGRESTE concernant les productions régionales de betteraves industrielles, auxquelles nous avons appliqué le ratio de 5.5% de pulpe déshydratée donnée par l'Institut technique de la betterave. Le résultat a été croisé avec les données du CEDUS.

Les centres de traitement étant toujours situés à moins de 30km des sources d'approvisionnement du fait de la perte de sucre très rapide des betteraves fraîches, les régions de production sont les régions de transformation.

#### 6.3.5. Tableau récapitulatif des disponibilités par régions

Source d'information	Production de betteraves industrielles	Production de pulpes	
		CEDUS	EnerDry ApS <sup>36</sup>
Paramètres	Agreste 2007	Ratio : 5.5 % de pulpe sur betterave entière	pci : 4 720 kWh/ts
Unités	kt	kts	GWh
<b>National</b>	<b>30 160</b>	<b>1 493</b>	<b>7 047</b>
Alsace	465	23	109
Aquitaine		-	-
Auvergne	320	16	75
Basse-Normandie	607	30	142
Bourgogne	102	5	24
Bretagne		-	-
Centre	1 808	89	422
Champagne-Ardenne	7 170	355	1 675
Franche-Comté		-	-
Haute-Normandie	1 628	81	380
Ile de France	3 009	149	703
Languedoc-Roussillon	7	0	2
Limousin		-	-
Lorraine		-	-
Midi-Pyrénées		-	-
Nord-Pas de Calais	4 428	219	1 035
PACA		-	-
Pays de Loire	25	1	6
Picardie	10 592	524	2 475
Poitou Charente		-	-
Rhône-Alpes		-	-

Tableau 27 : production de déchets de l'industrie du sucre

<sup>36</sup> "Sécheur de pulpes de betteraves à vapeur, Unités plus importantes, sans pollution d'air, avec réduction conséquente des émissions de CO<sub>2</sub>." Arne Sloth JENSEN de EnerDry ApS, Kongens Lyngby, Danemark., présenté au Symposium AVH 2008, Association Andrew VanHook et Maison des Agriculteurs, Reims, France.

## 6.4. Marcs de raisin

### 6.4.1. Définition

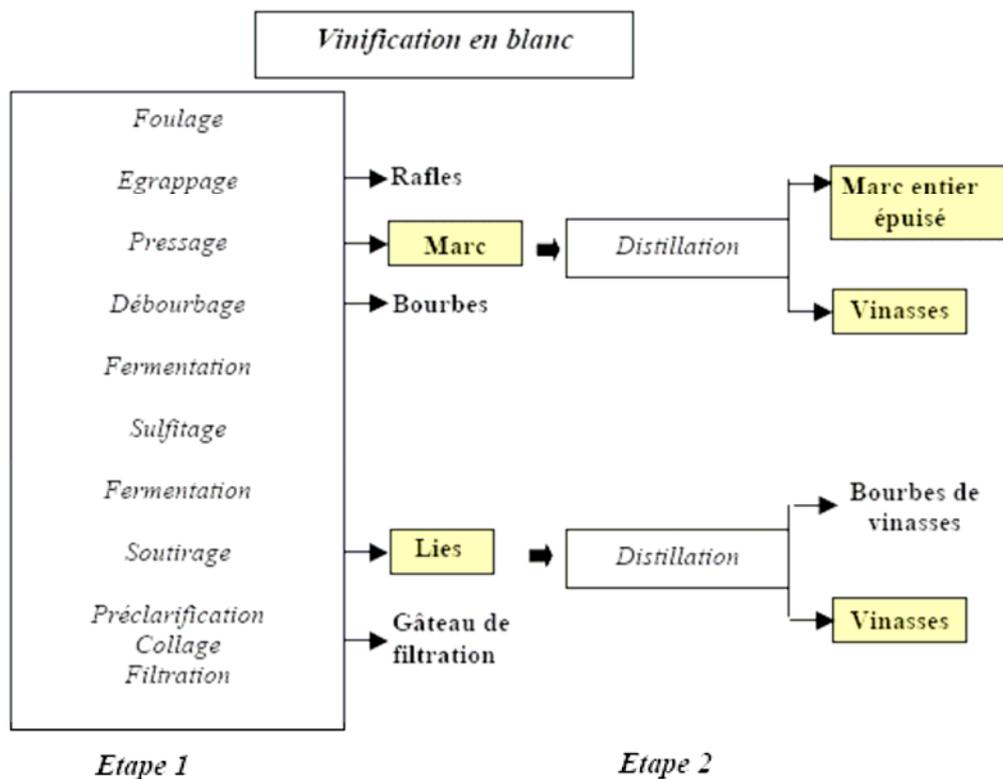
Les marcs de raisin sont les produits de la vinification des raisins. Ils recourent l'ensemble des parties solides du raisin par opposition avec le moût. Leur composition en rafles, en pellicules (ou peau) et en pépins varient selon le type de raisin, les modalités de récolte et les procédés de vinification. Le vin blanc peut être pressé entier avec les rafles pour éviter d'abimer les grains, tandis que pour le vin rouge, les rafles sont toujours séparées des baies.

Après la première transformation il subsiste de l'alcool, en quantité variable selon les types de raisins et de vins produits. Elle donne donc des marcs alcoolisés, qui seront traités en distillerie afin de retirer l'alcool. En effet, les marcs appartiennent aux producteurs qui ont l'obligation, suivie par les douanes et l'autorité de régulation des marchés, de les traiter afin de récupérer l'alcool. Le traitement se passe par une "douche", c'est à dire une réhydratation puis une second pressurage.

Nous traitons ici des marcs désalcoolisés, ou "marcs épuisés" sortant de distillerie du fait des contraintes réglementaires attachées aux problèmes de commercialisation des produits alcoolisés.

Le procédé de production de marc est donné dans le schéma suivant, tiré de l'étude de CM International. Les étapes de la vinification sont différentes dans la vinification des vins blancs et rosés et des vins rouges, mais ceux-ci n'étant pas détaillés, ce schéma convient pour comprendre la production de marc de façon générale.

Figure n°9 : les étapes de vinification en blanc et rouge



### 6.4.2. Sources d'information

- L'étude de Blezat Consulting et de l'ADEME "Etude de marché sur l'utilisation des biocombustibles dans les secteurs industriel et agricole", 2006, concernant les valorisations possibles des différentes parties du marc,
- Le document "La réforme de l'O.C.M Vin et les distilleries coopératives viticoles : leur avenir ? Quels impacts sur la filière viticole ?" produit par la FNDCV, Fédération Nationale des Distilleries Coopératives Viticoles en 2007.
- Une étude du CIRAD du 2 juin 2006, "Risque environnemental lié au recyclage"<sup>37</sup> donne des informations sur le potentiel de valorisation des marcs
- Les Chambres d'agriculture du Loir et Cher et de Gironde
- Le site de l'institut français de la vigne et du vin, [www.vignevin.com](http://www.vignevin.com)
- l'étude de CM International pour le Bureau de la pollution des sols et des pollutions radioactives rattaché au Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement réalisée en 2002, " Evaluation des quantités actuelles et futures de sous-produits épandus sur les sols agricoles provenant des industries agroalimentaires" donne des informations sur les quantités disponibles à l'échelle de la France et les procédés de vinification considérés pour obtenir ces tonnages.

Les informations disponibles étant assez maigres du fait de la nouveauté relative de la valorisation énergétique des marcs de raisin, des précisions essentielles ont été apportées par un entretien avec un chef de projet de méthanisation sur marcs de vins de l'INRA de Bordeaux et des professionnels de distilleries bordelaises.

Les statistiques de l'AGRESTE ont permis de répartir les productions par régions.

#### 6.4.3. Modalités de collecte

Les marcs sont collectés directement en distillerie. Il existe une cinquantaine de sites selon l'étude de BLZEZAT -ADEME<sup>38</sup>. Une distinction des entreprises fondée sur les recensements de l'INSEE selon les codes NAF est impossible du fait de l'appartenance de ces entreprises à différentes catégories, "industries agroalimentaires" et "industrie chimique", ainsi que de l'indistinction entre les produits traités (marcs de différents fruits) . Ceci empêche donc de comptabiliser le nombre d'entreprises, c'est pourquoi nous raisonnerons à partir des hectares de vin par région.

#### 6.4.4. Caractérisation des déchets

Les marcs se présentent sous la forme de résidus solides humides bruns.



Marc de raisin  
Source: fr.wikipedia.org

Le marc est composé de pulpe, de peau et de pépins. La rafle est parfois associée selon les techniques de vinification. Les rafles se retrouvent donc totalement ou en partie dans les marcs sortant des processus de vinification. Les compositions varient fortement selon :

<sup>37</sup> "Risque environnemental lié au recyclage", CIRAD, Dossier d'évaluation UPR n°78, 2006.

<sup>38</sup> Blezat Consulting et ADEME "Etude de marché sur l'utilisation des biocombustibles dans les secteurs industriel et agricole", 2006.

- la qualité des vins recherchée
- le cépage

C'est de la matière végétale non contaminée. Cependant, du fait de la forte teneur en potasse des marcs<sup>39</sup>, un problème de vitrification des cendres apparaît lors de l'incinération.

Les marcs sortant des distilleries de seconde transformation, désalcoolisés, sont composés à 55% d'eau<sup>40</sup> (ils arrivent chargés à 65% d'eau dans les distilleries).

Le PCI de la matière sèche des marcs de raisins varie de 2 MWh/t de matière brute sur un produit à 55% d'humidité<sup>41</sup>, soit environ 4,5 MWh/ts est de 5,27 MWh/ts. Le pépin de raisin, fortement chargé en lipides, a un PCI de 6.7 MWh/ts.

L'étude du CIRAD "Les Risques liés au recyclage"<sup>42</sup> indique que les déchets solides de la distillation sont constitués de plus de 90% de matière organique avec un rapport C/N faible de l'ordre de 20 pour la rafle et la pulpe.

La base de données ECN indique un taux de cendres moyen pour les déchets d'origine végétale (5%) mais nettement supérieur au bois, environ 10 fois plus.

#### 6.4.5. Facteurs déterminant les quantités

Les quantités sont liées directement à la production de vin. Les destinations principales sont les suivantes

- l'alimentation humaine (extraction de pépins de raisin pour l'huile de pépins de raisin), et la cosmétique.
- Le compostage. Une étude de l'ADEME en région PACA estime que le compostage des marcs de distillerie n'est pas économiquement viable et tend à disparaître<sup>43</sup>. L'étude de CM International indique que peu de marc est épandu, entre 0 et 100kT par an en 2006. Cependant, en restitution aux producteurs, donc à coût moindre hors marché, le compostage semble une pratique courante aux dires d'un distillateur<sup>44</sup>.
- L'alimentation animale
- La production d'énergie en distilleries pour le chauffage : l'étude Blezat ADEME indique que 60% des distilleries utilisent les marcs comme combustibles. Ceci n'a pas été corroboré par l'entretien avec le chef de projet de l'INRA de Bordeaux.

L'INRA de Bordeaux note que la valorisation des marcs de raisins, et particulièrement des pépins, a beaucoup évolué au cours de ces dernières années, et que le marché se développe. La commission européenne, à l'origine de la l'obligation réglementaire concernant la valorisation des marcs de raisins, fournit une aide à la collecte et à l'ensilage des marcs, mais la plupart des distilleries commencent à couvrir leur frais par la vente des pépins de raisins.

L'étude Blezat-ADEME indique que les pulpes sont faiblement valorisées en alimentation animale et en compost, mais elles ont une bonne valeur énergétique; il en serait de même pour les rafles, actuellement "mal valorisées" (2006). Cette étude considère que la valorisation des pépins de raisins est bien organisée, mais que les sous-produits de la valorisation, i.e les pépins de raisins déhuilés,

<sup>39</sup> Entretien INRA Bordeaux

<sup>40</sup> Idem, et BLEZAt ADEME 2006, étude citée. La commission européenne donne une humidité de l'ordre de 60%

<sup>41</sup> Programme Bois énergie, "Rapport d'activités 2000-2005", ADEME, 2006

<sup>42</sup> CIRAD 2006, étude citée.

<sup>43</sup> Le marché des composts en PACA, ADEME

<http://www.ademe.fr/paca/images/pdf/le%20march%C3%A9%20des%20compost%20en%20paca.pdf>

<sup>44</sup> Entretien avec un distillateur.

peuvent également prétendre à être brûlés. Il resterait un gisement de 80 kT, mais la méthode pourra arriver à ce gisement n'est pas expliquée.

Les opérateurs sur le marché amont de cette biomasse sont les producteurs de vin, qui ont obligation réglementaire de valoriser les marcs alcoolisés issus de la première transformation du raisin. Les distillateurs sont donc des acteurs importants de la filière. La Fédération Nationale des Distilleries Coopératives Viticoles regroupe 24 distilleries coopératives vinicoles, unions, ou SICA de distillation de France et traite 55% des volumes de marcs de raisins.

Les livraisons se font durant la période de la récolte du raisin, le stockage est cependant possible comme le montre l'expérience de gazéification des marcs de raisins opérée par la société EBV à St Genès de Lombaud<sup>45</sup>.

#### 6.4.6. Méthodologie et niveaux d'incertitude

Le niveau d'incertitude concernant la production de marc est fort, puisqu'il est donné à l'échelle nationale et assez grossièrement par la FNDCV: 1000 kt/an, et par l'étude de CM International, qui indique que 910 kt de marcs épuisés sont produits en France en 2006. L'application régionale selon la production de vins ne tient donc pas compte de la forte disparité régionale concernant les types de vignobles ni les modalités de vinification et donc la composition des marcs.

D'autres ratios de production ont été trouvés, mais la définition des marcs n'est pas évidente. Un ratio de production permettant de faire une distinction entre vins blancs et vins rouges a été délivrée par un distillateur: entre 8 et 10kg de marcs pour 100 l de vin blanc, entre 12 et 15 kg de marcs pour 100 l de vins rouges. Ceci est corroboré par l'ouvrage de Jean Carette " *De La Grappe Au Vin*<sup>46</sup> , qui donne un ratio de 12 à 16 kg de marcs pressés pour 100 kg de raisin, soit environ 12 kg de marc pressé pour 100 l de vin<sup>47</sup>.

L'incertitude concernant le pci est aussi forte, pour les mêmes raisons que les variations dans la production de marcs : la composition est en effet très variable selon les modalités de production. A cela s'ajoute la pratique de la séparation des pépins de raisin des marcs produits, qui s'est développée étant donné le prix avantageux sur le marché des pépins de raisin, valorisés en cosmétique et en alimentation humaine (principalement huile de pépins de raisin). **C'est pourquoi nous avons indiqué un PCI fort sur un produit contenant les pépins de raisin**, indiqué par l'INRA<sup>48</sup> et **un PCI faible** donné par le "Rapport d'activités du Programme Bois énergie 2000-2005" donné par l'ADEME, fondé sur les retours d'expériences de valorisation énergétique des marcs de raisin, donc raisonnant sur produit disponible moyen. Après comparaison des deux PCI, il en ressort que le PCI de l'ADEME est très certainement sur des produits sans pépin.

#### 6.4.7. Tableau récapitulatif des quantités de marcs de raisins disponibles en France

---

<sup>45</sup> Voir le site du Ministère de l'industrie: <http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/com-biomasselong.htm>

<sup>46</sup> *De La Grappe Au Vin*, Jean Carette, éditions Publibooks, 2005.

<sup>47</sup> Sur la base de 130kg de raisins donnant 100L de vin en moyenne. Chiffre indiqué brut p. 429 et à partir d'une expérience décrite p. 425. source: *De La Vigne Au Vin*.

<sup>48</sup> Entretien.

Estimation par hectare	Hectares de vigne pour la viticulture	Production de marc	Energie potentielle	
			hypothèse avec pépins	hypothèse sans pépin
Sources	Agreste 2008	CM Intl.	INRA Bordeaux:	ADEME
Facteurs explicatifs		910 kT de marc France entière donc: 910/812=1,1	1 ts = 0,55 t brut Pci = 5,28 MWh/ts	pci = 2 MWh/t brute
Unités	ha	kt/an	GWh/an	GWh/an
National	812 409	910	4 804	1 820
Alsace	15 678	18	93	35
Aquitaine	144 850	162	857	324
Auvergne	1 406	2	8	3
Basse-Normandie		-	-	-
Bourgogne	30 274	34	179	68
Bretagne		-	-	-
Centre	22 370	25	132	50
Champagne-Ardenne	30 313	34	179	68
Franche-Comté	2 340	3	14	5
Haute-Normandie		-	-	-
Ile de France		-	-	-
Languedoc-Roussillon	264 269	296	1 563	592
Limousin		-	-	-
Lorraine		-	-	-
Midi-Pyrénées	36 583	41	216	82
Nord-Pas de Calais		-	-	-
PACA	92 152	103	545	206
Pays de Loire	36 675	41	217	82
Picardie	2 327	3	14	5
Poitou Charentes	82 276	92	487	184
Rhône-alpes	53 130	60	314	119

Tableau 28 : production de marc de raisins

## 6.5. Drèches de blé

### 6.5.1. Définition

Les drèches de blé sont les résidus issus de la fabrication de bioéthanol. A l'horizon 2010 la production de 700 kt de drèches de blé (80%) et de maïs (20%) issues de la fabrication de bioéthanol sur 5 sites est annoncée par Arvalis et le Céréopa, Centre d'Etude et de Recherche sur l'Economie et l'Organisation des Productions Animales. La France actuellement en produisait 50 kt/an/.

Le marché indiqué semble l'alimentation animale du fait de la haute teneur en protéines de ces coproduits (32-35% de la matière sèche) et en minéraux, mais leur composition semble assez intéressante pour une valorisation énergétique. C'est pourquoi malgré l'absence de marché actuellement nous nous intéresserons à ce coproduits.

### 6.5.2. Sources d'information

Les sources principales pour cette étude sont

- Arvalis, l'institut du végétal, notamment une lettre d'information publiée en novembre 2006<sup>49</sup> et l'étude « Les céréales : énergie du développement durable, le bioethanol<sup>50</sup> »
- Le comité national des co-produits en association avec l'INA PG et l'institut de l'élevage.

### 6.5.3. Volumes disponibles

Les drèches seront disponibles auprès des producteurs. Il est indiqué par le site sur la "valorisation des coproduits en alimentation animale" que la majorité des drèches seront séchées et livrées sous forme de granulés déshydratés, mais qu'une partie humide à 70% sera aussi disponible pour la demande locale.

Les sites sont répartis dans le Nord et l'Est de la France:

Source: Arvalis

Nom	Ville Département	et	Livraison attendue (kT)
Cristanol	Bazancourt, 61		100
Roquette	Beinheim, 68		80
BENP	Lillebonne, 76		100
Ab Bioénergie	Lacq, 64		60
BCE	Provins, 77		2
Tate & Lyle	Nesles, 02		?
BENP	Origny, 02		3
SOUFFLET	Pont sur Seine, 10		2

Tableau 29 : production de drèches

### 6.5.4. Composition

La composition des drèches est très variable en fonction des usines. Nous avons reproduit ici les mesures relevées lors de l'analyse de 4 usines, par le comité national des coproduits<sup>51</sup> et ARVALIS

	Origny Ste Benoîte	Provins
Cendres	6,0	4,9
Matières azotées totales	35,1	31,9
Amidon (Ewers)	2,2	13,3
Cellulose brute	6,7	6,0

<sup>49</sup> Lettre d'information du Pôle Valeurs Nutritionnelles d'ARVALIS n° 11 – Novembre 2006

<sup>50</sup> Conférence de presse du mardi 01 mars 2005 au SIMA, Xavier Gautier, disponible sur [http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiqu/202\\_BIOETHANOL0205.pdf](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiqu/202_BIOETHANOL0205.pdf)

<sup>51</sup> "Les drèches de blé d'éthanol, une matière première azotée de qualité pour les ruminants", P.Weiss (ITCF), P.Chapoutot (INA-PG) et F.Morel d'Arleux (Institut de l'Élevage), [www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/.../Dreche\\_de\\_ble.pdf](http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/.../Dreche_de_ble.pdf) 15 juin 2001.

Matières grasses	5,2	4,5
Azote ammoniacal (% N total)	16,4	13,9

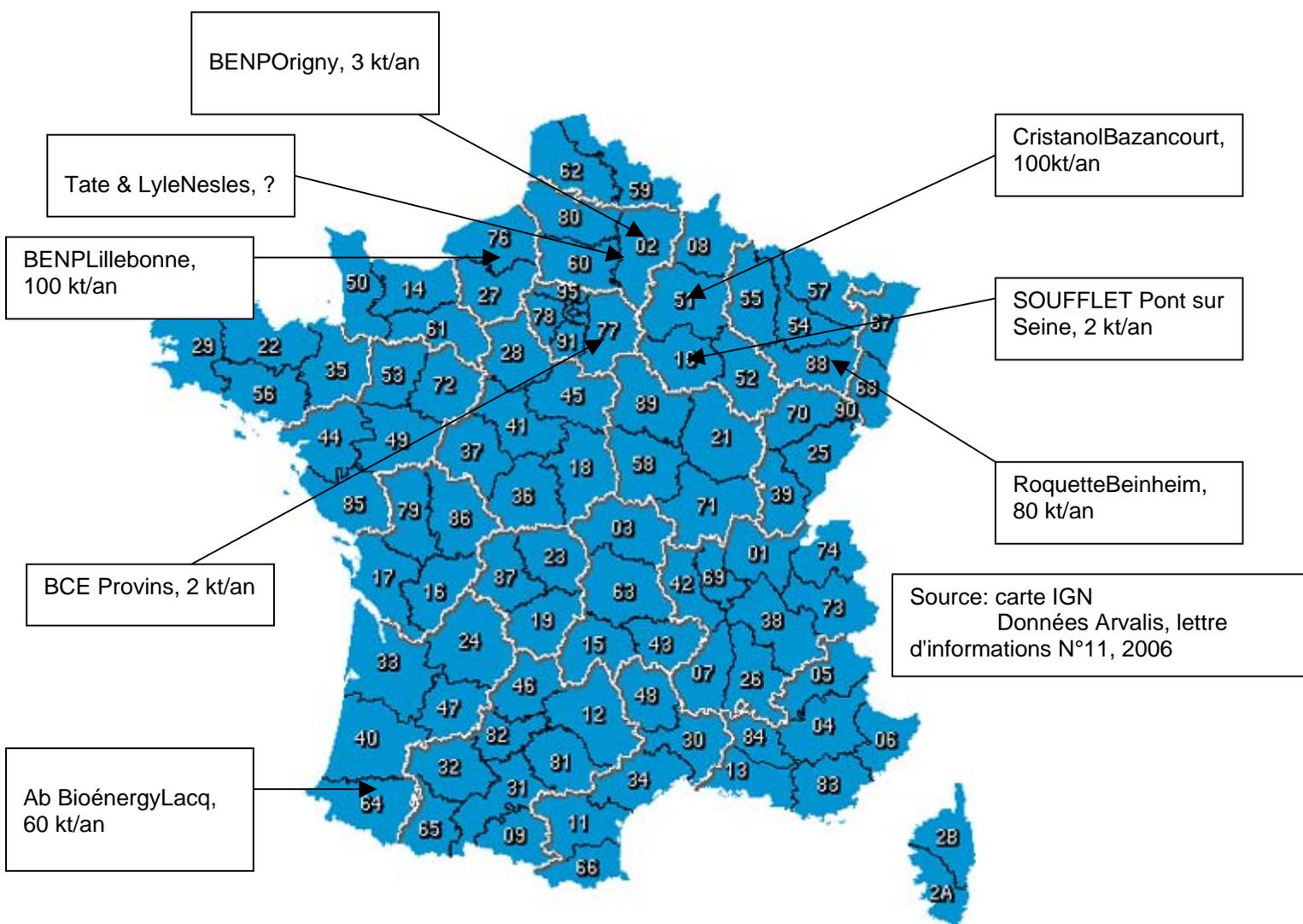
Tableau 30 : Composition chimique (% MS) relevé par le comité national des coproduits

Arvalis, Novembre 2006<sup>52</sup>

.	Usine 1	Usine 2
Matière sèche	93,3	95,3
Matières azotées	32,1	35,1
Amidon Ewers	11,7	3,0
Cellulose brute	6,1	8,5

La composition des drèches sera donc fortement variable selon les procédés de distillation. Le potentiel énergétique est cependant fort étant donné que les coproduits de la distillation sont chargés en matière organique et notamment en lipides. Il est cependant impossible d'indiquer un PCI moyen étant donné la diversité des mesures.

Carte des établissements recensés



<sup>52</sup> Lettre d'information du Pôle Valeurs Nutritionnelles d'ARVALIS n° 11 – Novembre 2006

## 7. Déchets de chantiers

### 7.1. Sources d'information

L'étude de référence à l'échelle nationale a été produite par l'IFEN en 2007<sup>53</sup>

A l'échelon régional, la circulaire interministérielle du 15 février 2000 a précisé la nécessité de réaliser des Plans Départementaux de Gestion des Déchets de Chantiers et du BTP, afin de planifier la gestion des déchets du BTP au niveau départemental<sup>54</sup>. Les recherches et les publications ont eu lieu dans la première moitié des années 2000, en s'appuyant sur des sources de qualité inégale et parfois anciennes (début des années 1990); elles permettent cependant de réunir les principales informations quant à la production de déchets :

- tonnages de déchets pour les Travaux publics (TP) et le Bâtiment (B),
- part des
  - Déchets Inertes (DI),
  - Déchets Industriels Banals (DIB)
  - Déchets Industriels Spéciaux (DIS).

Certains ratios peuvent en être extraits.

### 7.2. Activités génératrices de déchets

Les déchets du BTP varient en volume et en nature selon qu'ils sont produits par les entreprises des Travaux Public ou du Bâtiment. Les grandes entreprises produisent la moitié des déchets du BTP, l'artisanat 1/3 et les PME 1/6.

Les déchets du BTP connaissent une très grande diversité selon la taille, la concentration et la fréquence des chantiers. Une multitude d'intervenants sont à l'origine de ces déchets sur un même chantier. La majorité de ces déchets peuvent difficilement suivre les filières traditionnelles des déchets ménagers et des déchets des autres entreprises.

En France, le secteur du Bâtiment et des Travaux Public produit annuellement 130 millions de tonnes de déchets<sup>55</sup>. En prenant en compte les excédents de chantier utilisés hors site, le BTP produit 343 millions de tonnes de déchet par an (Mt/an) soit 5,5 t/an par habitant par an. C'est le chiffre que nous utiliserons comme base de calcul, les ratios extrapolés s'y référant.

- Les travaux publics produisent la large majorité de ce gisement, 295 millions de tonnes (86%)
- Le bâtiment en produit 48 mt/an (14%).
  - 65% de ce dernier stock provient de la démolition (31,2 mt/an),
  - 28% de la réhabilitation (13,5 Mt/an)
  - 7% de la construction (3,2 Mt/an).

### 7.3. Caractérisation des déchets

- Les déchets inertes représentent 97% de ce gisement (333 Mt/an).

---

<sup>53</sup> Le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics, le 4 pages de l'IFEN, numéro 116, février 2007.

<sup>54</sup> Conformément à la réglementation nationale (Loi déchets du 13 juillet 1992) et des engagements européens, en particulier la Directive Décharges 74/442/CEE modifiée par les Directives 91/156/CEE et 96/360/CEE.

<sup>55</sup> Estimation pour 2004.

- Les DIB représentent 2,1% du gisement (7,2 Mt/an), et sont constitués de métaux, de bois non traités (palettes, bastinges) de plâtre et d'autres produits comme les matières plastiques, le revêtement de sols ou la laine de roche. L'IFEN estime que les déchets de bois représentent 15,3% des DIB du BTP.
- Les DIS représentent 0,85% du gisement (2,9 Mt/an) et sont constitués d'emballages souillés, de bois traités, de solvants, de colles, de cartouches, d'emballages non vides ou non rincés, de goudron ou d'amiante. L'IFEN estime que les déchets de bois représentent 86,1% des DIS du BTP.

#### 7.4. Méthodologie d'évaluation des gisements de déchets d'origine végétale

Les gisements de déchets du BTP ont été estimés régions par régions. Les estimations données par les plans départements ont été additionnées à l'échelle de régions, complétées par des ratios démographiques le cas échéant. Nous sommes parvenus à dégager les gisements de DIB et de DIS par région, auxquels nous avons appliqué les ratios de l'IFEN pour évaluer la quantité de bois.

Une fois les gisements de bois traités et de bois non traités estimés nous leur avons appliqué les ratios suivant pour en dégager l'évaluation finale en potentiel énergétique :

- pour le bois non traité, humidité : 18,7% ; pci : 5 214 kWh/ts,;
- pour le bois traité, humidité : 14,5%, pci : 5 220 kWh/ts.

Il est intéressant de remarquer que la majeure partie de la biomasse végétale disponible est constituée de bois traité, c'est à dire provenant des DIS, alors même que les DIS ne représentent qu'une infime partie (0.85%) du gisement des déchets du BTP. Cependant, la part du bois est plus importante dans ce gisement que celui des DIB.

Même s'il est essentiellement composé d'inertes, le gisement issu des Travaux Publics reste très intéressant dans une optique de valorisation de biomasse végétale, du fait de sa dimension.

Une partie non négligeable des déchets biomasse végétale non traités est constituée d'emballages (palette notamment). Elles sont déjà traitées dans la partie "déchets emballage" de ce rapport. Il est difficile d'établir la part qu'elle constitue au sein de ce gisement et donc de les en extraire.

Cependant quelques Plans Départementaux de Gestion des déchets du BTP donnent une évaluation de la part des déchets emballage parmi les DIB du BTP. Elle est comprise entre 2,4 et 6% du gisement des DIB du BTP. La moyenne pourrait se situer à 3%.

Seul les Plans Départementaux de Gestion des Déchets du BTP de l'Isère et de la Haute-Garonne donnent une idée de la composition de ce gisement :

- de 15 à 20% de carton d'emballage
- de 50 à 75% de bois (essentiellement des palettes).
- Le reste est composé de films plastiques (polypropylène, polyéthylène,...) (5%),
- de polystyrènes (2%),
- de bidons plastiques, de sac de ciment, sacs plâtre (1%).

Cela signifie que plus de la moitié des 3 % de DIB du BTP pourrait être constituée de bois. Extrapolé à partir de seulement deux départements, l'estimation du gisement est donc approximative. Après application sur gisement, de trop nombreuses incohérences apparaissent pour que le calcul soit mené à terme sur des bases aussi fragiles. Il est cependant possible de retenir qu'une large majorité des DIB biomasse végétale du BTP est constituée d'emballages.

## 7.5. Réglementation du captage et de la valorisation des déchets du BTP

Chaque entrepreneur doit procéder au tri de ses déchets de construction et se charge de leur évacuation jusqu'aux lieux de stockage de chantier prévu à cet effet par le maître d'œuvre<sup>56</sup>. La gestion des déchets de chantier n'est cependant pas réglementée par le code des marchés. Le seul élément s'en rapprochant actuellement est la " Recommandation aux maîtres d'ouvrage publics pour assurer le bon aspect et la propreté des travaux en site urbain". Pour permettre au maître d'ouvrage de mieux évaluer les offres de démolition, deux outils ont été mis au point : un guide méthodologique d'audit et de diagnostic des bâtiments avant démolition et une méthodologie de prescriptions et de choix des offres sur la démolition qui proposant un cahier des charges type au maître d'ouvrage prescripteur de la démolition.

Le cadre juridique s'appliquant au BTP est celui qui réglemente la gestion générale des déchets<sup>57</sup>. Pour le BTP spécifiquement, il s'agit plutôt d'incitation au tri et à la valorisation des déchets. Cependant, le cadre légal est devenu plus fortement contraignant à partir du début des années 2000 en ce qui concerne les déchets du BTP. A défaut de fixer des objectifs et des obligations en matière de tri et de valorisation, le législateur a nettement délimité les responsabilités des différents acteurs sur les chantiers : entrepreneurs, maître d'œuvre et d'ouvrage, ...). La notion de propriété étant inapte à responsabiliser les productions de déchet du BTP, il a fallu passer par la notion de « producteur ». Comme les interdictions sont devenues plus nombreuses, le traitement des déchets du BTP et sa prise en charge a évolué rapidement. Il est désormais interdit de brûler les déchets sur le chantier, de les abandonner ou de les enfouir dans des décharges sauvages, de laisser les déchets spéciaux sur les chantiers ou de les mettre dans des bennes à ordures ménagères non prévues à cet effet ou de mettre en centre de stockage de classe 3 des déchet non « inertes ».

De facto, la réduction à la source de la production de déchets et l'importance conférée au traitement et la valorisation des déchets, par réemploi, réutilisation, recyclage ou valorisation énergétique est devenue une nécessité : les installations de stockage se sont raréfiées depuis le début des années 2000 et le coût et les taxes liés au stockage vont croissant.

### 7.6. Les installations de stockage et de tri des déchets du BTP :

- Les déchèteries :

La déchèterie est payante ou même défendue pour les professionnels du BTP à partir d'un volume de déchet très vite atteint<sup>58</sup>. Les véhicules dont le poids total en charge excède 3,5 tonnes et les dépôts de déchets industriels spéciaux sont interdits. L'accès est généralement réservé aux professionnels résidant sur le territoire de compétence du maître d'ouvrage.

- Les déchèteries industrielles:

Ce type d'installation accueille des déchets déjà triés par les professionnels et des déchets en mélange en provenance de chantiers sur lesquels le tri n'aura pas été possible de par la nature des déchets ou par le manque d'espace disponible.

- Les plateformes de regroupement :

---

<sup>56</sup> Article 16 de La norme NF P 03-001 de décembre 2000, "Cahier des clauses administratives générales applicable aux travaux de bâtiment faisant l'objet de marchés privés"

<sup>57</sup> C'est à dire les Lois sur l'élimination des déchets et la récupération des matériaux (loi n° 75- 633 du 15 Juillet 1975 modifiée par la loi du 13 Juillet 1992, le décret du 13 Juillet 1994 sur l'élimination des déchets d'emballages industriels et commerciaux, Au décret du 15 Mai 1997 sur le classement des déchets dangereux, et à la décision de la Commission Européenne 2001/573/CE modifiant la liste de déchets du 03 mai 2000

<sup>58</sup> Depuis le 1er janvier 1993 (art L 2224-12 et suivants du CGCT), les collectivités ont l'obligation de percevoir une contribution (redevance spéciale ou générale) afin d'assurer l'élimination des déchets industriels banals (DIB) des commerçants et artisans.

Etant donné la nature spécifique des déchets de chantiers de bâtiment et la dispersion importante de leur production, surtout en milieu rural, ont été développées des plates-formes de gestion de déchets multi-matériaux. Il existe trois principaux types de plates-formes de regroupement : Plates-formes de simple regroupement de déchets (assimilées aux déchèteries industrielles), les plates-formes de regroupement et de tri des déchets et les plates-formes de regroupement, de tri et de prétraitement des déchets.

- Les CSDU

Pour les déchets ultimes, les déchets du bâtiment se ventilent de la sorte selon leur nature et le type de centre de stockage de déchets ultime (CSDU) disponible :

- Les centres de stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés ou CSDU de Classe 1 pour les DIS du BTP
- Les centres de stockage de déchets ménagers et assimilés ou CSDU de classes 2 pour les DIB
- Les centres de stockage de déchets inertes ou CSDU de classes 3.

- Les carrières :

Il est également possible d'enfouir les DI du BTP en remblayant des carrières actives, ou d'anciennes carrières, après réhabilitation si elles sont sans impacte négatif sur le milieu<sup>59</sup>

#### 7.7. Evaluation du captage et de la valorisation des déchets du BTP

Au cours de la première moitié des années 2000, les Plans de Gestion des Déchets de Chantiers du BTP ont établi des projections et des objectifs à moyen (2007-2008) et long terme (2012-2115). A partir de ces chiffres, il est possible d'estimer la quantité de déchets potentiellement valorisée en BTP de nos jours. Comme la réalisation de ces objectifs dépendait de la mise en place des recommandations préconisées par les différents Plans, notamment la création de nouveaux centres de gestion des déchets aptes à faire face à la demande du BTP, il faut manier ces chiffres avec précaution.

On peut néanmoins estimer qu'il n'y a pas plus de 15% des déchets BTP qui serait valorisés (12% pour le Travaux Publics et 30% pour le Bâtiment), et que plus de 20% sont directement réutilisés sur le chantier (20% en Travaux Publics et 30% en Bâtiment)<sup>60</sup>. Ces chiffres ne peuvent in extenso être appliqués aux gisements de biomasse végétale établis dans chaque région. Ils concernent l'ensemble des déchets du BTP sans distinction entre DI, DIB et DIS. La part des DI valorisée étant plus importante que le reste, elle peut perturber la lecture de ces chiffres.

La majeure partie des matériaux recyclés se compose de béton de démolition.

On peut estimer qu'à peine la moitié des DIB du BTP sont captés par les différents centres de traitement, tri, incinération et/ou stockage<sup>61</sup>. Cela signifie que la valorisation des déchets du BTP, a fortiori hors inertes, n'est pas une réalité aujourd'hui. Cela dégage une marge de manœuvre importante pour un investissement futur sur le captage de ces gisements en quantités non négligeables, à condition qu'ils soient rendus disponibles par un tri en amont, opération qui apparaît aujourd'hui difficile.

---

<sup>59</sup> Ces dispositions sont régies par le cadre réglementaire des installations classées pour la protection de l'environnement, la Loi n°93.3 du 4 janvier 1993 et arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières.

<sup>60</sup> Plan de Gestion des Déchets de Chantiers du BTP du Cantal.

<sup>61</sup> Plan de Gestion des Déchets de Chantiers du BTP du Lot et Garonne

## 7.8. Condition de gestion des déchets du BTP

### 7.8.1. Coût

Plus de la moitié des entreprises du BTP de moins de 20 salariés estiment consacrer moins de 400 euros par semaine au poste "gestion des déchets", moins de 30% de 800 à 1 200 euros et moins de 15% plus de 2 000 euros<sup>62</sup>.

Le Plan de gestion des Déchets du Chantiers du BTP de l'Orne a produit une estimation pour le département du coût de gestion des déchets suivants :

- les métaux (hors fûts et contenants) :154 €/t ;
- Le Fûts et autres emballages réutilisables : 319 €/t ;
- Les papiers et cartons:167 €/t ;
- Les plastiques: 249 €/t,
- Les palettes et cagettes en bois:104 €/t ;
- Les déchets banals en mélange : 542 €/t<sup>63</sup>.
- A l'échelle nationale, la FDB estime le coût de l'élimination des déchets de chantiers du bâtiment à 3,5% de leur chiffre d'affaires<sup>64</sup>.

### 7.8.2. Mode de transport des déchets du BTP

Le transport direct par véhicule de l'entreprise est privilégié par près de la moitié des entreprises du BTP. La location de bennes concerne près de 40% d'entre eux (directement ou en compte pro rata). Le transport des déchets est délégué à des sous-traitants chez moins de 5% des entreprises du BTP; le reste est conservé par l'entreprise ou par d'autres acteurs en vue de prochains chantiers. Ils peuvent également être revendus à des entreprises pour les déchets à valeurs<sup>65</sup>.

### 7.8.3. Facteurs clés de collecte du bois dans les déchets du BTP

Les objectifs fixés par les plans départementaux indiquent qu'il existe une marge de manœuvre en matière de valorisation des déchets du BTP. Les pouvoirs publics ont fixé des objectifs chiffrés; il reste cependant encore de nombreux obstacles à la valorisation des déchets issus du BTP :

- **Le recyclage direct**, en particulier en travaux publics. Cependant, il concerne avant tout les déchets inertes et minimise les gisements de bois disponibles en vue d'une valorisation énergétique.
- **La proportion d'inertes** dans les DIB en mélange reste importante ; l'absence de tri diminue la part valorisable issue des DIB. Si les 94% des déchets de démolition sont classé en DI , l'IFEN estime qu'ils ne représentent en réalité que 60% du total, donc que des opérations de tri permettraient d'extraire 40% de déchets valorisables ou à traiter. L'analyse des plans départementaux de traitement des déchets de chantiers montre que le tri du bois est peu ou pas pratiqué. Le "Plan de Gestion des Déchets de Chantiers du BTP de la région Ile de France" donne des indications précieuses fondées sur des études qualitatives auprès des professionnels de la filière:
  - o La part des entreprises du BTP déclarant effectuer un tri sur le chantier s'élève à 40% seulement.

---

<sup>62</sup> Plan de Gestion des Déchets de Chantiers du BTP de l'île de France et la petite couronne

<sup>63</sup> Plan de gestion des Déchets d Chantiers du BTP de l'Orne.

<sup>64</sup> <http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment.htm>

<sup>65</sup> Plan de Gestion des Déchets de Chantiers du BTP de l'île de France et la petite couronne

- 8% des entreprises du BTP déclarent faire le tri selon les opportunités, l'absence ou l'éloignement des filières ou le coût de l'évacuation pouvant être dissuasifs.

Cette même étude donne une idée précise du type de déchet concerné par ce tri: les DIB palettes et bois représentent 27% des déchets triés<sup>66</sup>.

La Fédération Française du Bâtiment estime à 1,3 kg/m<sup>2</sup> la quantité de bois récupérable dans les bâtiments déconstruits. Il peut également s'agir de poutres anciennes à forte valeur marchande ou de boiseries intérieures (lambris, encadrements de portes, charpentes,...). Les entreprises de récupération de bois non traité ne sont pas intéressées par les déchets de bois issus des chantiers car ils sont généralement mélangés à des matériaux indésirables.

- La faiblesse du réseau des centres de valorisation : Depuis les nouvelles législations en matière de déchets BTP, de nombreuses infrastructures de gestion des déchets ont été fermées aux entreprises du BTP, sans être encore remplacées sur le terrain par de nouvelles installations. Le processus de construction est en cours mais demande du temps. Cela n'a pas permis d'enrayer des pratiques anciennes qui ont encore cours. La moitié des palettes de bois et des panneaux à particules serait brûlée in situ, et à peine plus de 10% portés en déchetterie ou en décharge<sup>67</sup>. Plus de 93 000 tonnes de déchets BTP produites dans la Nièvre serait brûlées ou abandonnées dans des décharges illégales, sur les 274 000 produites annuellement (plus d'un tiers).
- Le manque d'information et de formation des professionnels du BTP sur la question de la valorisation, du recyclage et de la gestion de déchets. Les nouvelles législations ont cependant changé la donne en isolant les déchets BTP au sein des déchets comptabilisés. Avec la production de Plans départementaux, les différentes DDE ont créé une banque de données à laquelle se référer plus facilement. La législation isole très clairement les responsabilités, notamment juridiques, qui incombent aux différents acteurs en matière de tri de collecte des déchets sur les chantiers que sont les maîtres d'œuvre, les maîtres d'ouvrage, les entreprises et leurs représentants, les collectivités. Les mêmes institutions ont souvent édité des « Guides de conduite des chantiers propres », regroupant toutes les informations et les réglementations à connaître au sujet des déchets. Cela a encouragé une plus rapide prise de conscience de leur part.

#### 7.9. Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région

---

<sup>66</sup> Les autres déchets triés sont des DIB métaux (33%), puis des DI gravât avec plâtre (20%), des DI plastiques, des emballages souillés, des fibrociments et de l'amiante ciment (6%).

<sup>67</sup> Plan de Gestion des Déchets de Chantiers du BTP de la Nièvre.

Régions		Données de base : Déchets du BTP		Dont bois			
		Unité :	kt/an	kt/an	kt/an	kt/an	GWh
		Facteur explicatif :	DIB	DIS	non traité	Contaminé	Total
					15,3% DIB %MS : 81,3%	86,1% DIS %MS : 85%	pci Non traité : 4 130 kWh/t contaminé : 4 318 kWh/t
Sources d'information							
France entière	Le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics, le 4 pages de l'IFEN, numéro 116, février 2007.	6 433	2 555	999	2 233	13 768	
Alsace	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP du Haut-Rhin, Trivalor ; DDE et préfecture du Haut Rhin, octobre 2004.	291	115	44	99	609	
Aquitaine	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Dordogne, DDE de la Dordogne. Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP des Landes, DDE et préfecture des Landes, Dossier Source CEBTP / N° 02/E116 2 002, mai 2005 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP du Lot et Garonne ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Gironde, ECCTA ingénierie, IDE environnement, DDE et préfecture de la Gironde, janvier 2003 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP des Pyrénées Atlantiques, DDE et préfecture des Pyrénées Atlantiques, Septembre 2002	257	102	39	88	541	
Auvergne	4 plans départementaux pour une gestion durable des déchets des chantiers BTP en Auvergne, DRE auvergne, ADME, novembre 2004. Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP du Cantal, DDE Cantal et CETE Lyon/Laboratoire Clermont-Ferrand, septembre 2005 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de l'allier, version résumée réalisée par F.Florio Consultants ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP du Puy-de-Dôme, DDE Puy-de-Dôme, 2007 ;	85	34	13	29	179	
Bourgogne	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de Côte d'Or, DDE côte d'Or, version synthétique, Novembre 2002 ; Plan Départemental de Gestion des	139	55	21	47	224	

	Déchets du BTP de la Nièvre, DDE de la Nièvre, juillet 2004 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Saône-et-Loire, DDE Saône-et-Loire, novembre 2001 ;					
Bretagne	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de l'Ille-et-Vilaine, préfecture de l'Ille-et-Vilaine, février 2003 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP du Morbihan, préfecture du Morbihan, juillet 2002 ;	237	94	36	81	499
Centre	Synthèse des Plans Départementaux de Gestion des Déchets du BTP en région centre, DRE centre, novembre 2004 ;	241	96	37	82	507
Champagne -Ardenne	Les chiffres clefs du département Ardenne, aube, haute Marne et Marne, DRDE 51, cellule communication, janvier 2003 ; La gestion des déchets en Champagne-Ardenne, 4 Plan Départementaux, DRE Champagne Ardenne, Janvier 2003 ;	96	38	15	33	204
Franche-Comté	Plan départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Haute-Saône, DDE Haute-Saône ; 2005	65	26	10	22	136
Ile-de-France	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de paris et la petite couronne, ministère de l'équipement, du transport et du logement, juillet 2004 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de Seine-et-Marne, préfecture et DDE de Seine-et-Marne, juin 2002 ;	1132	450	173	387	2 385
Languedoc Roussillon	Plan de gestion des déchets du BTP, Mars 2004 ;	390	155	60	133	822
Limousin	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Creuse, DDE de la Creuse ; Plan Régional de Gestion des Déchets du BTP en Limousin, modifié en Mars 2007 ;	63	25	10	21	132
Lorraine	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP des Vosges, DDE et préfecture des Vosges, Mai 2005 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de Moselle, Trivalor, préfecture et DDE de Moselle, juin 2003 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Meuse, trivalor, ADEME Lorraine, CAPEB MEUSE et fédération BTP MEUSE, AVRIL 2005 ;	249	99	38	85	524
Midi-Pyrénées	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP DE l'Ariège, DDE et préfecture de l'Ariège, décembre 2005; Plan Départemental de Gestion des Déchets ménagers du Lot, préfecture du Lot, avril 2004 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP Tarn-et-Garonne, préfecture de Tarn-et-Garonne, juin 2004 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP du Tarn, DDE du Tarn, octobre 2005 ;	95	38	14	32	196
Nord-Pas-de-Calais	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP des départements du Nord et du Pas-de-Calais, juin 2003	521	207	80	178	1 099
Basse-Normandie		171	68	26	58	357

Haute-Normandie		210	84	32	72	443
Pays de la Loire	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de Loire atlantique, DDE de Loire-Atlantique, novembre 2006 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Sarthe ;	399	158	61	136	839
Picardie		221	88	34	76	900
Poitou-Charentes	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP en Charente, septembre 2004 ;	128	51	20	44	273
Provence-Alpes-Côte d'Azur	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP des Bouches-du-Rhône, Beture environnement, septembre 2002, Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP des Hautes-Alpes, décembre 2002	986	392	151	337	2 079
Rhône Alpes	Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de l'Isère, DDE Isère, 2004 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP de la Loire, DDE Loire, Mars 2003 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP du Rhône, DDE Rhône, juin 2003 ; Plan Départemental de Gestion des Déchets du BTP Drôme Ardèche, mars 2004 ;	554	220	85	189	1 167

Tableau 31 : déchets de chantiers

## 8. L'extraction bio-mécanique

### 8.1. Sources principales d'information

- Biomasse Normandie: [biomasse-normandie.org](http://biomasse-normandie.org),
- l'ADEME et les plans départementaux d'élimination des déchets (PDEDMA Lot et Garonne) ,
- Maud Tauvel de l'ENGREF (Ecole Nationale du Génie Rural et des Eaux et Forêts ), L'ADEME et le MEDDAT : *Le traitement bio-mécanique des déchets : avantages, inconvénients, coûts et jeux d'acteur.*
- la FNADE (Fédération Nationale des Activités de Dépollution et de l'Environnement) : "*Les centres de traitement Mécano- Biologiques (TMB) : des outils flexibles en réponse aux contraintes locales*" FNADE et ADEME, BIPE, mars 2009.

### 8.2. Définition

L'extraction bio-mécanique est un dispositif de pré-traitement qui permet d'extraire la fraction fermentescible contenue dans les ordures ménagères résiduelles collectées en mélange.

La France dispose actuellement de 5 unités dont 3 mises en fonctionnement en 2007 Mende (Lozère, 48), Lorient (Morbihan, 56) et Carpentras (Vaucluse 82). Les retours d'expériences disponibles sont donc généralement complétés par des expériences de pays européens, dont l'Allemagne (45 installations).

Il s'agit d'un traitement pré-enfouissement, qui permet :

- de récupérer la fraction fermentescible des ordures ménagères pour
  - o la valoriser
  - o éviter le développement de biogaz dans les centres d'enfouissement
- de diviser les volumes de déchets enfouis, allant jusqu'à un facteur 2<sup>68</sup>.

Une obligation légale pousse au développement de ces centres de tri: il s'agit de la loi Déchet du 13 juillet 1992 relative à l'enfouissement des déchets ultimes, qui fixait à 2002 la date limite au-delà de laquelle ne seraient admis en décharge que les déchets ultimes, c'est-à-dire les déchets ne pouvant être ni traités, ni valorisés dans les conditions techniques et économiques du moment. Des arguments économiques concernant la réduction des tonnages à traiter sont également mis en avant.

Ce traitement comporte aussi des avantages environnementaux, comme la limitation des effets négatifs dus au stockage de matière organique et la production de biogaz non valorisés de centres d'enfouissement. La commission européenne a lancé dans son programme "Waste management Options and Climate Change" un bilan environnemental des installations de traitement mécano biologique (TMB). Divers scénarios ont été considérés, selon une plus ou moins grande stabilisation du compost produit. Dans tous les cas, il ressort du bilan global du traitement que le procédé MBT permettrait d'éviter des émissions de gaz à effet de serre, entre 30 et 400 kg de CO<sub>2</sub> par tonne traitée selon les scénarios.

### 8.3. Processus

L'extraction bio-mécanique s'appuie sur :

- une série de tris mécaniques qui permet de séparer la fraction organique des fractions potentiellement recyclables ou combustibles. Les résidus du tri font l'objet d'une valorisation énergétique ou d'un stockage. Les procédés mécaniques sont
  - La séparation et le broyage des inertes
  - La séparation des fractions hautement calorifiques en vue d'une utilisation comme combustible, notamment par criblage et séparation par l'air
  - La séparation des matériaux recyclables, notamment par des séparateurs magnétiques
  - La désintégration et l'homogénéisation du déchet pour le traitement biologique, par broyage et mélange<sup>69</sup>.

<sup>68</sup> Projet PDEDMA Lot et Garonne, 2008.

- un traitement biologique type compostage ou méthanisation.

Schéma du principe de pré-traitement mécano-biologique, *Projet de plan départemental d'élimination des déchets ménagers et assimilés en Lot-et-Garonne*.

NB: Un compost aux normes n'est pas nécessairement le compost produit.



#### 8.4. Coût et rendement

Le coût d'un traitement par TMB s'élève jusqu'à 100 €/t en Europe. L'usine de Mende en France indique un coût global de 80 € HT/t, comprenant les transferts, le traitement en usine et le stockage.<sup>70</sup> Ce coût de traitement peut être compensé par la vente des produits du traitement biologique, compost ou biogaz.

Cependant, il apparaît aujourd'hui que la technique utilisée ne permet pas de séparer efficacement la matière organique dans les différentes fractions selon l'ADEME, puisque les fractions non traitées contiennent encore de 30 et 40% de matière organique et les déchets traités enfouis produisent du biogaz dans des quantités non négligeables (à partir de l'expérience de Mende).

Ces unités n'ont pas été conçues pour extraire dans les ordures ménagères les déchets d'origine végétale des déchets fermentescibles en général (origine animale). Leur utilité dans la chaîne de valorisation des premiers n'apparaît pas évidente.

<sup>69</sup> *Le traitement bio-mécanique des déchets : avantages, inconvénients, coûts et jeux d'acteur*. Maud Tauvel, ENGREF, Etude ENGREF et MEDDAD, Février 2006.

<sup>70</sup> Idem.

## 9. Déchet d'emballage

### 9.1. Sources d'information

L'ADEME a réalisée l'étude *La valorisation des emballages en France, Bases de données 2006* en juin 2008. Pour regrouper les information relatives aux déchets bois, elle s'est appuyée sur les données fournies par le Syndicat National des Fabricants de Palettes Bois (SYPAL) ; le Syndicat National des Industries de l'Emballage Léger en Bois (SIEL) ; le Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA) ; le Syndicat de l'Emballage Industriel (SEI), l'enquête nationale de l'ADEME sur les déchets des Entreprises (2004), l'enquête nationale de la CTBA courant 1998 (données 1997) auprès des fabricants et reconditionneurs de palettes et caisses en bois, et enfin les statistiques du SESSI.

L'ADEME a également produit les deux études suivantes *Repère emballage ménager, collection repère*, donnée 2007 et *Le gisement des emballages ménagers en France - évolution 1994/2006* en, 2006.

### 9.2. Caractérisation des déchets

Les déchets d'emballage de la filière bois sont composés de palettes simples en bois ; de palettes-caisses (plateaux de chargement en bois) ; d'emballages légers (pour fruits et légumes, boîtes à fromage) ; d'ouvrages de tonnellerie (futailles, tonneaux, foudres) ; de tonneaux. Les tambours et tourets pour câbles sont exclus de cette classification.

Les déchets d'emballage de la filière papier/carton sont composés de cartons ondulés ; de cartons plats ; de sacs de grande contenance ; de petits sacs ; de briques papiers-cartons ; d'une catégorie « divers » regroupant notamment les sacs pour le commerce ; des papiers d'emballages. Les tubes et mandrins sont exclus de cette classification.

### 9.3. Facteurs déterminant les quantités

Les estimations nationales des quantités de déchets d'emballages produits en France ont été fournies par le document « la valorisation des emballages en France. Cette même étude fournit une estimation du tonnage des déchets emballage recyclé, valorisées ou incinérées dans des installations d'incinération de déchets avec valorisation énergétique (à l'intérieur ou à l'extérieur de la France).

Ces chiffres ont été ventilés en fonction du poids économique de chaque région, estimé à partir du PIB régional. Le PIB national est de 1 560 192 €/an<sup>71</sup>. Les PIB régionaux ont été multipliés par 2305649/1560192 (=1,48) pour les déchets emballage bois et 4419169/1560192 (=2,83) pour les déchets emballage papier/carton.

Le taux d'humidité du papier/carton est estimé à 7,6 %. Au tonnage de la partie sèche du gisement déchet emballage papier/carton est appliqué son PCI (5 000 kWh/t). Le taux d'humidité des déchets emballage bois est estimé à 18,7%. Nous appliquons le PCI de 5214 kWh, pour les 81,3% de matière sèche et brute restante<sup>72</sup>.

### 9.4. Les gisements

- Gisement national de déchets d'emballage : 12 400 kt/an dont :
  - o Part des déchets emballages bois : 2,3 millions de t/an dont 80% (1,8 millions de t/an) de palettes ; ils proviennent à 95% d'emballages non-ménagers
  - o Part des déchets emballage papier/carton: 4,4 millions de t/an, dont 66 % (2,9 millions de t/an) de cartons ondulés ; ils proviennent à 80% de déchets d'emballage ménager
- Part des déchets emballage non-ménager: 58,9% (7,9 millions de t/an)

---

<sup>71</sup> Source : INSEE, 2003.

<sup>72</sup> <http://www.ecn.nl/phyllis>

- Part des déchets emballages ménagers : 41,1% (5,1 millions de t/an), dont part des emballages papier carton : 17,6% (800 milliers de t/an)<sup>73</sup>, dont :

Depuis 2003, le nombre de déchet d'emballage produit diminue. La part des déchets d'emballage ménager augmente dans ce gisement décroissant, même si le tonnage des déchets emballage ménagers baisse dans l'absolu<sup>74</sup>. Mais le gisement de papier-carton est stable.

#### 9.4.1. Modalités de valorisation

La part des emballages papier-carton recyclé en France est très élevée (81%). Celle des déchets emballage bois est faible (21%)<sup>75</sup>. Il s'agit pour l'essentiel de palettes récupérées par des particuliers ou brûlées dans les usines ou sur les chantiers et qui échappe de ce fait à une potentielle valorisation

#### **Valorisation des déchets emballage bois :**

- Recyclage matière : 463 000 t/an
- Valorisation énergétique : 69 000 t/an
- Total valorisation : 532 000 t/an

#### **Valorisation des déchets emballage papier/carton:**

- Recyclage total : 3,7 millions de t
- Incinération avec valorisation énergétique : 417 000 t/an
- Total valorisation et incinération avec valorisation énergétiques : 4,1 millions de t/an
- Valorisation des déchets d'emballages ménagers :
  - o via le dispositif « emballage ménager » : 21,8% (2,7 millions de t/an)
  - o Part de valorisation énergétique : 10,1% (1,3 millions de t/an).

#### **Réglementation pour les déchets d'emballage non-ménager :**

La réglementation en vigueur en France prévoit que les entreprises industrielles, artisanales ou commerciales détentrices de déchets d'emballages non ménagers ont l'obligation de les valoriser elles-mêmes<sup>76</sup> soit :

- Dans sa propre installation agréée ;
- En le cédant par contrat à l'exploitant d'une installation agréée ;
- En le cédant par contrat à un intermédiaire assurant une activité de transport, négoce ou courtage de déchets<sup>77</sup>.

Il n'existe pas d'organisme collectif agréé et chaque entreprise détentrice de déchets d'emballages doit donc répondre individuellement à ses obligations. Pour les y aider, les professionnels de l'emballage ont créé, sur une base volontaire, des structures spécifiques d'accompagnement des entreprises et d'organisation des filières. Il s'agit :

- pour le papier-carton de Revipac
- pour le bois Grow France, Sypal et SEILA.

<sup>73</sup> Repère emballage ménager, collection repère, donnée 2007, ADEME.

<sup>74</sup> Les Français achètent moins d'emballages et leur poids moyen s'abaisse

<sup>75</sup> Les déchets en chiffres, données et références ; ADEME, édition 2007. Les chiffres sont fondés sur une base de donnée établie en 2005.

<sup>76</sup> Le décret 94-609 modifié, du 13 juillet 1994 (art. R 543-66 à R 543-74 du Code de l'environnement)

<sup>77</sup> Dans le cas où le détenteur produit moins de 1 100 l par semaine et remet ses déchets au service public de la collectivité, l'obligation de valorisation selon ces trois modalités ne s'applique pas.

## **Réglementation pour les déchets d'emballages des ménages :**

La réglementation en vigueur en France impose au producteur, à l'importateur ou au responsable de la mise sur le marché de ces emballages ménagers de rendre possible leur recyclage par :

- un service de consigne ;
- des systèmes individuels de reprise (ex : Cyclamed pour les emballages de médicaments) ;
- l'adhésion à un organisme collectif agréé par les pouvoirs publics (ex : agréments d'Adelphe et d'Eco-Emballages).

Fin 2007, l'ADEME estime que 98,7% de la population est desservie par au moins un de ces systèmes de collecte sélective multimatériaux. La part de la population trieuse est de 70 % à 90 % en porte à porte et 50 % à 85 % en apport volontaire.

### **Les organismes collectifs agréés**

Ils traitent 95% du tonnage des emballages ménagers mis sur le marché en France. La filière papier-carton représente plus de 30 % des contributions. Par ces deux systèmes, 463 Kt de déchets ménager papier/carton sont valorisés annuellement, soit 56% du gisement disponible.

#### 9.4.2. Tableau récapitulatif des quantités disponibles par région

Il montre qu'il existe un fort potentiel au niveau du gisement de déchet d'emballage bois. Le faible taux de recyclage (20%) et le très faible taux de valorisation énergétique (3%) laisse une marge de plus de 1 772 Kt à exploiter annuellement. Ce différentiel s'explique par de forte fuite au niveau « officiel » de la collecte.

Le potentiel est beaucoup moins important pour les déchets d'emballage papier-carton. Le système de collecte s'est structuré et a progressivement atteint une très large part des foyers (97%). La marge restante est faible (262 Kt ou 6% du gisement). Sa mobilisation coûterait cher. Pour exploiter le gisement papier-carton, il faudrait détourner la part consacré au recyclage, ou investir la part non ménagère du gisement (seulement 20%). Dans ces deux cas, il faut trouver une solution économiquement rentable, ce qui n'est pas une évidence.

	Déchet emballage bois				Déchet emballage papier/carton			
	Gisement		recyclage matière	valorisation énergétique	gisement	Potentiel énergétique	recyclage total	valorisation énergétique
Source	ADEME	pci = 5214 kWh/ts				pci=5 000 kWh/ts		
Facteurs d'interprétation	*1,48	MS=81,3 %	*0,29	*0,04	*2,83	MS=92,4%	*2,4	*0,27
Unités	kt	TWh	kt	t	kt	TWh	kt	kt
France entière	2 304	9	463	69	4 419	20	3 740	417
Alsace	65	0,3	13	2	125	0,5625	106	12
Aquitaine	105	0,4	21	3	200	0,9	170	19
Auvergne	42	0,2	8	1	80	0,3	68	8
bourgogne	53	0,2	10	1	102	0,5	87	10
Bretagne	98	0,4	19	3	189	0,9	160	18
centre	84	0,4	17	2	161	0,7	137	15
Champagne Ardenne	45	0,2	8	1	88	0,4	74	8
Franche-Comté	38	0,2	7	1	72	0,3	61	7
Ile de France	664	3	130	18	1270	5	1077	121
languedoc rousillon	22	0,02	4	1	140	0,6	37	4
Lorraine	73	0,3	14	2	140	0,6	118	13
Midi-Pyrénées	91	0,4	18	2	174	0,8	148	17
Nord-pas de Calais	121	0,5	24	3	231	1	196	22
Basse-Normandie	46	0,2	9	1	87	0,4	74	8
Haute-Normandie	62	0,3	12	2	119	0,5	101	11
Pays de la Loire	116	0,5	23	3	222	1	188	21
Picardie	58	0,5	11	2	111	0,5	94	11
Poitou Charente	54	0,2	11	1	103	0,5	87	10
PACA	166	0,7	33	4	317	1,4	269	30
Rhône alpes	221	1	43	6	423	2	359	40

Tableau 32 : déchets d'emballage

**DEUXIEME PARTIE :**  
**LA PRODUCTION D'ENERGIE**

## 10. Objet de cette partie du rapport et méthode

Pour tirer le meilleur parti possible des gisements de déchets il faut pouvoir les différencier au regard de leur conditions de transformation énergétique dans des systèmes adaptés. L'objectif de ce rapport est donc de déterminer quels sont les critères pertinents. Par système il faut entendre l'ensemble des opérations depuis la collecte jusqu'à la fourniture d'énergie électrique et thermique.

Nous partons des caractéristiques des installations de production d'énergie. Elles répondent à des demandes en énergie différentes et sont soumises à des contraintes réglementaires de conception et d'exploitation. Les spécifications de déchets en entrée sont plus ou moins exigeantes. Ces différentes caractéristiques induiront une typologie des déchets au regard des installations.

Le tableau 1 ci-dessous fait la distinction entre les 3 procédés principaux de transformation de la biomasse en énergie.

Procédés primaires	Températures	Atmosphère	Produits énergétiques	Procédés secondaires de récupération de l'énergie
Gazéification	> 800 °C	Réductrice : Air, oxygène, Vapeur d'eau  CO <sub>2</sub>	Gaz : H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>	Energie chimique par combustion des gaz dans une chaudière ou un moteur ou une turbine sur site  Chaleur sensible dans une chaudière
Combustion	> 900 °C	Oxydante : Air, oxygène	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Chaleur sensible des gaz de combustion dans une chaudière
Méthanisation	Bactéries mésophiles 35 à 40°C thermophiles 50 à 55 °C	Réducteur	CH <sub>4</sub> et CO <sub>2</sub>	Combustion en chaudières  Moteurs, sous réserve

**Tableau 33 : Quelques caractéristiques distinctives des procédés de production d'énergie à partir de biomasse**

Pour approvisionner ces déchets il faut mettre en place une chaîne logistique depuis la collecte jusqu'à la mise à disposition du déchet conforme aux spécifications attendues. Chaque étape de cette chaîne doit être conçue en fonction des caractéristiques initiales des déchets pour limiter les coûts d'investissement et d'exploitation. Une description rapide de chacune de ces étapes permettra d'identifier quelles sont ces caractéristiques.

Enfin pour minorer les coûts logistiques et pour mieux répondre aux exigences des procédés de production d'énergie des opérations de préparation de déchets sont envisageables. Elles sont plus ou moins utiles suivant le type de déchet et le type d'installations. Une rapide description de ces opérations permettra de montrer leur avantage dans le système complet de production d'énergie. On en déduira les caractéristiques des déchets, utiles pour apprécier la pertinence de ces opérations.

Les types d'opérations sont :

- Logistiques : chargement, transports, stockages
- Préparation de déchets suivant 5 techniques principales : broyage, tri, homogénéisation, séchage, torréfaction, pyrolyse;

Il existe une abondante littérature technique pour chaque opération. Cette étude y fera référence en se limitant aux caractères distinctifs de chaque technique qui justifient leur application dans une chaîne d'opérations donnée. Il ne sera pas possible d'entrer dans le détail des multiples variantes. Elles sont cependant nécessaires pour l'optimisation d'un projet précis.

## 11. L'impact de la réglementation sur la valorisation énergétique des déchets d'origine végétale

La réglementation intervient à 3 niveaux :

- La définition d'un déchet du point de vue des processus de sa production
- La définition d'un déchet du point de vue des processus de sa valorisation énergétique ; c'est la réglementation sur les installations classées de production d'énergie
- La réglementation sur le marché de l'énergie, l'électricité en particulier.

### 11.1. La définition d'un déchet du point de vue des processus de sa production

#### 11.1.1. Déchet ou sous-produit

La première partie de cette étude quantifie des ressources d'origine végétale qui répondent à la notion de déchet au sens du code de l'environnement : « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » ou au sens de la Directive 2008/98/CE du parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets : « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ».

La Directive 2008/98/CE prévoit cependant que le déchet peut-être considéré comme un sous-produit dans plusieurs cas particuliers. Il échappe alors à la réglementation sur les déchets. En pratique c'est ce qui se passe pour les déchets de l'industrie du bois non contaminés par d'autres produits que le bois et pour la majeure partie des déchets de l'industrie agroalimentaire.

#### 11.1.2. La classification réglementaire des déchets

La réglementation établit une classification unique des déchets. Elle distingue les déchets dangereux et par opposition les déchets non-dangereux. Dès qu'il y a une évidence de leur contamination par des produits dangereux (produits de préservation par exemple) ils sont susceptibles d'être dangereux. Donc ils entrent dans la catégorie des déchets dangereux. Pour faire sortir un déchet d'origine végétale contaminé par un produit dangereux de la catégorie des déchets dangereux il faut en principe mesurer le niveau de sa contamination et démontrer qu'il reste en dessous des seuils de concentration qui définissent les déchets dangereux.

De plus la réglementation française identifie, dans la catégorie des déchets dangereux, les déchets industriels spéciaux : ce sont les déchets dangereux autres que les déchets d'emballages municipaux mentionnés à la section 15 01 de l'annexe II et les déchets municipaux mentionnés au chapitre 20 de la même annexe.

#### 11.1.3. La classification de la profession

Il existe des usages plus ou moins consacrés par la littérature commerciale des opérateurs. En ce qui concerne le bois, les 3 qualifications en usage s'inspirent des 3 catégories réglementaires :

- les « bois propres » ou déchets non contaminés peuvent être considérés comme des sous-produits au sens de la Directive 2008/98/CE.
- les déchets faiblement adjuvantés sont clairement des déchets.
- Les déchets fortement contaminés laissent penser qu'ils sont dangereux et que, au moins par principe de précaution, ils seront incinérés dans des installations spécifiques des déchets dangereux.

Il semble que ces 3 qualifications ont été définies pour orienter les déchets vers des installations de valorisation adéquates, sans avoir à faire la démonstration, par les méthodes lourdes et coûteuses imposées par la réglementation, de leur affectation dans l'une des 3 catégories réglementaires, sous-produits, déchets non-dangereux et déchets dangereux.

Par ailleurs les professionnels du recyclage matière ont défini des cahiers des charges pour certains déchets non dangereux. C'est le cas de l'industrie des panneaux qui recycle des produits qui sont contaminés en dessous de certains seuils. Le cahier des charges est disponible à l'adresse suivante :

[www.europanel.org/pdf/Environment\\_WoodRecycling\\_Standard1.pdf](http://www.europanel.org/pdf/Environment_WoodRecycling_Standard1.pdf)

Le tableau ci-après fournit la correspondance entre les classifications réglementaires et la liste des déchets inventoriés en première partie.

Déchets dangereux	Classification
Déchets de l'industrie du bois	03 01 04
Traverses de chemin de fer ; poteaux	17 02 04
Palettes de manutention souillées	15 01 10
Bois traités dans les déchets de chantier	17 02 04 19 12 06

Déchets non dangereux	Classification
Déchets de l'industrie du bois	03 01 04
Palettes traitées	15 01 10
Bois non traités et non souillés dans les déchets de chantier	17 02 01 19 12 07

Déchets non dangereux et sous-produits	Classification
Paille	02 01 03
Cannes de maïs	02 01 03
Cannes d'oléagineux	02 01 03
Sarments de vigne	
Produits de la sylviculture :	02 01 07
Déchets humides de l'industrie du bois	03 01 01 03 03 01 03 01 05
Déchets secs de l'industrie du bois	03 01 05
Déchets de l'industrie du grain	02 03 04
Déchets de l'industrie du sucre	02 04 99
Déchets de la vinification	02 07 02
Drèches	
Tontes, élagages, feuilles	20 02 01
Emballage papiers cartons	15 01 01
Emballage bois	15 01 03
Produit du tri mécano biologique	19 12 01 19 12 07

**Tableau 34 : classification des déchets**

## 11.2. La définition d'un déchet du point de vue de sa valorisation énergétique

### 11.2.1. Les rubriques de la réglementation sur les installations classées

La réglementation impose des conditions de valorisation énergétique différentes suivant les caractéristiques de la biomasse végétale en distinguant :

- la biomasse brute qui dans la majorité des cas est considérée comme un combustible et pas comme un déchet,
- la biomasse contaminée qui est un déchet ; dans certains cas ce déchet peut être dangereux.

Elle distingue :

1. la combustion pour production d'énergie (rubrique 2910 A) à partir de « combustibles commerciaux ». Les déchets d'origine végétale non contaminés sont explicitement considérés comme des combustibles bien qu'ils gardent leur dénomination de déchets dans la réglementation française alors qu'ils peuvent être considérés comme des sous-produits.
2. la combustion pour production d'énergie (rubrique 2910 B) à partir de « sous-produits » ayant des caractéristiques proches de combustibles commerciaux, notamment pour ce qui concerne les émissions induites par leur combustion. Pour qu'un déchet soit assimilable à un combustible il faut « une connaissance parfaite de ses caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques, notamment afin de mieux connaître la composition des gaz résultant de leur combustion et cela à tout moment, ce qui implique une qualité du produit constante dans le temps. Cette connaissance passe, en particulier, par des essais (mesures des polluants dans les gaz) sur chaudières industrielles. Dès lors qu'un de ces produits présente des caractéristiques proches d'un combustible commercial », le Directeur de la Prévention, des Pollutions et des Risques du Ministère de l'environnement, propose dans sa note du 11 août 97 qu'on lui « adresse pour avis une proposition d'assimilation à un combustible et par conséquent d'autorisation de combustion dans une installation visée par la rubrique 2910 B »<sup>78</sup>.
3. l'incinération de déchets non dangereux avec production d'énergie. Elle écarte spécifiquement les déchets d'origine végétale non contaminés qui relèvent donc de la réglementation sur la combustion (point 1 ci-dessus). Le principal texte réglementaire est l'arrêté du 20/09/02 sur l'incinération des déchets non dangereux.
4. l'incinération de déchets dangereux avec production d'énergie. Le principal texte réglementaire est l'arrêté du 20/09/02 sur l'incinération des déchets dangereux. Il identifie une catégorie particulière de déchets, ceux qui ont une concentration en halogènes supérieure à 1 %, pour lesquels des installations spéciales de traitement sont obligatoires.
5. la méthanisation de déchets non dangereux est soumise à autorisation pour une capacité supérieure à 30 t/j, soumise à déclaration en dessous ; les déchets d'origine végétale non dangereux (qui peuvent être contaminés par d'autres produits) et la matière végétale brute constitue une seule catégorie. C'est un avantage accordé à cette technologie. Mais (cf §11.2.4 ci-après) l'épandage des digestats de

---

<sup>78</sup> Les pneumatiques usagés sont considérés par la profession comme un déchet d'origine végétale (le caoutchouc est produit par l'hévéa) ; les analyses montrent qu'ils sont proches d'un combustible commercial. D'où la proposition de la profession pour que la réglementation applicable à leur valorisation énergétique soit celle des installations de combustion et qu'ils échappent aux contraintes de valorisation des déchets.

méthanisation qui constitue une part significative du cout de production de l'énergie est soumis à des conditions réglementaires qui nécessitent de fait la séparation entre les déchets contaminés et les déchets non contaminés.

### 11.2.2. Cas particulier de la gazéification et de la pyrolyse

D'un point de vue réglementaire elles sont assimilées aux installations décrites au point 11.2.1 ci-dessus, en fonction des matières qu'elles traitent. Dans le cas de la gazéification de déchets, la combustion du syngaz dans une centrale énergie utilisant par ailleurs des combustibles confère à cette dernière le statut d'incinération de déchets si le syngaz n'a pas été épuré pour avoir des propriétés analogues à celles d'un combustible fossile, notamment en termes de pureté. Un arrêt de la Cour Européenne de Justice<sup>79</sup> qui fera certainement jurisprudence indique : « Une centrale de production d'énergie qui utilise en tant que combustible d'appoint, en complément de combustibles fossiles utilisés de manière prépondérante dans son activité de production, un gaz obtenu dans une usine à l'issue d'un traitement thermique appliqué à des déchets sera à considérer, conjointement avec cette usine, comme une « installation de coïncinération » au sens de l'article 3, point 5, de la directive 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil, du 4 décembre 2000, sur l'incinération des déchets, lorsque ledit gaz n'a pas été purifié dans l'enceinte de ladite usine. »

### 11.2.3. Principales différences réglementaires entre les installations de combustion et d'incinération

Les principaux textes réglementaires sur les installations de combustion sont les suivants :

Installations de moins de 2 MW	Elles ne sont pas soumises à réglementation. Standards de qualité, norme NF EN 305, pour les chaudières de moins de 300 kW. Cependant l'incinération des déchets industriels et des ordures ménagères dans ces installations restent interdites.
Installations neuves comprises entre 2 et 20 MW	Arrêté du 25/07/97
Installations de plus de 20 MW nouvelles ou modifiées	Arrêté du 20/06/02
Installations de plus de 20 MW existantes	Arrêté du 30/07/03 modifié par l'arrêté du 31/10/07

**Tableau 35 : principales références réglementaires pour la valorisation énergétique des déchets d'origine végétale non contaminés, assimilables à des combustibles**

<sup>79</sup> <http://curia.europa.eu/jurisp/cgi-bin/form.pl?lang=fr&newform=newform&Submit=Rechercher&alljur=alljur&jurcdj=jurcdj&jurtpi=jurtpi&jurtpf=jurtpf&alldocrec=alldocrec&docj=docj&docor=docor&docop=docop&docav=docav&docsom=docsom&docinf=docinf&alldocnrec=alldocnrec&docnoj=docnoj&docnoor=docnoor&radtypeord=on&typeord=ALL&docn odecision=docnodecision&allcommjo=allcommjo&affint=affint&affclose=affclose&numaff=&ddatefs=&mdate fs=&ydatefs=&ddatefe=&mdatefe=&ydatefe=&nomusuel=&domaine=&mots=gaz%C3%A9ification&resmax=100>

Par ailleurs les installations de combustion et d'incinération ont fait l'objet de l'édition d'un BREF par la Commission Européenne. Ces documents énumèrent les points d'attention pour la conception des installations. Ceux qui se rapportent aux caractéristiques des combustibles et déchets constituent autant de critères potentiels à retenir pour évaluer l'adaptation d'un déchet à un type d'installation.

Les contraintes réglementaires pour la combustion sont moins fortes que pour l'incinération. Les différences suivantes en sont une illustration :

- Procédure d'obtention du permis d'exploiter
  - Combustion
    - Aucune pour une puissance inférieure à 2 MW
    - Déclaration jusqu'à 20 MW
    - Autorisation au-delà de 20 MW
  - Incinération : Gestion des entrées de combustibles et de déchets dans l'installation
- Conditions de combustion
  - Combustion : aucune
  - Incinération : 2 s de temps de séjour des gaz dans une chambre à 850 °C (déchets non dangereux) et à 1100 °C (déchets dangereux)
- Rejets de SO<sub>2</sub> :
  - Installation de combustion : VLE = 200 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Incinération : moyenne journalière inférieure à 50 mg/Nm<sup>3</sup>
- Rejets de NO<sub>x</sub>
  - Combustion : VLE en mg/Nm<sup>3</sup> =
    - 500 pour une capacité inférieure (P) à 20 MWth
    - 400 pour P < 100 MWth
    - 300 pour P < 300 MWth
    - 200 pour P > 300 MWth
  - Incinération : moyenne journalière en mg/Nm<sup>3</sup>
    - < 200 pour P > 6 t/h soit environ 20 MWth
    - < 400 pour P < 6 t/h
- Poussières
  - Combustion VLE en mg/Nm<sup>3</sup> =
    - 150 pour P < 4 MW
    - 100 pour P < 10 MW
    - 50 pour P < 100 MWth
    - 30 pour P < 30 MWth
  - Incinération : moyenne journalière < 10 mg/Nm<sup>3</sup>

#### 11.2.4. La réglementation sur les déchets ultimes

Elle a des conséquences indirectes sur le choix des technologies.

Les cendres, sont des déchets répertoriés dans la nomenclature européenne. Les conditions d'évacuation des cendres d'unités de combustion présentent des lacunes. Les installations entrant dans la catégorie 2910 ne peuvent épandre leurs cendres considérées comme des déchets. Rien n'est prévu pour les cendres issues des installations de moins de 2 MW. Les normes réglant la production de matières fertilisantes ne permettent pas d'utiliser les cendres de bois pour des raisons de compositions mais pas de toxicité. Mais elles sont en cours de révision (Norme NFU 42-001 « cendres végétales »). Le co-compostage est possible mais alors une étude d'innocuité et un plan d'épandage sont nécessaires. Les cendres peuvent être utilisées en cimenterie si elles répondent au cahier des charges correspondant.

En ce qui concerne les composts il existe en France une obligation de conformité à la norme (voir § 12.6 sur la méthanisation) pour l'épandage. Dans d'autres pays il ya uniquement une exigence de moyen, soit la collecte sélective des déchets non contaminés soit l'utilisation de systèmes de tri homologués. Par ailleurs il existe des exigences minimales pour l'agriculture biologique et des écolabels pour certains produits de l'agriculture. Dans tous les cas un plan d'épandage doit être agréé.

### 11.3. La réglementation sur le marché de l'énergie

#### 11.3.1. Principe général

Pour rendre compte au niveau économique des avantages environnementaux de la biomasse la réglementation prévoit plusieurs mécanismes qui revalorisent l'énergie biomasse. Ils sont utilisés de manière différente dans les différents pays de la Communauté Européenne. Le tableau suivant évalue les écarts entre les couts externes de production d'énergie entre différents combustibles.

<b>Charbon</b>	<b>70 à 100</b>
<b>Pétrole</b>	<b>80 à 110</b>
<b>Gaz</b>	<b>20 à 40</b>
<b>Nucléaire</b>	<b>3</b>
<b>Biomasse</b>	<b>10</b>
<b>Hydroélec</b>	<b>10</b>
<b>Vent</b>	<b>2,5</b>

Tableau 36 : Evaluation des couts externes de la production d'un MWh par différentes énergies (source : étude CEE ExternE : Global warming, Public health, Occupational health, Material damage)

#### 11.3.2. La fiscalité

Une fiscalité particulière s'applique aux installations de combustion d'énergie biomasse du consommateur final. Par rapport à une installation fonctionnant au fuel elles bénéficient d'un crédit d'impôt de 50 % sur les achats d'équipements et d'une TVA à 5,5 %. Dans un exemple particulier de production de pellets à partir de sciures il a été montré que cet avantage abaisse le cout du fuel domestique de 18 €/hl au dessus duquel la biomasse serait plus compétitive.

Cet avantage élargit considérablement le marché potentiel de l'énergie biomasse et augmente le prix acceptable des déchets d'origine végétale.

Depuis le 16 juillet 2006, la TVA applicable sur la vente de chaleur est de 5,5% sur la part fixe de la facture (R2, dit « abonnement », en €/kW ou en €/m<sup>2</sup>) pour tous les réseaux de chaleur, et sur la totalité de la facture si l'énergie provient à plus de 60% de biomasse, de géothermie ou de récupération sur usine d'incinération ou process industriel.

#### 11.3.3. Les certificats d'économie d'énergie

L'installation d'équipements permettant le remplacement d'une source d'énergie non renouvelable par une source d'énergie renouvelable pour la production de chaleur dans un bâtiment donne lieu à la délivrance de certificats d'économies d'énergie selon des modalités de calcul spécifiques.

Les certificats d'économies d'énergie sont des biens meubles négociables, dont l'unité de compte est le kilowattheure d'énergie finale économisé.

#### 11.3.4. Les obligations d'achat à un prix prédéterminé

Une installation de production d'électricité de moins de 12 MW<sup>80</sup> peut bénéficier d'obligation d'achat à un prix fixé par l'administration française. Ce prix est différent suivant les déchets.

a) Energie produite par la combustion de biomasse d'origine végétale : Arrêté du 28 décembre 2009 (<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021560800>).

Ce tarif est composé de deux valeurs T + X qui s'additionnent. T est égal à 45 €/MWh. X est fonction de l'efficacité énergétique de l'installation ( $V = (\text{énergie thermique valorisée} + \text{énergie électrique nette valorisée}) / \text{énergie primaire}$ ).  $X = 8 + (V - 50) / 10$  c€/kWh. Elle peut atteindre 110 €/MWh pour une efficacité énergétique V de 80 %. X n'est attribuée qu'aux installations qui utilisent des biomasses spécifiées :

- Tous les déchets de l'agriculture et de la sylviculture
- Les déchets de l'industrie du bois, de l'industrie papetière et les déchets issus du tri et de broyage de DIB (notamment mais pas exclusivement) ; mais une proportion minimum de 50 % (ou 25 % dans le cas de broyat de déchet) de biomasse issue directement de la forêt est nécessaire.

b) Energie produite par combustion de biogaz issu de la méthanisation

L'arrêté du [10 juillet 2006](#) fixe l'obligation de rachat sur une durée de 15 ans à un prix compris entre 7,5 et 9 c€/kWh selon la puissance, + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 3 c€/kWh, + prime à la méthanisation de 2 c€/kWh.

#### 11.3.5. La fixation des prix de vente de l'électricité par appel d'offres

Le troisième appel d'offres en France a permis de sélectionner 32 projets produisant au total 266 MW au prix moyen de 145 €/MWh. Les appels d'offres passés et futurs répondent à des conditions spécifiques portant sur la taille des installations et sur les conditions d'approvisionnement en biomasse. En biomasse n'ont été admis jusqu'à présent que les déchets non contaminés et les déchets industriels banals ou autrement dit non dangereux.

11.3.6. Les quotas d'émission (cf. <http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/11-Quotas-de-CO2.html>)

La directive européenne sur les échanges de quotas d'émission prévoit que les Etats allouent aux entreprises de six secteurs industriels intensifs en gaz à effet de serre (production d'énergie, ciment, verre, métaux ferreux, industries minérales, pâtes à papier), ainsi qu'aux

---

<sup>80</sup> Décret n°2000-1196 du 6 décembre 2000 fixant par catégorie d'installations les limites de puissance des installations pouvant bénéficier de l'obligation d'achat d'électricité

exploitants d'installations de combustion de plus de 20 MW, des quotas d'émission. Un marché des quotas s'est alors institué pour échanger des droits d'émission. Le prix d'échange de la tonne de CO<sub>2</sub> a atteint 30 €. A ce prix, si un industriel remplace un mix de combustibles pétroliers par de la biomasse (qui par convention ne génère pas de CO<sub>2</sub>) il peut céder le quota correspondant à un prix proche de 1 ct€/thermie. Certains grands industriels consommateurs d'énergie basent actuellement leur stratégie d'achat d'énergie sur un prix des quotas d'émission de 0,7 ct€/th. Ce montant permet d'acheter la biomasse plus chère, toute chose égale par ailleurs. Les déchets biomasse acceptés sont indiqués dans l'annexe 1 de l'Arrêté du 31 mars 2008 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour la période 2008-2012. Tous les déchets biomasse répertoriés dans cette étude sont acceptés. Cf : [http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/arrt\\_\\_MRG2007\\_\\_version\\_finale](http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/arrt__MRG2007__version_finale).

### 11.3.7. Les garanties d'origine et certificats verts

Ce système fonctionne dans les régions Wallonne et Flamande. Un producteur peut demander une garantie d'origine de l'énergie électrique produite auprès de son gestionnaire de réseau. Un organisme agréé certifie que le site de production économise les rejets de CO<sub>2</sub> par comparaison avec la production d'électricité par turbine à gaz. Dans le cas de la biomasse, on applique un taux d'économie de CO<sub>2</sub> qui réduit ou qui augmente le nombre de certificats verts par MWh électrique produit, en tenant compte de la production de chaleur ou des émissions de CO<sub>2</sub> relatives à la préparation de la biomasse.

La Région wallonne a décidé qu'un certain pourcentage de l'électricité vendue aux clients finaux devait avoir été produit en Wallonie, à partir de sources d'énergie renouvelables et de cogénération de qualité. Ce pourcentage était de 7% en 2007 et augmente de 1% chaque année pour atteindre 12% en 2012. Si le fournisseur n'atteint pas l'objectif il se voit infliger une amende de 100 € par certificat vert manquant. En sens inverse le Gouvernement wallon garantit un prix minimum des certificats verts sous certaines conditions. Ce prix minimum garanti est de 65 € par certificat vert.

Il peut également acheter des certificats verts à des producteurs qui ont un excédent de production d'énergie verte. Le prix du certificat vert se maintient entre 65 € (montant minimum garanti) et 100 € (montant de l'amende). Les amendes étant soumises à la fiscalité des entreprises, le prix du certificat vert peut même parfois dépasser les 100 €. Payer une amende de 100 € pour une entreprise peut parfois représenter un coût de 140 € pour le fournisseur.

Période	Prix unitaire
Année 2003	84,38 €
1 <sup>er</sup> trimestre 2004	86,55 €
2 <sup>e</sup> trimestre 2004	91,68 €
3 <sup>e</sup> trimestre 2004	91,95 €
4 <sup>e</sup> trimestre 2004	91,74 €
1 <sup>er</sup> trimestre 2005	91,82 €
2 <sup>e</sup> trimestre 2005	92,00 €
3 <sup>e</sup> trimestre 2005	92,29 €
4 <sup>e</sup> trimestre 2005	92,26 €
1 <sup>er</sup> trimestre 2006	92,08 €
2 <sup>e</sup> trimestre 2006	91,92 €
3 <sup>e</sup> trimestre 2006	91,29 €
4 <sup>e</sup> trimestre 2006	90,95 €
1 <sup>er</sup> trimestre 2007	90,81 €
2 <sup>e</sup> trimestre 2007	88,87 €
3 <sup>e</sup> trimestre 2007	91,46 €

4 <sup>e</sup> trimestre 2007	88,21 €
1 <sup>er</sup> trimestre 2008	89,42 €
2 <sup>e</sup> trimestre 2008	88,06 €
3 <sup>e</sup> trimestre 2008	88,80 €
4 <sup>e</sup> trimestre 2008	86,58 €
1 <sup>er</sup> trimestre 2009	89,40 €
2 <sup>e</sup> trimestre 2009	87,29 €
3 <sup>e</sup> trimestre 2009	89,77 €
4 <sup>e</sup> trimestre 2009	86,07 €

Tableau 37 : Prix des certificats verts (source : <http://www.cwape.be/xml/themes.xml?IDC=1559>)

Les clients désireux de consommer de l'électricité « verte », peuvent acheter directement à un fournisseur des kWh verts, sous garantie d'origine.

La notion de déchets, contaminés ou non, n'intervient pas pour certifier qu'une ressource à usage énergétique est renouvelable. Celle-ci est définie comme « toute source d'énergie, autre que les combustibles fossiles et les matières fissiles, dont la consommation ne limite pas son utilisation future ». (Cf. : <http://www.cwape.be/xml/themes.xml?IDC=1617>)

#### 11.3.8. Les aides à la sylviculture

Sous des formes variées, la sylviculture bénéficie d'aides pour mettre en valeur des forêts difficiles d'accès. Elles sont attribuées en général par des collectivités locales (Conseil Régional, Conseil Général). Elles contribuent à augmenter le gisement de bois disponible pour l'énergie. Elles ne sont pas spécifiques de l'énergie.

#### 11.3.9. Les aides à l'investissement

Le taux de subventions varie selon les projets avec une moyenne constatée de 70% pour les petits réseaux (< 500 kW) et de 40 à 50% pour les réseaux plus importants. Les financeurs potentiels sont l'ADEME, le Conseil Régional, le Conseil Général et l'Union européenne (fonds structurels).

## 12. Description sommaire des installations

Nous indiquerons :

- Leurs caractéristiques
  - La demande en énergie à laquelle elles répondent
  - Les concepts techniques principaux qui entraînent des contraintes sur les déchets et expliquent les coûts d'investissement et de fonctionnement
  - Leur rendement en énergie thermique et électrique
  - La taille efficace
  - Les performances économiques
  - Le niveau de développement de la technique
- Les contraintes sur les déchets en entrée

### 12.1. Chaudières de production de chaleur pour les réseaux des collectivités

#### 12.1.1. Caractéristiques des installations

Elles ne produisent en général que de la chaleur sous forme de vapeur ou d'eau surchauffée. Elles s'adaptent à des variations fortes de la demande entre 10 et 100 % de la puissance nominale.

Les concepts techniques principaux généralement adoptés sont les suivants :

- Alimentation automatique par vis
- Foyer à grille, éventuellement à étages, avec introduction d'air par dessous
- Traitement des fumées en général limité à un dépoussiérage électrostatique ou par filtre à manches ; les pailles nécessitent un traitement DENOX.
- Condenseur sur les fumées quand le combustible est à une humidité supérieure à 40 % ; dans ce cas il faut traiter les condensats avant rejets.
- Chaudières placées directement au dessus du foyer comme toutes les installations de combustion, à la différence des incinérateurs

Le rendement sur PCI est supérieur à 100 % dans le cas de condensation des gaz de combustion.

Les tailles courantes vont de 300 kW à 13 MW. Au dessous de 2 MW elles ne sont pas soumises à la réglementation ; entre 2 et 20 MW elles sont soumises à déclaration ; au dessus de 20 MW elles sont soumises à autorisation. Toutefois la norme NF EN 303.5 pour les chaudières de puissance inférieures à 300 kW reste la référence pour les émissions de CO des installations en dessous de 2 MW.

Ces installations sont bien adaptées à des demandes en chaleur de collectivité de taille moyenne. La faible consommation d'énergie en été augmente le coût moyen de l'énergie produite. L'effet d'échelle est important. Il pousse vers la construction d'installation de l'ordre de 10 MW sous réserve de la disponibilité des déchets et d'une demande en énergie suffisante.

Les améliorations techniques de ce système porteront sur la réduction des impacts à moindre coût : réduction des aérosols dans les fumées, traitement des NO<sub>x</sub> et des poussières et utilisation des cendres en amendement actuellement limité par la concentration en métaux lourds (cadmium, plomb et mercure).

### 12.1.2. Contraintes sur les flux de déchets entrant

Ces chaudières fonctionnent essentiellement avec du bois, secs ou humides, non contaminés, donc avec des déchets assimilés à des combustibles.

L'humidité acceptable atteint 60 %. Il est préférable qu'elle soit à peu près constante dans le flux des déchets entrant pour faciliter la régulation du fonctionnement et assurer la meilleure combustion possible. Donc une homogénéisation préalable peut être nécessaire dans le cas de mélange de biomasses d'origines différentes ; par exemple des résidus d'exploitation forestière et des sous-produits de menuiserie.

Les chaudières les plus efficaces sont conçues pour des plages d'humidité acceptables restreintes. Une installation doit donc être adaptée aux déchets disponibles dans une zone donnée.

Une granulométrie assez homogène est requise : plaquettes de l'ordre de 50 mm ce qui exige un broyage et un criblage aux spécifications du constructeur.

La paille comme combustible entraîne un surcoût d'investissement de 20 % en raison des NO<sub>x</sub> dans les fumées, de la plus grande production de cendres et des risques d'encrassement de la chaudière.

## 12.2. Cogénération de taille moyenne

### 12.2.1. Caractéristiques des installations

L'objectif est de produire de la chaleur et de l'électricité.

Les concepts techniques principaux généralement adoptés sont les suivants :

- Foyers
  - à grilles, mobiles pour le bois ou vibrantes pour la paille
  - à lits fluidisés
  - tuyères pour combustion pulvérisée
- Les systèmes d'introduction sont fonction des foyers et des granulométries de déchets acceptables. Les systèmes les plus communs sont :
  - Par vis avec des produits de granulométrie inférieure à 50 mm
  - Par pont roulant et alimentation gravitaire à partir d'une trémie pour des mix de déchets (par exemple de la sciure et des déchets de menuiserie) brûlant sur un four à grille et en suspension dans la chambre de combustion
  - Par pulvérisation de produits finement broyés dans le cas de tuyères
- Traitement DENO<sub>x</sub> dans le foyer, avec de l'ammoniaque ou système catalytique avant la cheminée. Ce traitement peut être évité avec du bois et des foyers maintenue à température modérée (foyers à lit fluidisé). La paille entraîne des exigences de traitement plus fortes que le bois.
- Production de vapeur haute pression (75 bars) surchauffée jusqu'à 525 °C, nécessitant des aciers alliés résistant à ces températures
- Dépoussiérage des fumées par électrofiltre ou filtre à manches, un peu plus efficace
- Turbine à vapeur
- Condenseur sur les fumées mis en marche en hiver quand les combustibles sont humides et la demande en chaleur relativement plus élevée.

Les rendements électriques atteignent 30 %. Cependant ce rendement exige des températures élevées de la vapeur qui ne peuvent être obtenues qu'avec des alliages spéciaux sur les chaudières qui doivent également résister à la corrosion quand les déchets ont une concentration élevée en halogènes (cas des pailles et autres résidus de récoltes). La combustion de la paille limite les températures de vapeur à 500 °C.

Les tailles courantes vont jusqu'à 100 MW. En dessous de 10 MW de production électrique l'importance des frais fixes (investissement et exploitation) renchérit le MWh produit. Il existe de nombreuses références en Europe. On peut citer par exemple quelques usines Danoises :

- Grenaa : puissance électrique 18 MW et énergie thermique fournie : 61 MJ/s avec 60 % de paille et 40 % de charbon mélangé dans le four à grille
- Haslev : combustion de 26 000 t de paille par an fournissant une puissance électrique de 5 MW et énergie thermique de 13 MJ/s.
- Herning : combustion de 200 000 t/a de plaquettes de bois, (70% du combustible primaire) et du fuel et du gaz, fournissant 89 MW électrique et 174 MJ/s d'énergie thermique.
- Kage : usine flexible capable d'utiliser toutes sortes de biomasse telles que noyaux d'olives, pailles, bois pour fournir 26 MW électrique et 81 MJ/s de chaleur
- Assens : combustion de 150 t/j de bois de granulométrie et humidités variées pour fournir 5 MW électrique et 10 MW thermique. Elle dispose d'un condenseur sur les fumées pour récupérer 3,5 MW de chaleur en hiver quand le bois est très humide.

Ces installations sont les plus compétitives quand il n'est pas possible d'envisager les installations de grande taille (voir § 12.3 ci-après) qui ont un rendement en électricité nettement supérieures mais pour lesquelles il est souvent difficile de trouver un client pour toute la vapeur produite et qui posent des problèmes d'approvisionnement en déchets.

Les développements techniques attendus porteront sur la résistance des alliages à la corrosion pour augmenter les rendements des turbines et admettre plus de flexibilité sur les déchets.

#### 12.2.2. Contraintes sur les déchets

- Déchets acceptables : tous déchets non contaminés, éventuellement en mélange avec des combustibles fossiles comme le charbon. Exemple : paille 60 % et charbon 40 %. Le mélange acceptable de déchets est peu flexible en raison des réactions chimiques dans les produits de la combustion de ces différents déchets.
- Humidité jusqu'à 60 %, de préférence constante dans le temps.
- Granulométrie, fonction du type de foyers
  - Pour les pailles et autres résidus de récolte : désagrégation des bottes constituées pour limiter les coûts de transport ; broyeurs à marteaux pour combustion pulvérisée avec le charbon
  - Pour le bois : mise en plaquettes des sous-produits de l'exploitation forestière et des déchets de l'industrie du bois
- Caractéristiques chimiques des déchets entraînant des exigences de conception particulières de l'installation.
  - Par rapport au bois, les déchets de récoltes ont une plus forte concentration en halogènes, d'où une augmentation de la corrosivité des fumées sur les aciers alliés indispensables à haute température ; d'où une limitation de la

température et pression de la vapeur produite, donc une baisse de rendement électrique.

- Les concentrations en métaux alcalins (Na et K) sont plus importantes dans les déchets de récolte, la paille en particulier. Cela entraîne la baisse des points de fusion de la cendre. Une couche de cendres fondue se dépose alors sur les surfaces de la chaudière qui tend à capter d'autres particules solides (par exemple des cendres volantes de la combustion du charbon) entraînant un risque de bouchage de la chaudière. On estime qu'une concentration en  $K_2O + Na_2O$ , supérieure à 0,17 kg/GJ entraîne une nécessité de conception spéciale<sup>81</sup>.
- Les résidus de récoltes ont des concentrations en azote plus importantes qui augmentent la production de  $NO_x$ .
- Les résidus de récoltes produisent plus de cendres
- Les métaux alcalins présents dans la biomasse se retrouvent partiellement dans les fumées et dégradent les catalyseurs des SCR.

### 12.3. Centrale de cogénération de forte capacité en co-combustion

Le site internet <http://www.ieabcc.nl/database/cofiring.php> fournit une liste des installations dans le monde, pour ce type de centrale ainsi que pour les installations de plus petites capacités (cf. § 3.2 ci-dessus). Le site <http://www.ieabioenergytask32.com/> donne toute information sur la co-combustion de la biomasse avec des combustibles fossiles.

#### 12.3.1. Caractéristiques des installations

Les concepts techniques principaux sont les suivants :

- La biomasse est brûlée en co-combustion avec du charbon, du gaz naturel ou du pétrole.
- Introduction des combustibles par soufflage dans le foyer et combustion en suspension ; il n'y a pas de foyer à grille
- Production de vapeur supercritique
  - pressions de 250 à 350 bars
  - température jusqu'à 600 °C
- Turboalternateur

Les rendements de production électrique atteignent 48 %.

La taille typique des installations est de 300 à 400 MWe.

Il existe de nombreuses installations de ce type dans le monde. On peut citer au Danemark :

- Avedøre Power Plant : l'une des 2 lignes utilise de la paille, des pellets de bois, du gaz naturel, du pétrole. Le rendement est de 46 %.
- Ensted : puissance électrique : 626 MW à partir de charbon, de plaquettes de bois et de paille

---

<sup>81</sup> Ref : "Global operational status on cofiring biomass and waste with coal ; Experience with different cofiring concepts and fuels  
Jaap Koppejan1 : Project manager Bioenergy systems, TNO-MEP, PO Box 342, 7300 AH Apeldoorn, Netherlands,  
Larry Baxter : Professor Chemical Engineering, Brigham Young University, Provo, UT 84601, USA,

Un avantage majeur de cette technologie est la possibilité d'adapter des installations existantes de combustion du charbon avec un coût d'investissement plus faible qu'une usine neuve. Elle est la plus performante en termes de coût global de l'électricité produite du fait du rendement et de l'effet de taille. La rentabilité de l'investissement est due en partie à l'acquisition de quotas CO<sub>2</sub> pour ces grandes installations de combustion.

Les développements techniques portent sur la recherche d'alliage pouvant résister à des températures et pression plus élevées et à la corrosion des déchets contenant des halogènes. Les rendements atteignables en théorie avec le charbon (55 % avec une température de vapeur de 700 °C nécessitant des alliages au nickel) ne semblent pas actuellement possibles avec des déchets végétaux.

Le pourcentage maximum de déchets végétaux est déterminé par :

- La place disponible pour stocker, préparer et injecter le déchet ; la surface nécessaire est très supérieure à celle qui est allouée au charbon.
- Le type de combustion en mélange direct avec le charbon, le pourcentage est limité en général à 10 % ; mais en cocombustion indirect il peut être très supérieur (cf. § suivant).
- Les options de valorisation des cendres qui dans le cas de biomasse sont moins nombreuses et plus coûteuses.

#### 12.3.2. Contraintes sur les déchets

Granulométrie : Broyage fin pour permettre la pulvérisation dans le foyer à partir de pellets de paille ou de bois ou de pellets de bois torréfié.

Spécificités particulières : les pailles et autres résidus de récoltes entraînent les mêmes limitations que pour les installations de tailles plus petites (voir § 3.2.2 ci-dessus). Les températures de vapeur avec ces combustibles ont été jusqu'à présent maintenues plus basses que pour le charbon et le bois. Des avancées technologiques dans la métallurgie des installations devraient permettre de lever partiellement cette limitation.

Pour contourner ce problème il est possible d'installer en amont une unité de gazéification de la biomasse et de brûler le gaz dans la chaudière à charbon ou encore de produire de la vapeur dans une chaudière spécifique pour la biomasse et de turbiner la vapeur en même temps que la vapeur produite par le charbon.

### 12.4. Installations d'incinération

#### 12.4.1. Caractéristiques des installations

L'objectif est de détruire le déchet en produisant par surcroît de l'énergie. C'est le service de traitement du déchet qui couvre au moins les 3/4 du coût global du traitement. Le reste est assuré par la vente d'énergie. Du point de vue de la production d'énergie on peut les assimiler à des installations de cogénération de taille moyenne avec des différences de conception et des contraintes d'exploitation qui renchérissent très sensiblement le coût de production de l'énergie.

Les concepts techniques principaux sont les suivants :

- Zone de stockage et de préparation des déchets
- Four à grille ou four tournant

- Chambre de combustion ou de post combustion permettant le maintien durant 2 s des gaz à plus de 850 °C (déchets non dangereux) ou 1100 °C (déchets dangereux avec concentration en chlore supérieure à 1 %)
- Système de traitement des gaz pour la neutralisation des acides, l'élimination des poussières, des métaux lourds, des NO<sub>x</sub> et de la dioxine
- Chaudière à moyenne pression et turboalternateur

Le rendement net en énergie électrique des fours à grille dépasse légèrement 20 %. Les rendements thermiques des fours tournants suivis d'une chaudière de production de vapeur sont de l'ordre de 50 %.

Les tailles efficaces sont de l'ordre de 30 000 t/a pour des déchets industriels dangereux. Pour des déchets non dangereux elles dépassent 100 000 t/a. Le coût du traitement baisse jusqu'à une taille de l'ordre de 400 000 t/a.

Ces installations doivent être réservées aux déchets non dangereux ou dangereux.

#### 12.4.2. Contraintes sur les déchets

Tous les déchets sont acceptés, sous réserve d'autorisation préalable dans le permis d'exploiter, en veillant à la distinction sur leur concentration en halogènes.

L'utilisation de biomasse non contaminée est possible dans un incinérateur mais le bilan économique et environnemental (mesuré par l'économie de CO<sub>2</sub> par tonne de biomasse) sera mauvais. Dans des cas très particuliers de présence de biomasse à proximité d'un incinérateur il est envisageable cependant de compléter l'apport en énergie primaire par de la biomasse. Il s'agit alors d'un calcul en coût marginal qui peut s'avérer positif.

### 12.5. Gazéification

#### 12.5.1. Caractéristiques des installations

L'objet de la gazéification est de décomposer le processus de combustion en deux phases, la gazéification proprement dite suivie de la combustion du gaz, pour que cette combustion s'effectue dans un moteur à gaz ou une turbine à gaz qui ont un meilleur rendement électrique que les turbines à vapeur. Cependant le moteur, et les turbines encore plus, nécessitent des spécifications de gaz précises qu'il n'est pas facile d'obtenir à partir de déchets. Ainsi on constate que dans les installations actuelles, les gazéificateurs sont suivis souvent d'une chaudière beaucoup plus flexible sur la qualité du gaz que les moteurs.

D'un point de vue réglementaire une installation de gazéification est assimilée à une installation de combustion pour des déchets non contaminés et à un incinérateur pour les déchets contaminés, dangereux ou non dangereux.

Les concepts techniques principaux sont les suivants :

- Broyage des déchets pour obtenir une granulométrie suffisamment fine pour favoriser les réactions de gazéification.
- Séchage en amont du réacteur si celui-ci ne prévoit pas de chambre ou d'étape spécifique de séchage
- Homogénéisation du flux
- Refroidissement et épuration du gaz, la teneur en goudrons étant l'un des problèmes principaux ;
- Combustion du gaz et alternateur derrière le moteur ou la turbine

- Récupération éventuelle de la chaleur sensible du syngas et des gaz d'échappement par des chaudières.

La taille efficace est de l'ordre de 100 000 t/a de déchets en mélange pour une production d'énergie autonome. Mais cette taille peut baisser dans le cas de l'alimentation en gaz d'une installation de combustion existante sur un site produisant les déchets. C'est le cas de déchets de l'industrie agroalimentaire.

Le rendement théorique global est de 33 % en récupérant la chaleur sensible du syngas et des gaz d'échappement des moteurs. En pratique il faut s'attendre à un rendement inférieur à 30 %. En cas d'utilisation d'une torche à plasma pour le craquage des gaz il faut diminuer le rendement de 3 à 4 points.

La gazéification est un processus maîtrisé quand il s'agit du charbon ou d'un déchet de caractéristiques connues et constantes. Dans le cas de déchets, surtout s'ils sont hétérogènes, à PCI plus faible, il est difficile de contrôler et maîtriser les conditions des différentes réactions dans le four pour obtenir à la fois un bon rendement, un gaz ayant un PCI suffisant pour être valorisé dans un moteur et des caractéristiques des déchets ultimes conformes à la réglementation (taux de carbone limité à 3 %).

L'élément clé du système est le gazéificateur. Les constructeurs répertoriés sont Foster Wheeler et Bioneer en Finlande, Lurgi en Allemagne, Vølund au Danemark, TPS en Suède, PRM Energy aux USA et Repotec en Autriche, Xylowatt en Belgique.

Des unités industrielles fonctionnent dans le monde, surtout pour des flux de déchets constants. Avec des déchets de bois on peut citer Gussing en Autriche avec un gazéificateur REPOTEC et en France une installation dans le Limousin, équipée récemment d'une torche à plasma.

#### 12.5.2. Variantes du procédé

- L'apport de gaz : la gazéification peut être obtenue avec de l'air ou avec de l'oxygène, ce qui permet d'augmenter le PCI du gaz en limitant la quantité d'azote dans le gaz, ou avec de la vapeur ce qui permet d'augmenter la proportion d'hydrogène dans le gaz et favoriser sa combustion dans les moteurs à gaz.
- La biomasse peut être gazéifiée avec un ajout de charbon.
- La géométrie du réacteur, la mise en mouvement des déchets dans le réacteur et les flux respectifs de déchets et de gaz
- Différents procédés ont été mis au point ou sont à l'état de recherche pour l'épuration du syngas ; c'est l'un des points les plus critiques souvent mal maîtrisés dans le cas de déchets variés.

#### 12.5.3. Intérêt de la gazéification

L'intérêt principal de gazéification réside dans le rendement de production électrique si le gaz est valorisé en énergie par un moteur à gaz. C'est le meilleur rendement obtenu pour de petites installations. Mais cela exige de bien maîtriser la technologie et d'épurer suffisamment le gaz. Cette technologie est recommandable si on souhaite transformer l'énergie thermique en électricité et dans le cas de flux de déchets homogènes, relativement restreints, comme des déchets de l'industrie agroalimentaire.

Le gazéificateur peut être utilisé comme un producteur de gaz combustible qui sera brûlé dans une chaudière. Dans ce cas le problème de l'épuration du gaz ne sera pas critique et l'on minimise le coût de l'investissement. Le coût du traitement du syngas est plus faible que le coût du traitement du gaz de combustion car les volumes de gaz sont plus faibles pour la même quantité d'énergie produite. Si l'installation de combustion du gaz existe déjà (par exemple chaudière à combustible fossile existante ou four à chaux), la gazéification peut-être

l'option la plus économique. C'est une alternative à la co-combustion directe dans une chaudière avec des combustibles fossiles, en particulier quand la combustion de la biomasse est problématique (par exemple le cas de la paille dans les grandes unités de cogénération).

Cette technologie aurait pu se développer comme prétraitement de déchets contaminés si le syngas pouvait être considéré comme un combustible. Dans ce cas on pourrait utiliser une centrale énergie à combustible pour valoriser des déchets contaminés comme par exemple les déchets de l'industrie du bois (panneaux de particules, contreplaqué) ou les déchets en bois des ménages (bois peints). Cependant l'arrêt de la cour de justice européenne rappelé au point 11.2.1 ci-dessus assimile alors la centrale énergie à une installation de co-incinération de déchets.

#### 12.5.4. Contraintes sur les déchets

Les déchets doivent être broyés suffisamment fin pour permettre le développement des réactions de la gazéification de manière homogène dans le lit de déchets. L'humidité est un paramètre essentiel. Il est préférable de sécher les déchets, sauf si le procédé est spécifiquement conçu pour des déchets humides (cas des réacteurs comprenant une chambre de séchage).

### 12.6. Méthanisation

#### 12.6.1. Caractéristiques des installations

L'objectif est de produire un gaz combustible, utilisable en chaudière pour la production de vapeur ou dans des moteurs pour la production d'électricité. C'est un procédé biochimique lent de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène.

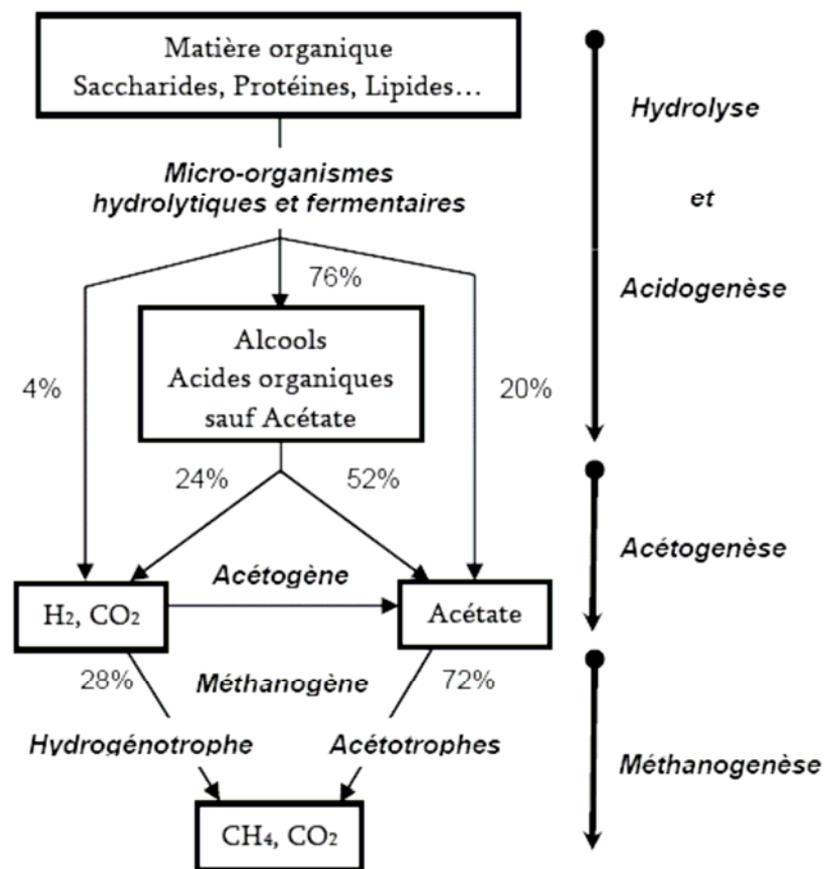


Figure 1 : Schéma des réactions de méthanisation

Les concepts techniques principaux sont les suivants :

- Préparation des déchets, variable suivant le type de méthaniseur, dans l'objectif d'améliorer le rendement de méthanisation
  - Tri
  - Broyage pour faciliter l'attaque des bactéries ce qui réduit les temps de résidence
  - Réchauffage
  - Acidification
  - Mélange
  - Recyclage en particulier d'une partie des effluents liquides dans le cas de déchets secs
- Réacteurs de conceptions variées en fonction du type de déchets et de la taille de l'installation :
  - humide en une phase ou en plusieurs phases,(1ère phase : hydrolyse et acidogénèse, 2ème phase : méthanogénèse),
  - à sec (humidité des déchets de 20 à 40 %), en continu ou en batch
  - sequencing batch.
- Traitement éventuel du gaz pour l'adapter aux exigences de l'équipement de combustion et aux normes de rejet dans l'atmosphère. Les traitements principaux sont les suivants : séchage du gaz, enlèvement du sulfure d'hydrogène,
  - Chaudières
  - Cogénération par moteur (éliminer les sulfures d'hydrogène)
  - Carburant pour transport (éliminer le CO<sub>2</sub> et les sulfures)
  - Injection dans les circuits de distribution de gaz (impossible en France pour cause d'impureté)
- Epandage du digestat après compostage sous réserve de sa conformité à la réglementation ; il a une grande valeur agronomique.

Le rendement énergétique par tonne de déchets entrant est relativement limité :

- Pas de dégradation de la lignine
- Hydrolyse difficile des déchets solides, trop secs
- Production de biogaz : 100 à 200 Nm<sup>3</sup>/ts de matières organiques, rendement de 40 à 80 % suivant la matière organique, composé de
  - 55 à 70 % de méthane
  - PCI de 22 MJ/Nm<sup>3</sup> pour une concentration en méthane de 65 %
  - 30 à 45 % de CO<sub>2</sub>
  - 200 à 4 000 ppm de H<sub>2</sub>S
  - Traces d'ammoniac et vapeur d'eau

Les tailles des installations sont très variables :

- quelques milliers de tonnes par an pour la méthanisation à la ferme (très développée en Allemagne)
- 100 000 à 300 000 t/a pour des installations industrielles centralisées.

#### 12.6.2. Conditions d'applications de la méthanisation

C'est une technologie assez répandue et prouvée dans des installations fonctionnant depuis plusieurs années. La capacité totale installée en Europe atteint plusieurs millions de t/an de déchets organiques. Cependant le procédé est difficile à maîtriser faute de connaissances suffisantes des réactions et de leurs actions antagonistes à l'intérieur du réacteur. Il est peu robuste face à la variabilité des caractéristiques des déchets.

L'épandage du digestat nécessite un espace suffisant à proximité de l'installation. Les très grosses installations auront des coûts d'épandage élevés en raison du transport. C'est le cas de l'éventuelle méthanisation de très gros volumes de déchets produits par les drêches d'une unité de méthanol. Du point de vue environnemental le risque de pathogènes se retrouvant dans le digestat justifie des contraintes réglementaires fortes pour l'épandage. La norme NFU 44-051 définit une exigence de résultat qui suppose un tri à la source des déchets ou un tri mécano-biologique (TMB) coûteux. C'est pourquoi les déchets issus du TMB ont un coût rendu réacteur de méthanisation qui peut limiter son intérêt financier.

Le gaz peut être valorisé dans une cogénération avec moteur à gaz, dans un moteur de camion ou dans une chaudière. L'AFSSET a estimé que les risques pour les usagers d'introduction du biogaz dans le réseau de gaz de ville étaient écartés pour le biogaz issu de déchets ménagers produits à partir de centres de stockage et pour celui qui est issu de digesteurs de déchets non dangereux : déchets organiques ménagers, agricoles, de restauration collective et de l'industrie alimentaire. Dans tous les cas ce biogaz devra être épuré. Cet avis ouvre la voie à une nouvelle utilisation du biogaz. L'AFSSET ne s'est pas prononcé sur les biogaz issus de boues des stations d'épuration et des déchets industriels. Elle recommande par conséquent de renforcer la recherche de données sur la composition chimique et microbiologique des biogaz issus de ces gisements.

L'effet d'échelle sur le coût de l'énergie produite en fonction de la taille de l'investissement est fort en dessous d'une dizaine de milliers de tonnes/an de déchets.

#### 12.6.3. Contraintes sur les déchets

D'où les exigences suivantes sur les déchets :

- Nécessité de tri ou au contraire d'homogénéisation des flux de déchets variés pour obtenir des flux de déchets homogènes
- Humidité suffisante pour permettre les réactions biochimiques
- Rapport C/N de l'ordre de 20 à 30, pour le rendement et la qualité du biogaz
- Des mélanges de déchets (résidus de récolte associés à des lisiers) peuvent favoriser le rendement en biogaz
- Broyage indispensable assez fin pour faciliter les attaques par les bactéries.

La méthanisation présente plus d'avantages quand le déchet est humide (tontes de jardin, déchets de cultures annuelles, déchets humides de l'industrie agroalimentaire). Les déchets végétaux peuvent être contaminés mais ne doivent pas être dangereux.

La capacité de production de méthane par tonne de déchet entrant varie dans une proportion de 1 à 7 suivant les végétaux comme le montre le diagramme suivant.

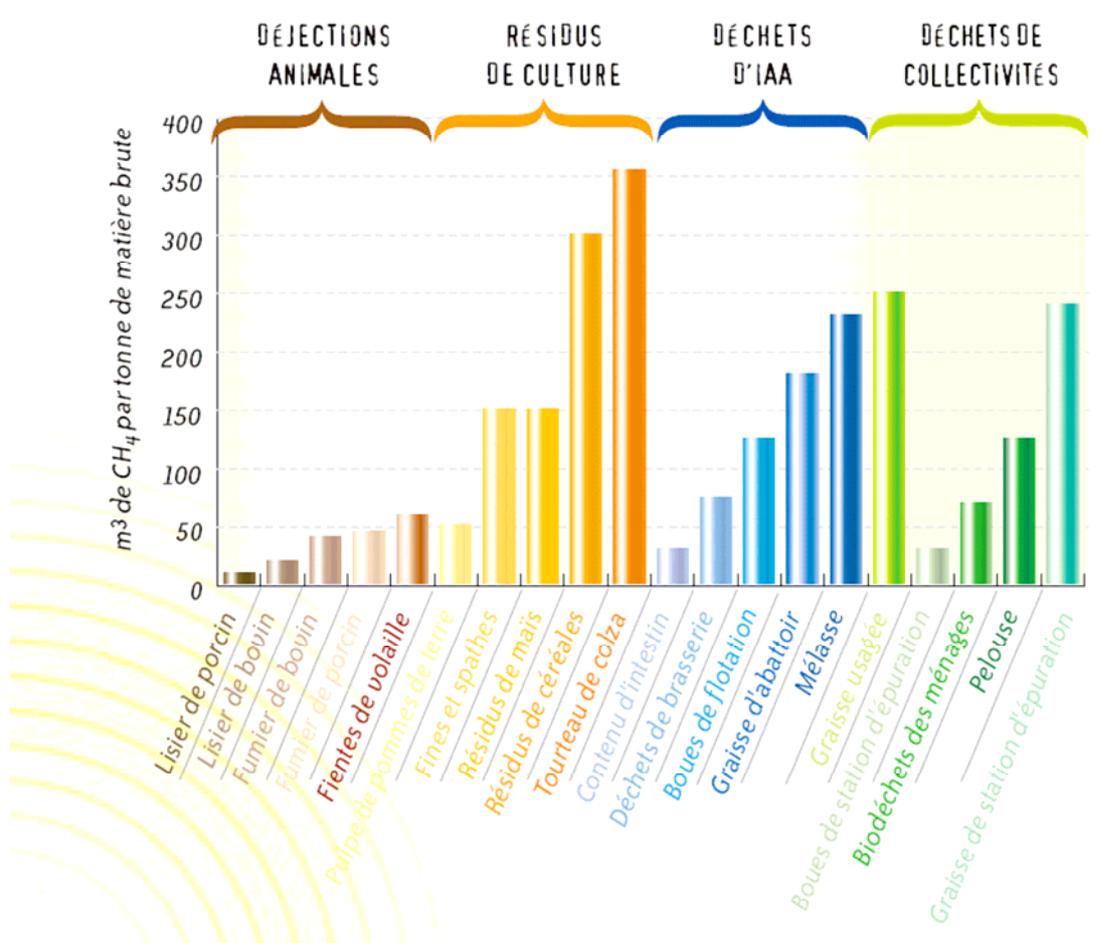


Figure 2: Production de méthane par type de déchets (source : ADEME)

12.7. Tableaux récapitulatifs

Technologies	Domaines d'application	Disponibilité de la technique et caractéristiques techniques principales	Potentiel de développement
Chaudières de production de chaleur pour collectivité	Chauffage de réseau de chaleur Rendement total sur pci de 90 %	Techniques de base très connues : - Alimentation automatique par vis de déchets broyés - Foyer à grille - Possibilité de condensation des fumées dans le cas de bois humide	Réduction des émissions dans l'air (poussières, aérosols, NOx) Optimisation du fonctionnement par ajustement des débits d'air
Cogénération	Production simultanée de chaleur et d'électricité Rendement électrique de 20 à 30 % suivant les caractéristiques de la vapeur et les types de turbines Rendement total proche de 90 %	Techniques de base très connues : - Alimentation automatique par vis de déchets broyés - Foyers : à grille, à lits fluidisés, à tuyères - Traitement DENOX - Dépoussiérage des gaz par filtres à manches ou électrofiltre - Production de vapeur haute pression et surchauffée pour améliorer le rendement électrique - Turbine à vapeur et alternateur	- Augmentation de la température de la vapeur avec des aciers résistants à la corrosion ; - Limitation de l'encrassement de la chaudière dans le cas de déchets de récoltes de plantes annuelles
Co-combustion dans des centrales de fortes capacités	Production principale d'électricité. Rendement électrique pouvant atteindre 48 % Possibilité d'adaptation des centrales existantes	Techniques de base très connues : - Pulvérisation de la biomasse et combustion en suspension - Production de vapeur supercritique jusqu'à 300 bars et 600 °C - Turboalternateur	Atteindre les mêmes températures qu'avec le charbon donc éviter la corrosion et l'encrassement des tubes. Développer des réseaux amont de production de combustibles (bois torréfié par exemple)
Incinération	Traitement de déchets dangereux ou non dangereux Production d'électricité (rendement de l'ordre de 20 %) et de chaleur	Techniques de base très connues : - Stockage et préparation des déchets en général d'origine très variés - Four à grille ou four tournant ; éventuellement four à lits fluidisés - Contraintes de combustion	Augmenter le rendement en énergie

Gazéification	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production d'un gaz valorisé en chaudière ou dans un moteur</li> <li>- Pertinente pour des déchets homogènes tels que les déchets de l'industrie agroalimentaire</li> <li>- Rendement électrique voisin de 30 % dans le cas de valorisation par moteur à gaz</li> <li>- taille efficace plus petite que la cogénération</li> </ul>	<p>Technique connue mais peu développée ; quelques références industrielles démonstratives avec des déchets spécifiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Broyage et homogénéisation soignée des déchets</li> <li>- Gazéification dans des réacteurs de géométrie variés avec des cinématiques de déchets différentes et ajout éventuel de carbone</li> <li>- Apport d'oxygène, de vapeur, et/ou d'air</li> <li>- Traitement du syngas pour enlever les goudrons qui se condensent au refroidissement ; plusieurs concepts en concurrence</li> </ul> <p>Récupération de la chaleur sensible du syngas et des gaz d'échappement des moteurs</p>	<p>Augmenter la flexibilité au regard des différents types de déchets ; améliorer le contrôle commande du réacteur pour garantir une gazéification ;</p> <p>Fiabiliser l'épuration du syngas</p> <p>Limiter les NOx des moteurs à gaz</p> <p>Augmenter la flexibilité des moteurs au regard des caractéristiques du syngas</p> <p>Augmenter le pci du syngas aux spécifications d'entrée dans une turbine à gaz</p>
Méthanisation	<p>Traitement de déchets organiques plutôt humides Le gaz est transformé en énergie dans un moteur à gaz, en chaudière ou envoyé sur le réseau de gaz de ville</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombreuses installations existantes</li> <li>- Conceptions variées des réacteurs à sélectionner en fonction des caractéristiques des déchets</li> <li>- Epuration des gaz avant valorisation</li> <li>- Important volume de digestat à traiter par compostage et épandage</li> </ul>	<p>Mise au point de moteurs de petites tailles pour les méthaniseurs à la ferme</p>

**Tableau 38 : Technologies, principaux aspects techniques**

Technologies	Evaluation des coûts actuels		
	Investissement	Fonctionnement/an	
		Fixes	Variables
Grandes unités en cocombustion	Neuf : 1,2 M€/MWe Reconstruction : 0,1 à 0,6 M€/MWe	22 000 €/MWe	3 €/MWhe
	La plus économique pour la production d'électricité en raison du rendement > 40 % et du coût relativement plus faible de modification des centrales à charbon		
Petites unités cogénération	3,5 – 4,6 M€/MWe	4 % de l'investissement	-
	Coût plus élevé en raison d'un rendement électrique plus faible (inférieur à 30 %)		
Chauffage collectivités	0,25 - 0,5 M€/MWe	15 000 à 25 000 €/MWth	-
Gazéification	3 M€/MWe	70 000 €/MWe	15 €/MWhe
	L'intérêt économique est dû au rendement électrique de l'ordre de 30 % pour de petites installations, relativement faciles à installer car occupant moins de place		
Méthanisation			
	< 300 t/j	4 à 5 M€/MWe	25 à 30 €/MWhe
	550 t/j	3,5 M€/MWe	
	800 t/j	2,9 M€/MWe	
Facteurs de coût principaux	- Rendement, dépendant de la nature du déchet - L'épandage du digestat n'est pas compris dans ces coûts		
Incinération	5,5 M€/MWe	222 000 €/MWe	21 €/MWhe
	Valables pour de très grosses unités d'incinération. Élevé en raison des prescriptions sur les stockages, le traitement des gaz, les stockages ultimes des cendres et mâchefers.		

**Tableau 39 : technologies, ordre de grandeur des coûts de production de l'énergie**

Technologies		Réglementation sur les Installations Classées		Réglementation sur le prix de l'électricité
1	Chaudières de production de chaleur pour collectivité utilisant des sous produits (biomasse assimilable à un combustible)	< 2 MW	Elles ne sont pas soumises à réglementation. Standards de qualité, norme NF EN 305, pour les chaudières de moins de 300 kW.	<p>Arrêté du 28 décembre 2009 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant, à titre principal, l'énergie dégagée par la combustion de matières non fossiles d'origine végétale ou animale telles que visées au 4° de l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000</p> <p>- Arrêté du 31 mars 2008 relatif à la vérification et à la quantification des émissions déclarées dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre pour la période 2008-2012</p>
2	Cogénération avec des sous-produits (biomasse assimilable à un combustible)	Entre 2 et 20 MW	Arrêté du 02/12/08 modifiant l'arrêté du 25 juillet 1997 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2910 (Combustion)	
		> 20 MW nouvelles ou modifiées	Arrêté du 20/06/02 relatif aux chaudières présentes dans une installation nouvelle ou modifiée d'une puissance supérieure à 20 MWth	
		> 20 MW existantes	Arrêté du 30/07/03 relatif aux chaudières présentes dans des installations existantes de combustion d'une puissance supérieure à 20 MWth	
3	Co combustion dans des centrales de fortes capacités	Arrêté du 30/07/03 modifié par l'arrêté du 31/10/07		
4	Incinération de déchets dangereux	Arrêté du 20/09/02 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux, modifié par l'Arrêté du 10 février 2005		
5	Incinération de déchets non dangereux	Arrêté du 20/09/02 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux		
6	Gazéification de sous-produit (biomasse assimilable à un combustible)	Idem 2		
7	Gazéification de déchets	Idem 4 et 5 ; impossible de dissocier la gazéification de la valorisation thermique du gaz si le gaz n'est pas épuré dans l'installation de gazéification		
8	Méthanisation	<p>Arrêté du 10/11/ 2009 relatif aux prescriptions applicables aux installations classées de méthanisation soumises à déclaration sous la rubrique no 2781-1</p> <p>Arrêté du 10/11/2009 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de méthanisation soumises à autorisation</p>		Arrêté du 10 juillet 2006 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz

**Tableau 40 : technologies, aspects réglementaires principaux**

### 13. Critères de différenciation des déchets du point de vue des installations

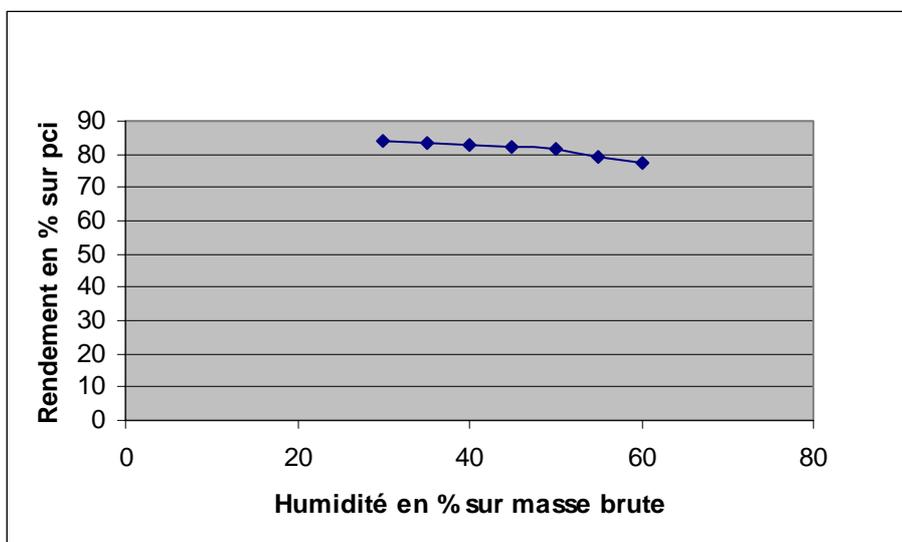
Ces critères sont proposés et leur pertinence expliquée pour chaque type d'installation.

#### 13.1. Critères techniques

##### 13.1.1. Humidité

Une forte teneur en eau (2 à 15 % de matières sèches) est favorable à la méthanisation

En combustion l'influence de l'eau porte sur le PCI (voir § 4.1.2 ci-dessous). Jusqu'à 60 % d'eau la combustion ne pose pas de problèmes techniques. Les rendements de chaudières mesurés en kWh produit par rapport au kWh apporté par la biomasse ne baissent que très faiblement avec l'humidité sous réserve qu'elles aient été conçues pour ces humidités.



**Figure 3 : rendement sur pci d'une chaudière en fonction de l'humidité**

Par contre les coûts logistiques augmentent du fait du poids d'eau transportée. La question se résume alors à une optimisation de la chaîne : un séchage préalable est-il rentabilisé par un coût de transport plus faible ? (voir § 5.2.2).

En gazéification l'humidité n'est pas favorable. D'où la nécessité soit d'un séchage préalable, soit d'une technologie qui prévoit une phase de séchage préliminaire. Si le séchage est envisagé la question suivante est celui de la localisation en fonction des disponibilités en temps, en espace, en énergie.

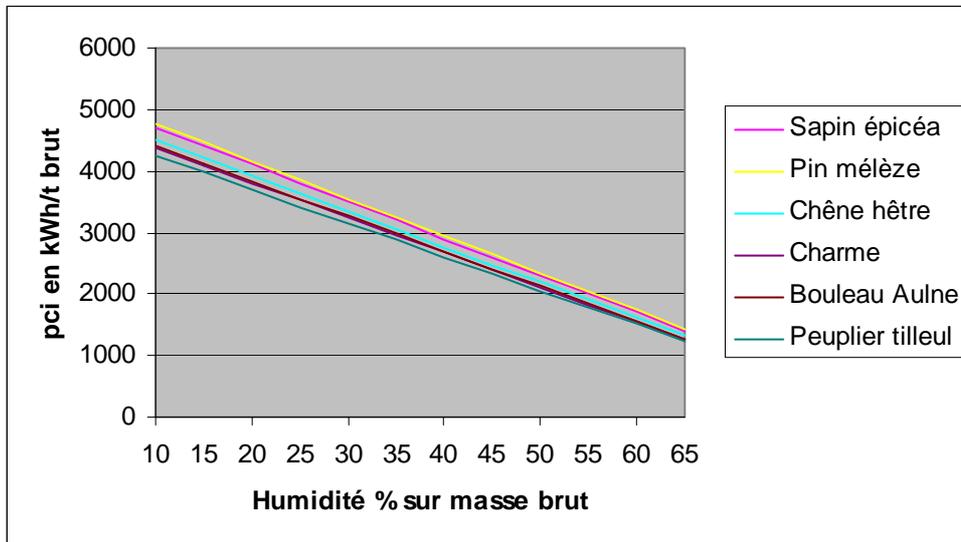
##### 13.1.2. PCI

Il est essentiellement déterminé par l'humidité de la biomasse donc il est d'un deuxième ordre de pertinence pour différencier les déchets. Il est cependant examiné ici pour identifier comment il joue.

Entre 2 essences de bois le PCI anhydre ne varie que de 5 %. Par contre il varie en fonction de l'humidité de manière à peu près linéaire suivant la formule :  $pci = - 57,76 H + 5080$  avec H exprimé en % et PCI en kWh/t.

- PCI : < 1 500 kcal/kg, l'autocombustion est difficile. Il s'agit surtout de déchets très humides (H > 80 %) ; destination privilégiée : méthanisation. La combustion ou la gazéification nécessitent un séchage préalable.

- PCI compris entre 1 500 et 3 000 kcal/kg. La température de flamme en combustion est relativement faible ; il n'y a pas de risque de formation de lave même si les déchets ont une forte teneur en minéraux donc pas de protection spécifique du foyer.
- PCI supérieur à 3 000 kcal/kg. La température de flamme peut atteindre 1 800 °C. Il y a un risque de formation de laves en combustion. Nécessité de foyer spéciaux munis de réfractaires spécifiques ou combustion en suspension.



**Figure 4 : courbes de variation du PCI du bois en fonction de l'humidité**

### 13.1.3. Composition chimique

#### 13.1.3.1. Différentiation réglementaire, non dangereux/dangereux

La composition chimique permet d'établir en toute rigueur la catégorie des déchets (assimilé à un combustible, non dangereux, dangereux). Cela entraîne des obligations sur la conception et l'exploitation des installations d'incinération rappelées au § 12.4 ci-dessus. S'il s'agit de déchets dangereux ayant une teneur en substances organiques halogénées, exprimée en chlore, supérieure à 1 %, la température doit être amenée à 1 100 °C pendant au moins deux secondes.

#### 13.1.3.2. Déchets non dangereux

##### Concentration en métaux alcalins

En combustion ils provoquent un abaissement de la température de fusion des cendres. Dans le cas de production de vapeur à haute température, une couche de cendres fondue peut se déposer sur les surfaces de la chaudière et sur la sole du foyer. Cette couche est corrosive et entraîne un bouchage progressif de la chaudière.

##### Production de cendres

Par MWh produit la production de cendre peut varier de 1 à 10 suivant les déchets. Cela exige des systèmes spécifiques d'évacuation. Le coût de stockage des déchets ultimes est augmenté en proportion

##### Concentration en métaux lourds

Dans le cas de biomasse ayant une teneur relativement plus élevée en métaux lourds, il est recommandé de ne pas mélanger les cendres volantes récupérées sur les filtres

électrostatiques avec les cendres du foyer. Les premières contiennent la majeure partie des métaux lourds. Les deuxièmes peuvent être valorisées pour l'agriculture.

#### Teneur en chlore et autres halogènes

Dans les grandes installations de cogénération à haut rendement le chlore entraîne la corrosion des alliages d'acier réfractaire nécessaires à la tenue des surchauffeurs à haute température (500 à 700 °C). Dans les installations de plus petite taille, à rendement plus faible avec des températures de vapeur inférieures à 350 °C l'acier au carbone résiste à la corrosion par les fumées. Le chlore se retrouve sous forme de gaz chlorhydrique qui est neutralisé dans les systèmes de traitement des gaz de combustion.

#### Teneur en azote

Dans les grandes installations de cogénération à haut rendement, avec des températures supérieures à 1 000 °C, il se forme des NO<sub>x</sub> « thermiques » avec l'azote de l'air. L'apport supplémentaire en azote par les déchets ne change pas le problème intrinsèque du traitement des gaz de combustion.

Dans les petites et moyennes installations, avec un foyer à une température inférieure à 1 000, il n'y a pas de formation de NO<sub>x</sub> thermiques. C'est le cas en particulier des foyers à lits fluidisés. Mais il peut se former des NO<sub>x</sub> chimiques à partir de l'azote contenu dans les déchets. Environ 50 % de l'azote du combustible se retrouve sous forme de NO<sub>x</sub> dans les gaz. Un traitement peut être nécessaire au dessus d'une certaine teneur en azote dans les déchets. C'est le cas de la paille.

Le traitement non catalytique des NO<sub>x</sub> par injection d'ammoniac pulvérisée à faible concentration entraîne une baisse de rendement de l'installation.

En gazéification il n'y pas de production de NO<sub>x</sub> dans le syngas mais ils se forment dans les moteurs. Un traitement catalytique peut être nécessaire.

En méthanisation le rapport C/N doit être maintenu aux environs de 30. Trop d'azote engendrera la production d'ammoniac dans le gaz ; une quantité insuffisante limitera le renouvellement des bactéries donc le rendement de l'installation. Pour assurer ce ratio il peut être nécessaire de mélanger des déchets de caractéristiques différentes

#### 13.1.4. Granulométrie

En combustion la granulométrie dépend du foyer et du système d'alimentation.

- Les tuyères nécessitent un broyage très fin pour injection et combustion très rapide en suspension dans le foyer.
- Les lits fluidisés nécessitent également un broyage, cependant moins fin.
- Les fours à grille acceptent des granulométries très variées. Le broyage est cependant en général nécessaire pour l'alimentation, souvent par vis sans fin. Mais il existe des alimentations gravitaires à partir de trémies chargées par pont roulant. Dans ce cas aucun broyage n'est nécessaire.
- Les fours tournant sont les plus flexibles, mais le rendement de production de vapeur n'est que de 50 %.

En gazéification le broyage est indispensable pour permettre un développement des réactions de manière à peu près conforme à ce qui est attendu par la théorie.

En méthanisation l'attaque par les bactéries nécessite une granulométrie suffisamment fine qui peut nécessiter un broyage, par exemple dans le cas de déchets solides de l'industrie du bois.

### 13.1.5. Homogénéité du flux de déchets et variabilité des caractéristiques

Une combustion complète nécessite des déchets de caractéristiques à peu près constantes, essentiellement granulométrie et humidité. Le mélange conforme aux spécifications est en général assuré au moment du chargement des camions sur des plateformes de préparation de déchets, au moyen de chargeur à godets, à partir de stocks de différents produits.

Les poussières nécessitent des systèmes de stockage et manutention spécifiques pour prévenir des émissions dans l'atmosphère. Donc elles doivent être éliminées de l'approvisionnement.

La gazéification et la méthanisation nécessitent des flux aussi homogènes que possibles pour que les réactions se passent comme prévues. Dans ce cas un système d'homogénéisation peut être nécessaire si l'alimentation du réacteur se fait à partir de flux de déchets différents.

### 13.2. Critères de disponibilité

La disponibilité des déchets doit se juger du point de vue de la taille efficace des installations. Les meilleurs rendements en énergie électrique sont obtenus pour les plus grandes installations de combustion, près du double des installations de taille moyenne que ce soit en gazéification ou en combustion. Cela exige la combinaison de biomasse avec d'autres combustibles car la disponibilité en biomasse à des distances de transport acceptable est insuffisante pour assurer des coûts logistiques compétitifs.

Cependant il est envisageable de compléter la biomasse française par de la biomasse importée, par exemple sous forme de pellets de bois torréfié (voir § 14.2) issue de plantations dans des zones à croissance rapide. La contractualisation de cet approvisionnement peut être moins risqué que la contractualisation d'un approvisionnement trop imprtant à partir de la France. Cependant les aspects environnementaux et socio-économiques doivent également être pris en compte.

### 13.3. Critères relatifs aux opérations logistiques

La logistique comprend les opérations obligatoires suivantes : collecte, chargement, transport, stockage. Les déchets se différencient du point de vue de ces opérations obligatoires par le coût de ces dernières.

#### 13.3.1. Les critères relatifs à la collecte

##### 13.3.1.1. Les conditions géographiques de la collecte

On entend par collecte la mise en bord de route du déchet, prêt pour le chargement sur un camion. Ce critère est pertinent pour les déchets de la sylviculture.

Le coût de base de la mise bord de route de bois en rondins peut être estimé à 20 € en moyenne par tonne. Il s'agit de terrains relativement plats susceptibles d'accepter des engins de débardage. Mais une partie de la ressource en bois se trouve dans des zones de montagne où ce type de débardage n'est pas possible ou dans des zones mal desservies en pistes de débardage et en routes, ce qui entraîne des augmentations de distance. Les inventaires forestiers fournissent des évaluations de volumes disponibles en fonction de ces deux critères. Les opérateurs locaux sont capables d'évaluer les coûts de collecte correspondant. Ils peuvent être le double du coût de base ci-dessus. Ce coût exclut de pouvoir collecter une partie des gisements théoriquement disponibles.

Les déchets de l'agriculture sont produits dans des champs accessibles, avec éventuellement un transport entre le champ et la route si le camion n'est pas à distance raisonnable pour un chargeur. Un coût standard est facilement déterminé pour ces déchets.

Pour tous les autres déchets les conditions géographiques ne modifient pas le coût de la collecte.

#### 13.3.1.2. La dispersion géographique

Son corollaire est la concentration du déchet sur les lieux de la production.

Ce critère est discriminant pour les tontes et élagages des ménages. En effet il s'agit de très petits volumes unitaires mais qui nécessitent une gestion séparée de ce flux dans le flux total des déchets ménagers. C'est le facteur principal de limitation des quantités.

La ressource forestière française est très dispersée sur de petits chantiers d'exploitation ce qui entraîne des coûts d'acheminement des matériels

#### 13.3.1.3. La forme physique présentée par le déchet et les conditions de production

Les déchets de l'industrie sont les plus faciles à collecter. Ils sont en général mis en silos ou sur des aires de stockage adaptées à leur reprise pour un chargement de camions complets.

Les déchets de récolte de pailles et autres nécessitent une opération particulière de ramassage et mise en balles, bien connue. Il existe des coûts standards pour tous ces déchets.

Le coût de ramassage des déchets de la sylviculture est très variable suivant les produits. Des études de logistiques avec des moyens spécifiquement conçus ont été réalisés en Scandinavie pour récupérer les produits tels que les rémanents ou les souches. Ces moyens combinent le ramassage, le fagotage et/ou le broyage en plaquettes prêtes à l'emploi dans des chaudières.

Les chablis doivent supporter des surcoûts de collecte car la récolte n'est pas facilement mécanisable.

La récolte des sarments de vigne de manière industrielle n'a pas été encore tentée.

#### 13.3.2. Le tri

La collecte des déchets d'origine végétale des ménages et de chantiers nécessitent un tri pour les isoler. ( Voir § 7.3). Ce tri permet de séparer éventuellement les déchets dangereux.

#### 13.3.3. Les critères relatifs au transport

##### 13.3.3.1. Foisonnement ou densité apparente du déchet

Ce critère n'est pas discriminant car tous les déchets foisonnant sont compactés dès le début de la chaîne logistique, au plus près de la collecte, pour que les camions soient chargés au maximum de leur charge utile. C'est le cas de la mise en balle des pailles, du fagotage des rémanents, du broyage des dosses et délignures de scieries, etc. Le coût du compactage est compris dans le coût de la collecte.

##### 13.3.3.2. PCI par tonne transportée

Il varie en fonction de l'humidité dans des proportions qui vont du simple au triple, ce qui entraîne une variation des coûts de transport dans les mêmes proportions. Des opérations de préparation des déchets peuvent augmenter le PCI. Il s'agit du séchage, de la torréfaction, de la pyrolyse (voir § 6). Elles peuvent également contribuer à améliorer la qualité du déchet pour sa combustion, Mais elles ajoutent un coût fixe qui ne peut être amorti que dans le cas de longues distances et dans des technologies particulières comme par exemple la cocombustion du bois dans des très grandes centrales avec du charbon (voir § 3.3 ci-dessus).

##### 13.3.3.3. Les moyens de transport

Pour les gisements français de déchets, 3 moyens sont envisageables : des camions de 35 t de PTC, des wagons isolés et des trains complets. Les tarifs sont les mêmes quelque soit les déchets mais tous les déchets ne peuvent pas utiliser les mêmes moyens. Cela ne dépend

pas de la nature du déchet mais des conditions de sa mise à disposition. Le camion est le plus flexible mais le plus cher et le plus polluant. Le train complet est envisageable pour des grandes installations de cogénération, comme il l'a été pour les papeteries. Ce moyen contribue à rapprocher ces installations de leur ressource. Le wagon isolé est aussi cher que le camion

#### 13.3.3.4. Possibilité de fret retour

Certains déchets peuvent entrer dans un schéma logistique plus global qui assure des frets retour. C'est le cas pour le bois transporté par des fournisseurs spécialisés. Il divise le coût du fret et l'impact environnemental par 2 environ.

#### 13.3.4. Les critères relatifs au chargement

##### 13.3.4.1. Présentation physique du produit

C'est un paramètre de deuxième ordre d'importance, car les systèmes de chargement ont à peu près la même efficacité quel que soit le produit, dès l'instant qu'il est compacté.

##### 13.3.4.2. Stockage tampon en silo

Les produits semi-fluides, c'est-à-dire broyés, peuvent être stockés dans des silos et chargés gravitairement dans des camions. C'est le cas des produits de l'industrie, du bois par exemple.

#### 13.4. Les critères relatifs au stockage

##### 13.4.1. Saisonnalité de la récolte

Les déchets de l'agriculture (paille, sarments, etc.) sont récoltés une fois par an pendant une période de quelques semaines. Il faut donc prévoir une surface de stockage correspondant à un an de production. C'est un coût élevé pour une grande installation de cogénération.

##### 13.4.2. Constitution d'un stock tampon commercial

Pour les déchets de la sylviculture, c'est une nécessité. En effet les propriétaires ne sont pas obligés de vendre le bois alors que l'installation doit fonctionner tous les jours pour répondre à la demande en énergie. On a coutume de dire que les propriétaires « font les volumes » et les industriels « font les prix ». Pour enlever aux propriétaires un pouvoir de négociation trop fort en jouant sur les volumes mis en vente, les acheteurs doivent constituer un stockage (depuis le bois sur pied jusqu'aux stocks rendu usine) pouvant représentant plus d'un an de production. Ce stockage est constitué à plusieurs endroits de la chaîne logistique : parterre de coupe, bord de route, sur plateforme de conditionnement. Il est imbriqué avec le séchage (voir § 4.2.2 ci-dessus) et avec le broyage.

##### 13.4.3. Conditions de stockage

Les déchets sont stockés à l'air libre en général ou sous abri, la paille par exemple, ce qui exige un coût supplémentaire. Tous les déchets d'origine végétale sont plus ou moins humides, ce qui facilite leur dégradation biologique. Il peut s'en suivre une augmentation de température et des risques d'incendie.

## 14. Les techniques de préparation des déchets

Pour limiter les coûts logistiques (§ 5 ci-dessus) et pour mettre les déchets aux spécifications des installations de production d'énergie (§ 3 ci-dessus) il est envisageable de réaliser des opérations intermédiaires de préparation des déchets. Deux techniques principales sont examinées ici : la pyrolyse rapide et la torréfaction.

### 14.1. Pyrolyse rapide

#### 14.1.1. Caractéristiques de la technique

##### Principe général

La pyrolyse produit du liquide et du solide qui ont un haut pouvoir calorifique et peuvent être transportés. Le schéma du procédé est le suivant (une des variantes possibles):

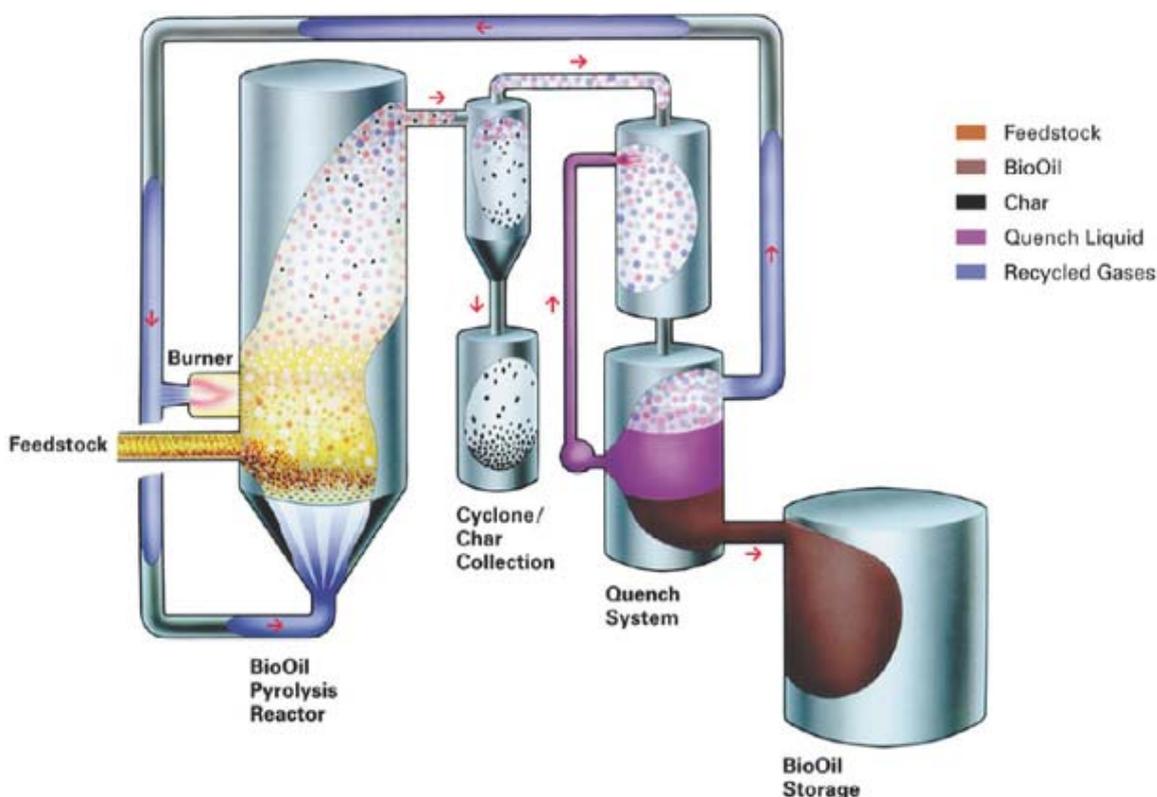


Figure 5 : schéma du procédé Dynamotive

Les déchets doivent être broyés assez finement et séchés à moins de 10 % d'eau pour une montée en température et une vaporisation rapide permettant d'obtenir le maximum d'huiles et de minimiser la production de charbon et de gaz. La matière entre dans un réacteur à lit fluidisé bouillonnant (dans le cas du procédé Dynamotive), chauffé à 450 °C en absence d'oxygène. La vaporisation est immédiate. Les poussières et le charbon sont séparés du gaz dans un cyclone et le gaz est ensuite quenché pour se condenser en huiles. Cette opération est assurée par les huiles refroidies obtenues auparavant. Les gaz incondensables sont renvoyés dans le four où ils produisent par combustion environ 75 % de l'énergie nécessaire pour chauffer les déchets. Les productions sont les suivantes :

- Charbon : 15 à 20 %
- Gaz incondensables : 10 à 20 %

- Huiles : 60 à 75 % (maximum 72 % pour le bois hors écorces et 65 % pour les déchets herbacés)

#### Variantes du procédé

Elles se distinguent par :

- Le type de réacteur : Lit fluidisé bouillonnant ou circulant, cône rotatif, ablative reactor ; ils ont des contraintes différentes sur la granulométrie des déchets
- Le mode de chauffage des déchets (avec le charbon ou avec le gaz de la pyrolyse)
- Les proportions de gaz, charbon et huiles obtenues

#### Facteurs limitant principaux

- la production de 3 combustibles différents
  - Les huiles sont analogues à un fuel N°2. Elles peuvent être utilisées dans des chaudières moyennant certaines adaptations ; un test expérimental a montré que ce carburant pouvait être utilisé dans une turbine du type réacteur d'avion avec un rendement de 30 à 40 % ; l'utilisation dans des moteurs est impossible actuellement en raison de leur teneur en poussières
  - Le gaz doit être utilisé sur place s'il n'est pas utilisé pour le chauffage et le séchage des déchets
  - Le charbon est utilisable pour l'énergie. Il peut être utilisé en amendement agricole. L'argument est qu'il fixe le carbone tout en ayant un rôle fertilisant
- le séchage préalable dont l'énergie nécessaire n'est pas comprise dans les données ci-dessus

#### 14.1.2. Contraintes sur les déchets

- Broyage fin de la matière pour une montée en température rapide permettant d'obtenir le maximum d'huiles et de minimiser la production de charbon et de gaz.
- Plutôt des déchets cellulosiques, par exemple la paille, qui produisent plus d'huiles que le bois dont la lignine contribue à la production de charbon. Mais la paille produit plus de cendres que le bois.

#### 14.1.3. Stade de développement de la technique

Dynamotive au Canada exploite deux unités de tailles commerciales en Ontario (capacité nominales : 130 et 200 t/j de biomasse).

Ensyn, au Canada, a construit plusieurs usines dont la plus importante (100 t/j de déchets secs) est exploitée à Renfrew en Ontario.

BTG, en Hollande propose de gazéifier les déchets dans un réacteur à cône rotatif où ils sont mélangés à du sable chauffé préalablement dans un four avec le charbon de la pyrolyse. Dans ce cas l'objectif est de produire des gaz utilisables sur place, en théorie dans un moteur à gaz ou dans une chaudière.

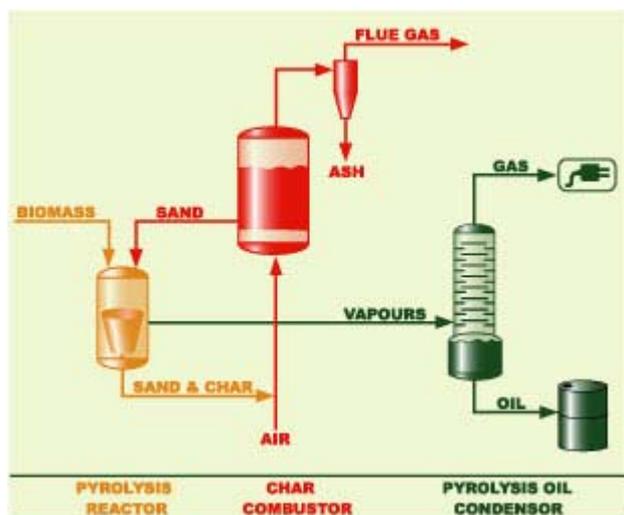


Figure 6 : schéma du procédé BTG

Les recherches en cours portent sur l'utilisation des huiles dans des moteurs ou des turbines.

#### 14.1.4. Place de la pyrolyse dans la valorisation des déchets végétaux

Le coût de la pyrolyse est compris entre 75 et 100 €/t.

Les huiles peuvent être gazéifiées avec des systèmes d'alimentation assez simples. Elles peuvent être à l'origine de la production de biocarburants.

En combustion elles doivent au préalable être filtrées, chauffées pour diminuer la viscosité.

Pour les différentes techniques de production d'énergie examinées dans cette étude à partir des déchets français la pyrolyse ne semble pas avoir d'intérêt particulier.

### 14.2. Torréfaction

#### 14.2.1. Caractéristiques de la technique

La torréfaction consiste à chauffer jusqu'à 270 °C les matières organiques en l'absence d'oxygène, à pression atmosphérique. Il y a perte d'eau et de l'hygroscopicité. La matière devient très friable. La majeure partie du PCI (95 %) est conservée. Les composants les plus volatils s'échappent et sont récupérés pour fournir la chaleur nécessaire au processus.

Au-delà de 270 °C en l'absence d'oxygène les réactions sont exothermiques et conduisent à la carbonisation ou pyrolyse (cf la variante pyrolyse rapide au § 5.1 ci-dessus). Les déchets perdent une grande partie de leur pouvoir calorifique. Au dessus de 700 °C il s'agit de gazéification (cf. § 3.4).

#### 14.2.2. Etat de la technique

Pechiney a construit et exploité une unité dans le Lot, dans les années 80. L'objectif était de produire un réducteur pour la métallurgie. Les enseignements tirés de cette expérience ont servis à définir les concepts techniques ci-dessus.

Deux usines en exploitation en Belgique produisent 38 000 t et 90 000 t respectivement.

## ECN directly heated torrefaction technology

### Features:

- High energy efficiency (> 90%)
- Heat integration
- Conventional drying and pelletisation
- Compact moving bed technology
- Cost effective

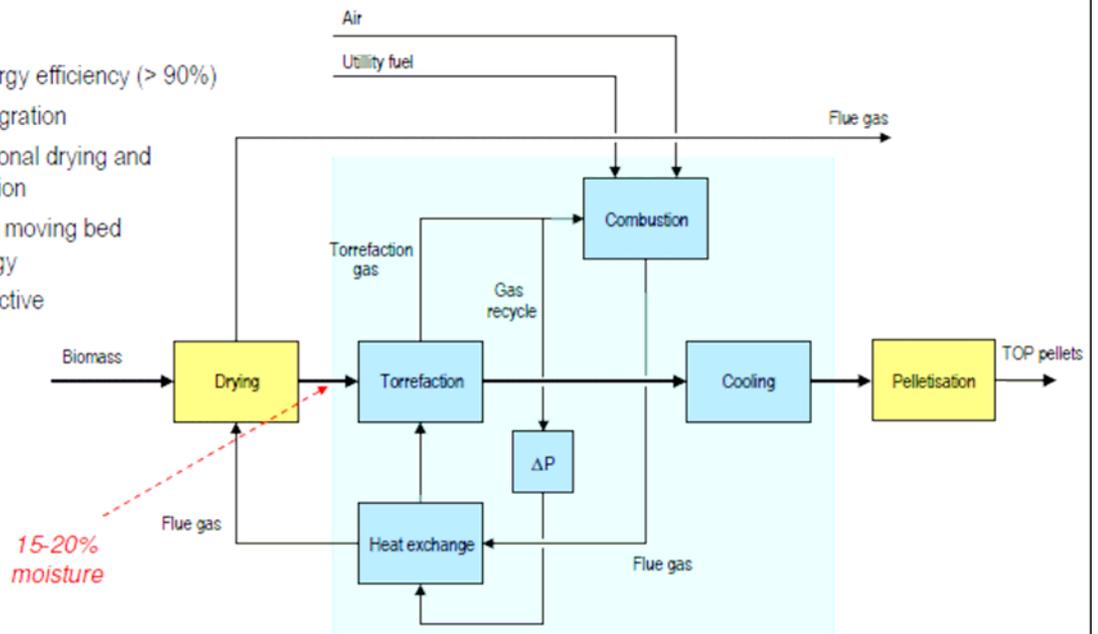


Figure 7 : Schéma de la technologie (source ECN)

### 14.2.3. Place de la torréfaction dans une chaîne de valorisation de déchets

La taille efficace d'une ligne de torréfaction est de 60 000 t/a. Le coût complet de l'opération de torréfaction (hors coût de la matière) est de 40 à 56 €/t.

La torréfaction a deux avantages : limitation des coûts de transports et facilitation de la production d'énergie, en combustion comme en gazéification.

La torréfaction augmente le PCI qui passe de 10 MJ/kg (cas de bois humide par exemple) à plus de 20 MJ/kg. La pelletisation permet de compacter le produit torréfié pour obtenir une densité égale à celle du bois et ainsi utiliser toute la charge utile des moyens de transport. Elle nécessite peu d'énergie au contraire des pellets de bois bruts.

Le bois torréfié peut être broyé avec très peu d'énergie ; l'intérêt de la torréfaction est d'autant plus important que la granulométrie exigée est faible. Il peut être utilisé en mélange avec d'autres combustibles sur les très grosses unités de cogénération à haut rendement en pulvérisation pour une combustion en suspension. Sa réactivité plus grande que les meilleurs charbons lui donne un intérêt particulier dans la régulation de fonctionnement des grandes centrales de production d'énergie.

En pellets il peut être utilisé par les petites chaudières de collectivité ou par les particuliers.

Properties	unit	Wood	Torrefied biomass	Wood pellets		TOP pellets	
				low	high	low	high
Moisture content	% wt	35	3	7	10	1	5
Caloric value (LHV)							
dry	MJ/kg	17.7	20.4	17.7	17.7	20.4	22.7
as received	MJ/kg	10.5	19.9	15.6	16.2	19.9	21.6
Mass density (bulk)	kg/m <sup>3</sup>	550	230	500	650	750	850
Energy density (bulk)	GJ/m <sup>3</sup>	5.8	4.6	7.8	10.5	14.9	18.4
Pellet strength		-	-	Good		Very good	
Dust formation		Moderate	High	Limited		Limited	
Hygroscopic nature		Water uptake	Hydrophobic	Swelling / Water uptake		Limited swelling / Hydrophobic	
Biological degradation		Possible	Impossible	Possible		Impossible	
Seasonal influences (noticeable for end-user)		High	Poor	Moderate		Poor	
Handling properties		Normal	Normal	Good		Good	

**Tableau 41 : Comparaison pellets de bois torréfié et pellets de bois bruts (source ECN)**

#### 14.3. Cas particulier des déchets dangereux

Le procédé Chartherm consiste à séparer les contaminants du déchet et à garantir la fourniture d'un combustible propre. Le bois est chauffé, en atmosphère réductrice, à 370 °C, entre torréfaction et pyrolyse. Les gaz contiennent l'essentiel de la pollution organique et sont incinérés. Le charbon obtenu est séparé de la partie métallique des déchets et peut-être vendu comme combustible, sous réserve de l'avis favorable de l'Administration compétente.

Une installation industrielle de démonstration devrait être construite prochainement.

#### 15. Pertinence des opérations de préparation des déchets

La majorité des installations exigent une préparation des déchets spécifiques. Le seul degré de liberté pour optimiser la conception du système sera la localisation de cette opération dans la chaîne de mise à disposition du déchet et la taille des installations. Pour d'autres installations la préparation sera destinée à diminuer les coûts logistiques.

Ce paragraphe fournit les critères d'appréciation de la pertinence d'une opération de préparation.

##### 15.1. Augmentation du pouvoir calorifique

Ce n'est indispensable que pour des déchets très humides en combustion. Mais pour ceux-là, la méthanisation semble l'installation de premier choix. En gazéification le séchage utilisant la chaleur latente des gaz peut être intéressant si les déchets sont trop humides

Le séchage à l'air du bois, souvent lié au stockage (voir § 4.4) est un coût masqué. Il est couramment pratiqué par les fournisseurs de bois énergie.

Le séchage artificiel peut être utilisé sur le site de cogénération avec la chaleur en général en excédent. Le coût variable de l'énergie peut donc être considéré comme nul s'il n'y a pas d'autres utilisations possibles de cette chaleur.

La torréfaction améliore la combustion et diminue les coûts de transport. Mais c'est un coût fixe élevé qui ne peut se justifier que dans le cas de distances de transport importantes ou

pour préparer un combustible dans le cas des grandes installations de co-combustion avec le charbon.

La pyrolyse s'avère moins intéressante que la torréfaction dans cette fonction d'augmentation du PCI.

#### 15.2. Homogénéisation

Il peut être intéressant de limiter les distances de transport en acceptant la diversité des déchets disponibles à proximité d'une installation. Comme les installations fonctionnent mieux quand l'humidité est à peu près constante dans le temps, il est nécessaire d'homogénéiser la livraison. Ceci est vrai de la combustion et de la gazéification.

Dans le cas du bois cette opération se fait sur des plateformes de conditionnement ou les différences sources de déchets secs (déchets de menuiserie, déchets d'emballage non contaminés) et humides (déchets de scierie, déchets de la sylviculture) sont broyés et mélangés au moment du chargement des camions. Le fournisseur garantit la granulométrie et l'humidité moyenne de la livraison.

Dans le cas des grandes installations de production d'énergie l'homogénéisation (à la suite du séchage) est moins coûteuse sur le site même.

#### 15.3. Tri

Les déchets d'origine végétale issus des ménages ou des chantiers se trouvent mélangés à d'autres déchets qu'il faut séparer (voir la première partie de l'étude sur les gisements). Les centres de tri ont des tailles efficaces inférieures aux tailles des installations de production d'énergie, ce qui permet de les situer dans la chaîne logistique au barycentre des sources de déchets et de ne transporter que la partie convenable.

Cette opération est encore insuffisamment répandue. La majorité de ces déchets est donc pour l'heure incinérée alors que les coûts de production du kWh dans des installations de combustion ou en méthanisation pour les déchets d'origine végétale sont plus compétitifs.

#### 15.4. Broyage

Cette opération est obligatoire pour toutes les installations, sauf peut-être pour des foyers à grille alimentés par pont roulant. Elle est moins coûteuse sur le site des grandes installations sous réserve que le transport des déchets à l'état brut ne soit pas lui-même plus coûteux. Auquel cas le broyage doit être effectué au plus près de la source. C'est un des schémas logistiques adoptés pour les déchets de sylviculture qui sont broyés sur le parterre de coupe ou en bord de route.

Dans le cas des installations de chauffage des collectivités, la place fait souvent défaut. Dans ce cas le bois est livré broyé.