

Short Rotation Woody Crops (SRC) plantations for local supply chains and heat use

Project No: IEE/13/574



# ***Report on training events for small and medium users of woodchips in Brittany***

***WP 5 – D 5.3***

**June 2016**



Authors: Jacques Bernard, AILE  
Aurélie Leplus, AILE

Editor : Marc Le Treis, AILE

Contact: AILE  
Aurélie Leplus - Email: [aurelie.leplus@aile.asso.fr](mailto:aurelie.leplus@aile.asso.fr),  
Jacques Bernard - Email: [jacques.bernard@aile.asso.fr](mailto:jacques.bernard@aile.asso.fr)  
Marc Le Treis - Email : [marc.le-treis@aile.asso.fr](mailto:marc.le-treis@aile.asso.fr)  
73 rue de Saint Brieuc – CS 56520 – F35065 RENNES Cedex – France  
Tél +33 2 99 54 63 23  
[www.aile.asso.fr](http://www.aile.asso.fr) - @aileagence

The SRCplus project (Short Rotation Woody Crops (SRC) plantations for local supply chains and heat use) is supported by the European Commission in the Intelligent Energy for Europe Programme. The sole responsibility for the content of this report lies with the authors. It does not necessarily reflect the opinion of the European Union. Neither the EASME nor the European Commission are responsible for any use that may be made of the information contained therein. The SRCplus project duration is March 2014 to April 2017 (Contract number: IEE/13/574).

SRCplus website: [www.srcplus.eu](http://www.srcplus.eu)



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

# Contents

<b>1</b>	<b><i>Introduction</i></b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b><i>Overview of training events</i></b>	<b>4</b>
2.1	Summary	4
2.2	Feedback from participants	4
<b>3</b>	<b><i>Wood supplier event</i></b>	<b>4</b>
3.1	Basic information	4
3.2	Topics of the training event:	4
3.3	Short summary: (goals, programme, feedback)	4
3.4	Event agenda (invitation and programme)	5
3.5	List of participants	5
<b>4</b>	<b><i>Training event for small and medium users of woodchips</i></b>	<b>5</b>
4.1	Basic information	5
4.2	Topics of the training event:	5
4.3	Short summary: (goals, programme, feedback)	5
4.4	Event agenda (invitation and programme)	5
4.5	List of participants	5
4.6	Event photos	5
4.7	Others (media reports: newspapers, web page)	5
<b>5</b>	<b><i>Material used in training activities</i></b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b><i>Annexes</i></b>	<b>7</b>

# 1 Introduction

**Table 1: Training events for farmers in Brittany / France**

Location	Date	Number of participants	Number of received questionnaires
Lorient (Morbihan)	13/01/2016	3 participants	–
Plouaret (Côtes d'Armor)	10/05/2016	16 participants	16

## 2 Overview of training events

### 2.1 Summary

Two trainings have been organised in Brittany, a first one for a woodchips supplier and a second one organised for small and medium users of wood chips (maintenance agents).

Both trainings were dedicated to woodchip production and quality. SRC production chain, characteristics and costs were presented and compared to woodchips from forest.

### 2.2 Feedback from participants

Woodchips supplier appreciated to have a global overview on sources of woodchips and production chains including SRC production. They were surprised about the good characteristics of woodchips from SRC. For them, SRC provide a complement to supply boiler plants.

Maintenance agents appreciated to learn about wood characteristics to improve the boiler fittings. They didn't know SRC production and were interested to visit SRC plantations.

## 3 Training event for a wood supplier

### 3.1 Basic information

Location/ Country: France	Partner. AILE	No. of event: 1
No. of participants:3	Place: Lorient	Date: 13.01.2016
Target groups: woodchips supplier		

### 3.2 Topics of the training event:

Sources of woodchips production (industrial wood, forestry wood, hedges...)

Special focus on SRC production

The production chain: harvest, crushing, screening, drying

Wood quality: characterization and measurement methods (practical)

SRC production costs compared to wood chips

### 3.3 Short summary: (goals, programme, feedback)

The event was organised for maintenance agents operating small and medium woodboilers. The first day, organised within the SRCplus project, was dedicated to woodchip production

and quality. SRC production chain, characteristics and costs were presented and compared to woodchips from forest.

### **3.4 Event agenda (invitation and programme)**

Training agenda in Annex

### **3.5 List of participants**

3 participants

## **4 Training event for small and medium users of woodchips**

### **4.1 Basic information**

Location/ Country: France	Partner. AILE	No. of event: 1
No. of participants:16	Place: Plouaret	Date: 10.05.2016
Target groups: small and medium users of woodchips		

### **4.2 Topics of the training event:**

Sources of woodchips production (industrial wood, forestry wood, hedges...)

Special focus on SRC production

The production chain: harvest, crushing, screening, drying

Wood quality: characterization and measurement methods (practical)

SRC production costs compared to wood chips

### **4.3 Short summary: (goals, programme, feedback)**

The event was organised for maintenance agents operating small and medium woodboilers. The first day, organised within the SRCplus project, was dedicated to woodchip production and quality. SRC production chain, characteristics and costs were presented and compared to woodchips from forest.

### **4.4 Event agenda (invitation and programme)**

Invitation with programme in Annex.

### **4.5 List of participants**

Participants list in Annex and copies of training certificates.

### **4.6 Event photos**

Photos in Annex.

### **4.7 Others (media reports: newspapers, web page)**

AILE's webpage

## 5 Material used in training activities

Table 2: List of material used in training activities

Type of material	Format	Author(s)	Editor(s)	Year	Title	Topics
Handbook	electronic	Dimitriou I and Rutz, D.	WIP	2014	Sustainable Short Rotation Coppice A Handbook	Handbook
Report	electronic	Merle S.	AILE	2007	Programme WILWATER Etude économique et potentiel de développement des TTCR	SRC economy
Report	electronic	Lepus A.	AILE	2007	Programme WILWATER - Bilan sur la culture des TTCR de saule	SRC crop
Report	electronic	Merle S. Lepus A.	AILE	2007	Programme WILWATER - Résumé stratégique	SRC development
Report	paper	N'Guyen E.	RMT Biomasse		Ligniguide – Guide d'aide au choix des cultures lignocellulosiques	SRC crop
Report	electronic	Le Treis M., Lepus A., Bernard J.	AILE	2014	Bilan du Plan bois énergie 2007-2013	Wood-energy sector in Brittany

## 6 Annexes

### Training event for a wood supplier

- Invitation
- Diaporama
- Training certificates.

### Training event for small and medium users of woodchips

- Invitation
- Diaporama
- Participants list
- Training certificates.
- Event photos à choisir
- AILE's webpage (si actu valorisable)



Structures organisatrices : AILE – Rennes

Formateur : Marc LE TREIS, AILE

Objectifs de la formation :

- Connaître l'origine des combustibles bois déchiqueté et leur mode de production : plaquettes forestières, TTCR et TCR, déchets d'emballage et de l'industrie, bois d'élagage
- Reconnaître et mesurer la qualité du combustible
- Mieux comprendre le fonctionnement d'une chaudière bois et l'articulation entre la qualité du combustible et la chaudière

Programme de la session, démarrage à 9h, fin à 17h :

Matinée :

**La qualité du combustible** : Rappel sur les caractéristiques d'un combustible bois déchiqueté

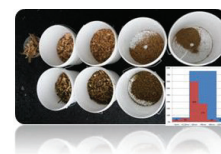
**Les paramètres de production influençant la qualité du bois déchiqueté** :

**Origine du bois** : plaquettes forestières, bocagères, TTCR et TCR...

**Chaîne de production** : récolte TTCR/coupe, broyage, criblage, séchage



**Comment évaluer la qualité de son combustible ?** Utilisation des référentiels normatifs et mise en pratique autour d'une mesure de granulométrie.



Après-midi :

**Principe de fonctionnement d'une chaufferie bois** : notions de rendement et d'adéquation combustible/chaudière.

**Les points de sensibilité d'une chaufferie bois** pouvant mettre en difficulté un fournisseur de bois énergie (fines, humidité)

**Impact de la qualité du bois sur le bilan économique d'une chaufferie bois** : coût de la chaleur, maintenance et durée de vie.







## FORMATION ADEQUATION COMBUSTIBLE – CHAUDIERE BOIS

-Nass & Wind Bois énergie- Sylveco –

Le 13 janvier 2016



### Objectif de la formation

- Connaître l'origine des combustibles bois déchiqueté et leur mode de production
- Reconnaître et mesurer la qualité du combustible
- Mieux comprendre le fonctionnement d'une chaudière bois et l'articulation entre la qualité du combustible et la chaudière

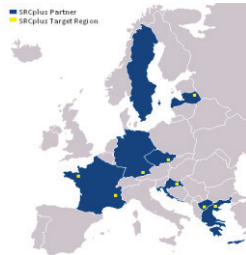


9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics

### Promouvoir les T(t)CR dans 9 régions européennes réparties dans 7 pays



- **Allemagne** : Bavière/Achental
- **Croatie** : Région Est
- **France** : Bretagne/Rhone-Alpes
- **Grèce** : Kentriki Makedonia
- **Lettonie** : Vidzeme
- **Macédoine** : Prespa
- **République Tchèque** : Zlin
- **Suède** (Pays référent)



9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics visés

### Inclure les T(t)CR dans une économie locale pour approvisionner des chaufferies bois



- **Valorisation de délaissés agricoles et autres dépendances vertes**
- **Protection de l'eau** : zone de captage, zone tampon, bande ligno-cellulosique
- **Epandage ou traitement tertiaire par irrigation** d'une zone végétalisée en aval d'une station d'épuration collective ou d'une unité de méthanisation agricole



9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics visés

### Former et informer sur l'intérêt de la culture en TCR / TtCR



- **Agriculteurs ,**
- **Collectivités et gestionnaires routiers ,**
- **Fournisseurs de bois et exploitants de chaufferies**
- **Autres prescripteurs :**
- **Bureaux d'études Assainissement,**
- **Animateurs bassin versant,**
- **Conseil en énergie partagée, Relais bois énergie**



### Origine des combustibles bois







**Plantation puis traitement antigerminatif**



**1 mois après la plantation**



**6 mois après la plantation**



**TTCR de saule de 1 an**

**Un entretien régulier : les deux années qui suivent chaque récolte**

**Broyage de l'allée de 1,5m**

En plus du broyage inter-rang, traiter si besoin avec un pulvérisateur à dos en localisé avec un produit débroussaillant. **RAPPEL** aucun débroussaillant n'est sélectif du saule.

La troisième année de pousse des saules il est plus difficile de rentrer dans la parcelle mais si la parcelle a été entretenue correctement, la pression adventice sera faible.




**Aile**  
Centre de Recherche et d'Innovation pour les Filières Agricoles de l'Est

**SRC+**  
Co-financé par le 1er Programme de l'Est



**TTCR de 2 à 4 ans entretenu correctement**



### Coûts d'implantation

Opération	Itinéraire de base	Optionnel
Préparation du sol : Destruction du couvert végétal / Labour / Travail superficiel du sol	250 €	
Amendement		100 €
Traitement antiparasitaire		90 €
Traitement antigerminatif (prélevée)	305 €	
Plantation	1 800 €	
Débroussaillage inter-rang	80 €	
Désherbage post levée en localisé inter-rang	140 à 320 €	
Recépage	60 €	
<b>Coût/ha sans aménagement</b>	<b>2 635 à 2815 €</b>	<b>190 €</b>
Entretien régulier de la plantation : broyage inter-rang et tournières	100€/an	



### La chaîne de production du bois énergie



### Récolte tige entière



### Récolte tige entière





### Coûts de récolte avec la Stemster tige entière



Actuellement avec peu d'ha implantés et éparpillés  
Récolte tiges entières = 700€/ha + 100€/hre  
Déchiquetage = 400€/ha à 800€/ha (200€/hre à 50m3/h)  
TOTAL = 1400€/ha à 1800€/ha (+100€/ha/an d'entretien)

#### Hypothèse économique sur la vente du bois en fonction des rendements

**basse** **haute**

- Production 8TMS/ha/an
  - Au bout de 3ans, 24TMS/ha
  - 32T à 25% d'humidité
  - Hors stockage/transport
  - Vente brute 55€/T,
  - TOTAL 1.760€/ha
- Production 12TMS/ha/an
  - Au bout de 3ans, 36TMS/ha
  - 48T à 25% d'humidité
  - Hors stockage/transport
  - Vente brute 55€/T,
  - TOTAL 2.640€/ha



### Autres outils de récolte développés par les constructeurs européens



- Systèmes de coupe avec un axe vertical (chaînes ou disques ou scies) ou horizontal (dents) + rotor de déchiquetage
  - Ensileuse automotrice
  - Ensileuse traînée frontale ou déportée
- Systèmes de broyage avec un axe horizontal actionnant des marteaux
  - Broyeur automoteur
  - Broyeur traîné



Ensileuses automotrices équipées avec des têtes de récolte spécifiques



Chantiers avec des remorques



### Des solutions à la marge : Broyeur forestier récupérateur

Quelle quantité de matière restée au sol ?  
Quelle quantité de sol prélevée par rapport au système de patin ?  
Qualité de la repousse ?

### Des solutions à la marge : Le biobaler

Évitez un chantier avec des remorques, mais que faire des balles ?  
Utilisation en four à charbon ?  
Quantité de matière restée au sol jusqu'à 30% si affûtage des marteaux n'est pas fait régulièrement.  
Qualité de la repousse ?

### Le déchetage

**SRC+**  
Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

### Le déchetage : exemples de machines

1 – Avec entraînement par prise de force, sur attelage 3 points ou tracté sur essieux, avec alimentation :

- manuelle
- par grappin annexe
- par grappin intégré

2 – Avec transmission directe sur camion porteur

4 – Automoteur

3 – Avec motorisation indépendante :

- sur camion porteur
- sur porteur forestier
- sur châssis à chenille :

### Paramètres influençant la qualité du déchetage (1/2) (source Raee, Aile)

- Le choix d'un broyeur dépend des conditions de travail, de la configuration et accessibilité des chantiers, de la nature des bois à broyer, des rendements attendus, de la dimension du produit souhaité
- vitesse de tapis et de rotor :
  - Garder une vitesse de rotation constante assure en partie la régularité de la granulométrie du combustible
  - Le réglage de la granulométrie peut être fait avec la vitesse d'avancement du bois (un procédé valable pour de petites productions)
- affûtage et réglage des couteaux :
  - A vitesse de rotation et à vitesse d'aménagement constantes, indépendamment de tout autre réglage, plus il y a de couteaux, plus le combustible est fin.
  - Pour les déchiqueteuses à disque : le réglage de l'écart entre le contre-couteau et le disque permet d'ajuster la granulométrie
- taille de grille de calibrage
  - Pour les déchiqueteuses à tambour, la maille de la grille joue en quelque sorte le rôle de tamis et d'éclateur et permet d'ajuster la granulométrie

**SRC+**  
Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

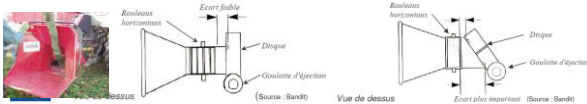


## Paramètres influençant la qualité du déchetage (2/2) (source Raee, Aile)

- Nature des bois à broyer (dimension et densité des bois)
  - Queues de déchetage : début et fin des petits bois (branches, délinures). Peu de risque sur une déchiqueteuse à tambour avec grille de caibrage. Risque plus important sur déchiqueteuse à disque en fonction du nombre de couteaux.
  - Pour réduire le risque de queue, le bois ne doit pas bouger lors de son introduction dans le broyeur : par exemple un rouleau horizontal permet de plaquer le bois contre le tapis et évite à des doses d'être fouettées par exemple.



- l'inclinaison, la longueur, la position (latérale ou frontale, de biais) et l'ouverture de la trémie sont adaptées à un type de bois



## Séchage de la plaquette : différentes performances en fonction des conditions



Température maximum du tas	Temps de rétention	Humidité sur brut finale
60 à 80°C	2 à 3 mois	40% bache agricole 35% sans bache 25 - 30% sous bache respirante 20 - 25% sous abri



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



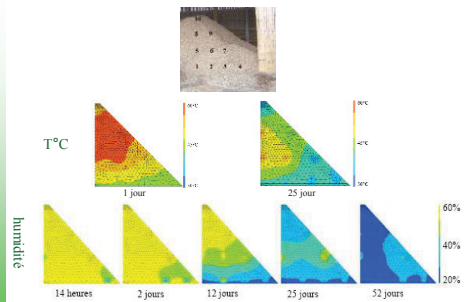
## Le Séchage



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Cinétique du séchage de la plaquette



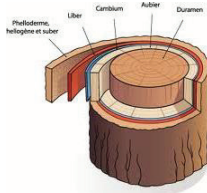
Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

- Le séchage se fait grâce à la production de chaleur et la migration de l'humidité vers l'extérieur. La chaleur s'accumule au cœur grâce à la faible ventilation et l'isolation du tas.



## Paramètres influençant le séchage

- Démarrage du processus de séchage
  - la température extérieure,
  - l'humidité initiale du bois,
  - la fraîcheur du bois avant broyage,
- Entretien du processus
  - la proportion d'écorce et de feuilles,
  - L'âge du bois,
  - La saison estivale,
- Efficacité du processus
  - le taux de compaction du tas,
  - la granulométrie,
  - le volume de bois amoncelé ou la hauteur du tas, (la pluviométrie).



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Criblage

- Crible stationnaire sur table vibrante (SEGEM)



Investissement 24k€  
Débit 15m<sup>3</sup>/h  
1 à 2€/m<sup>3</sup>  
(source Esat Glomel)



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union





## Criblage

- Crible stationnaire à étoiles de broyat après broyeur lent ou de déchiqueté sur crible



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Criblage

- Criblage de broyat après broyeur lent sur trommel (tambour)



Investissement 400k€  
Débit 35 à 200m<sup>3</sup>/h  
2,5€/m<sup>3</sup>



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Criblage

- Criblage de plaquette sur tambour (Carroy CBL)



Investissement 50k€  
Débit 20 à 50m<sup>3</sup>/h ?  
1,5 à 2 €/m<sup>3</sup> ?



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Criblage

- Godet cribleur monté sur télescopique



15 m<sup>3</sup>/h max  
(source Cuma de l'or noir à Cussac 87)

Autre exemple :



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Caractéristiques du combustible



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## CARACTERISTIQUES DU BOIS DECHIQUETE

### Composition chimique du bois

Composé de 3 fractions: organique, minérale, eau

- Fraction minérale: entre 0,5% et 1,5% de la masse anhydre: cendres
- Fraction organique: composition déterminante pour son contenu énergétique (résines, tanins, cellulose, lignine)

En moyenne, en % de la masse anhydre, la répartition est la suivante:

C	H	O	N
49 à 50	6	43 à 44	0,2 à 0,5

- Contient beaucoup d'oxygène et nécessite moins d'air que les énergies fossiles pour sa combustion
- Ne contient pas de soufre



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Caractérisation de l'humidité

- Définition :
  - Humidité sur masse brute H = masse d'eau contenue dans le bois / masse totale du bois
  - Humidité sur masse sèche E = masse d'eau contenue dans le bois / masse du bois sec
- La mesure :
  - Selon CEN/TS 14774, le minimum à tester est de 300 g ; cependant il est recommandé de tester une masse supérieure à 500 g, voire 1 à 2 kg lorsque la granulométrie est supérieure à 100 mm.
  - Référence : par déshydratation en étuve à une température comprise entre 103 et 107°C.



## Pouvoir calorifique du bois

- Pouvoir calorifique inférieur PCI (kWh/t):  
Énergie produite par la combustion d'un combustible donné (en ne prenant pas en compte la chaleur latente de vaporisation de l'eau)

$$\text{PCI bois anhydre} = 108 \times \text{C\%} - 60,5 \times \text{Humidité\%}$$

Varie entre 48 et 52% d'une essence à l'autre
Varie entre 8 et 60%

- L'humidité du bois est le facteur qui influence le plus le PCI
- PCI du bois anhydre = 5 000 kWh/t en moyenne
- PCI du Fioul = 10 000 kWh/t en moyenne



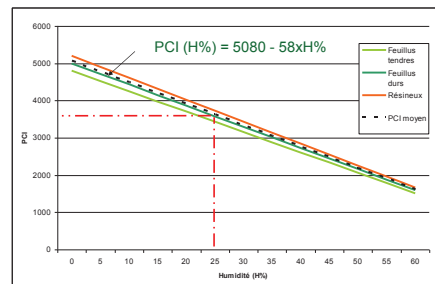
## Variations du PCI en fonction des essences de bois

- Sachant que la teneur en C, H, O et N varie selon les essences de bois → PCI varie
- En moyenne  
Feuillus: 4800 kWh/t à 5200 kWh/t  
Résineux: 5100 kWh/t à 5300 kWh/t (teneur en C plus élevée)

Essences	Etat anhydre H2O = 0% [kWh/kg]	Etat brut H2O = 25% [kWh/kg]
Chêne	4,93	3,52
Hêtre	4,87	3,45
Charme	4,95	3,54
Bouleau	5,24	3,75
Aulne	4,99	3,56
Orme	5,13	3,67
Erable	4,86	3,47
Frêne	4,94	3,53
Peuplier	4,80	3,42
Châtaignier	5,23	3,74
Cerisier	4,95	3,51
Sapin	5,37	3,85
Pin	5,32	3,81
Mélèze	5,19	3,71



## Variation du PCI en fonction de l'humidité



L'humidité est le facteur le plus important pour maîtriser le PCI du bois



## Caractérisation de la granulométrie

- La qualité granulométrique de la plaquette réside plus dans sa régularité que dans la taille des particules

- La mesure (selon les exigences de CEN/TS 15149)
  - Le tamis correspondant à la partie « grossière »
  - Le tamis correspondant à la classe de granulométrie recherchée
  - Le tamis à maille de 3,15 mm
  - Le tamis de 1 mm correspondant à la partie fine



	Fraction principale > 80 % du poids	Fines < 5 %	Fraction dont la granulométrie est supérieure à ... (la valeur ci-dessous doit être < 1 %)
pg11	P < 8 mm	< 1 mm	< 45 mm
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 85 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm
P300	3,15 mm ≤ P ≤ 300 mm	< 1 mm	> 400 mm



## Granulométrie du bois déchiqueté selon la norme önorm ou EN

<b>Petite plaquette</b> Equivalent à : norme ÖNORM (autrichienne) EN 14961: P16 Chauffage domestique	
<b>Plaquette moyenne</b> Equivalent à : norme ÖNORM (autrichienne) EN 14961: P45 Chauffage domestique et collectif	
<b>Plaquette grossière</b> Equivalent à : norme ÖNORM (autrichienne) EN 14961: P65 ou P100 Chauffage collectif et industriel	





## Comparaison des normes CEN et Autrichienne

CEN/TS 15149

	Fraction principale > 80 % du poids	Fines < 5 %	Fraction dont la granulométrie est supérieure à ... (la valeur ci-dessous) doit être < 1 %
pg11	P < 8 mm	< 1 mm	< 45 mm
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 65 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm
P300	3,15 mm ≤ P ≤ 300 mm	< 1 mm	> 400 mm

ÖNORM M7133

Clap designation	<4% of particles	<20% of particles	60 - 100% of particles	<20% of particles	Max. area cm <sup>2</sup>	Max. length cm
G30	<1 mm	1 - 3 mm	3 - 16 mm	>16 mm	3	6,5
G50	<1 mm	1 - 6 mm	6 - 32 mm	>32 mm	5	12
G100	<1 mm	1 - 11 mm	11 - 63 mm	>63 mm	10	25
G120	<1 mm	1 - 63 mm	63 - 100 mm	>100 mm	12	30
G150	<1 mm	1 - 100 mm	100 - 120 mm	>120 mm	15	40



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Caractérisation des plaquettes issues de TTCR

Commune de Pleyber-Christ Récolte TTCR saules 3ans stemster tiges entières + déchiquetage

Communauté de Communes Bretagne Romantique Récolte TTCR 3ans peuplier, robinier, saules, ensileuse



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Taux de cendre

- La quantité de cendre est proportionnelle à la quantité de matière minérale dans le bois : (pourcentage de masse anhydre)

- Écorce : 5%
- Rémanents forestiers : 2%
- Perches et grumes : 0.3%
- Palette : 0.75%
- TTCR / TCR : 1,8-2%
- Source : FCBA, SRCplus



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Les prix de marché

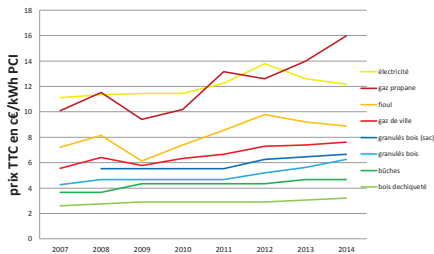


Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Comparaison des prix des énergies pour l'utilisation domestique

(sources : Energie plus, CEEB, Aile)



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



Variation du prix de vente du bois en fonction de l'humidité				
	humidité du bois livré :	25%		
		PCI :	3600 kWh/tonne	
	prix du bois livré :	100,00 €	par Tonne sèche	
		28 €	par MWh	
Comparaison des prix de vente des combustibles livrés en vrac en €/tonnes dans le Tertiaire				
combustible	humidité	PCI (Kwh/tonne)	Prix livré (€/tonne)	Prix livré (€/MWh)
plaquette bois	15%	4160	116 €	28 €
plaquette bois	16%	4104	114 €	28 €
plaquette bois	18%	3992	111 €	28 €
plaquette bois	20%	3880	108 €	28 €
plaquette bois	22%	3768	105 €	28 €
plaquette bois	24%	3656	102 €	28 €
plaquette bois	25%	3600	100 €	28 €
plaquette bois	26%	3544	98 €	28 €
plaquette bois	28%	3432	95 €	28 €
plaquette bois	30%	3320	92 €	28 €
plaquette bois	32%	3208	89 €	28 €
plaquette bois	34%	3096	86 €	28 €
plaquette bois	36%	3040	84 €	28 €
plaquette bois	36%	2964	83 €	28 €
plaquette bois	38%	2872	80 €	28 €
plaquette bois	40%	2760	77 €	28 €
plaquette bois	42%	2648	74 €	28 €
plaquette bois	44%	2536	70 €	28 €
plaquette bois	45%	2460	69 €	28 €
plaquette bois	0%	5000		28 €



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Prix de production du bois de TTCR

	Hypothèse basse	Hypothèse haute
Plantation de TTCR (C HT/ha)	2 300 €	2 800 €
Entretien (2 fois par cycle)	160 €	220 €
Epanchages (1 à 2 fois par cycle)	180 €	360 €
Récolte tous les 3 ans (C HT/ha)	1 350 €	1 800 €
Récolte (STEMSTER), broyage, remorques jusqu'au hangar	Valorisation optimisée de la récolteuse sur 200 ha/an	Situation actuelle: 1000 C/ha coupe Stemster 800 C/ha broyage
Coût annuel de la culture sur 20 ans (C HT/ha/an)		
avec épanchage	622 €	884 €
sans épanchage	568 €	776 €
Coût du stockage du bois (C/t 25% humidité)	6 €	20 €
Rendement prévisionnel (t/ha/an 25% humidité)	Hangar agricole de récupération	Plate-forme neuve
Plantations destinées à l'énergie	13,3	10,7
Prix de revient du bois (C/t 25% humidité)	53 €	103 €
Plantations destinées à l'énergie	15 €	28 €
Prix de revient du bois (C/MWh)		



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Principe de fonctionnement d'une chaufferie bois :

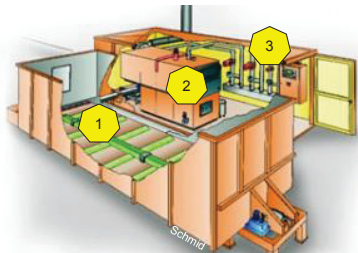
notions de rendement et d'adéquation combustible/chaudière.



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Une chaufferie : un système compartimenté



1. Silo de bois et transfert
2. Générateur et périphériques
3. Hydraulique primaire et régulation

Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Silo de bois et transfert



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Le remplissage du silo

### Sensibilité aux fines :

- Selon le voisinage et les conditions météo
- Selon le mode de remplissage (vis verticale)
- Risque de voutage



Fluidité du bois :

Les silo équipé de grille peuvent poser un problème d'écoulement si le bois est fibreux ou humide

Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Le dessilage

Selon le système, la procédure de remplissage peut évoluer



Nécessite de replier les bras s'ils sont dépliés → livraison au fur et à mesure  
Limiter la hauteur de chargement

Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

## Le transfert

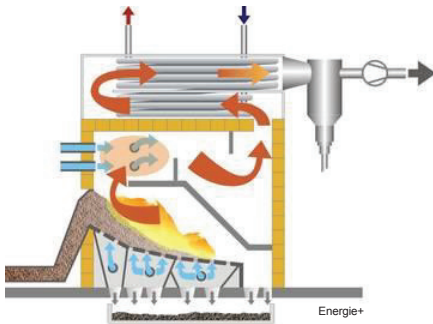
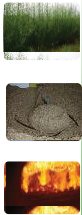
Sensibilité aux fines et aux queues de déchiquetage



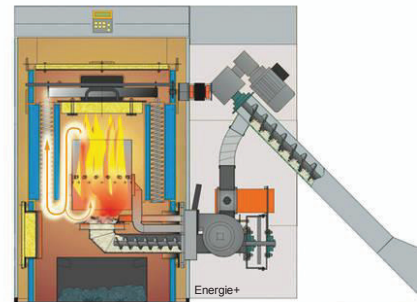
## Générateur et périphériques



## L'architecture du foyer de la chaudière à grille mobile

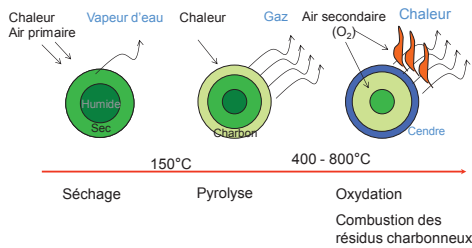


## L'architecture du foyer de la chaudière à foyer volcan

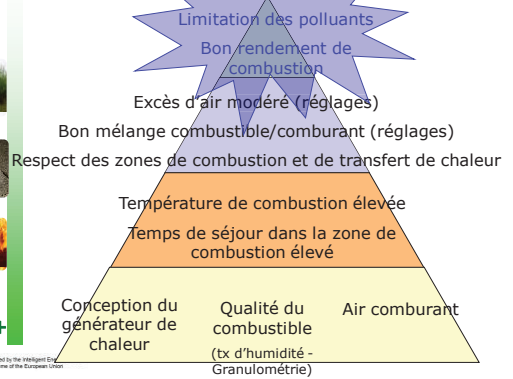


## Principe de la combustion du bois

Réaction exothermique qui résulte de l'action chimique de l'oxygène de l'air sur certains éléments du combustible. Elle s'accompagne d'un dégagement de chaleur. La combustion du bois se divise en plusieurs étapes relevant de divers processus chimiques et physiques.



## Facteurs influant la combustion du bois





### Le rendement de combustion

⇒ estimer la qualité de la combustion en évaluant les pertes lors de la combustion

Pertes par les fumées (p1): les fumées chaudes emportent avec elles une partie de la chaleur produite par la combustion

Pertes par les imbrûlés gazeux, essentiellement du CO (p2)

Pertes dues au carbone imbrûlé dans les cendres (p3)

$$r = 100 - p1 - p2 - p3$$

On peut le calculer grâce à des mesures de la température et de la teneur des fumées en O<sub>2</sub> (sonde λ)

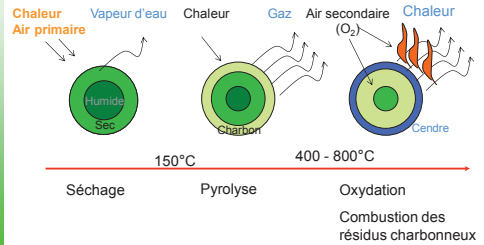


On peut l'évaluer visuellement en fonction de la T°C des fumées, de la couleur de la flamme et de l'aspect des cendres



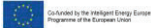
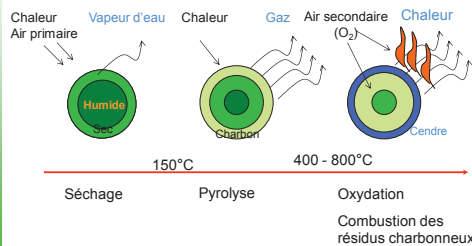
### Exercice sur la combustion du bois

Expliquer ce qu'entraîne un défaut d'air primaire ?



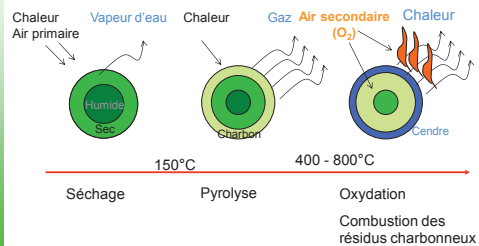
### Exercice sur la combustion du bois

Expliquer ce qu'entraîne un combustible plus humide que ce que la chaudière peut accepter ?



### Exercice sur la combustion du bois

Expliquer ce qu'entraîne un défaut d'air secondaire ?



### Exemple problème de combustion

Apparition de croûtes de cendre :



### Exemple problème de combustion

Apparition de mâchefer :





### Exemple problème de combustion

Apparition de goudrons sur les parois du foyer :



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



### Exemple problème de combustion

Réfractaire creusé sur les bords du foyer :

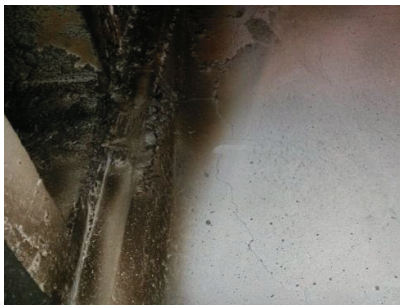
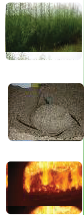


Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



### Exemple problème de combustion

Réfractaire fendu :



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



### La règle des 4 T

L'architecture d'un foyer et la conduite de la chaudière permettront un rendement optimal dans la mesure où cette règle pourra s'appliquer :

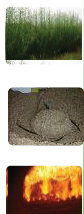
- **Température** : il s'agit de maintenir un niveau de température suffisant dans toutes les parties de l'appareil pour éviter la présence de zones froides qui conduisent à la production de polluants de type imbrûlés : CO, COV, particules, ... ;
- **Teneur en oxygène** : il convient d'apporter suffisamment d'oxygène dans les différentes zones de réactions pour que tous les éléments (carbone et hydrogène principalement) puissent être oxydés : sous le combustible, l'oxygène permet d'entretenir la pyrolyse du bois et d'effectuer les réactions d'oxydation du charbon et dans la flamme, l'air secondaire permet d'oxyder l'ensemble des gaz produits par la pyrolyse pour produire le maximum de chaleur ;
- **Turbulence** : pour oxyder les gaz issus de la dégradation thermique du bois, il est nécessaire qu'ils rencontrent l'oxygène de l'air. Ainsi, plus le mélange entre ces différents produits est important et plus les chances d'oxydation complète sont importantes ;
- **Temps de séjour** : même si les réactions d'oxydation sont très rapides, il est indispensable que les gaz restent entre 1 et 2 secondes minimum au sein de la chambre de combustion pour accroître les possibilités de rencontre entre les différents gaz, dont l'oxygène



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



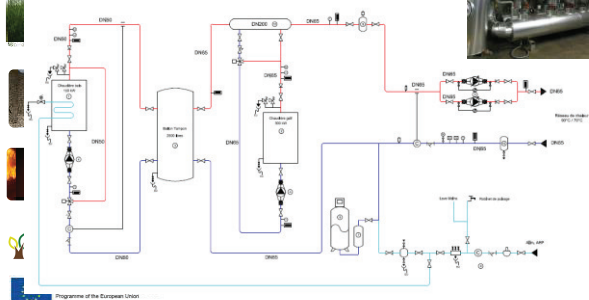
### Hydraulique primaire et régulation



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



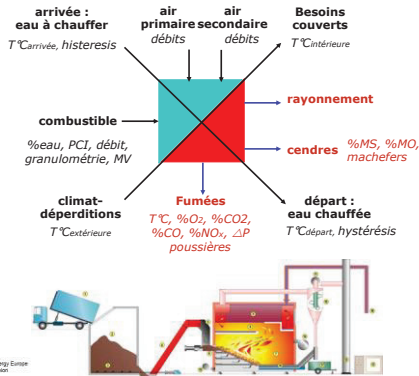
### Schéma hydraulique



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

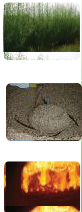


### Quels points de régulation?



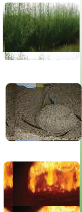
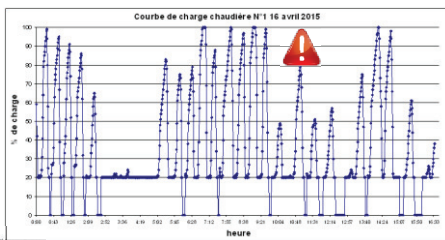
### Exercice : quelles pistes pour résoudre ce problème ?

Les bâtiments raccordés à la chaufferie ne parviennent pas à se chauffer



### Exercice : quelles pistes pour résoudre ce problème ?

La chaudière bois ne parvient pas à tenir la charge

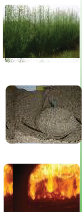


### Impact de la qualité du bois sur le bilan économique d'une chaufferie bois :

coût de la chaleur, maintenance et durée de vie.

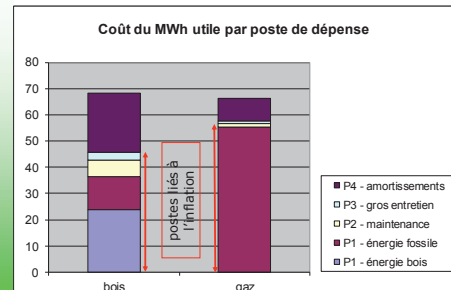


### Point de vue du Client consommateur



### Intérêt sur la facture énergétique

• Meilleure lisibilité des coûts à long terme



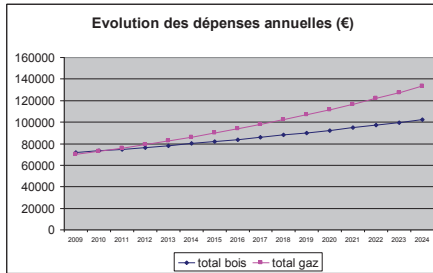
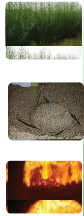
Le prix du MWh utile est sensiblement équivalent. La composition de ce prix diffère. La dépense est mieux maîtrisée dans le cas du bois.





### Intérêt économique

- Evolution des dépenses annuelles



Cofunded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



### Objectifs de l'agent de maintenance

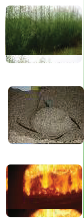
- Prendre en main un nouveau process, avec une montée en compétence progressive
- Optimiser le taux de couverture bois
- Changer le moins souvent possible les paramètres
- Contenir les frais P2 et P3
- Maintenir une installation en bon état pour assurer sa pérennité



Cofunded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



### Risques d'une mauvaise adéquation combustible/chaufferie



- Performance de combustion dégradée → hausse du P1 voire du P2 et à terme du P3 si pas réaction
- Arrêts techniques → hausse du P2, relève par énergie d'appoint
- Casses → arrêt prolongé, perte d'exploitation, maturation du combustible, dégradations consécutives, vidange



Cofunded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



### Intérêt d'une bonne adéquation combustible/chaufferie



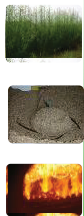
- L'agent peut se concentrer sur la mise au point de l'installation rendu impossible sinon
- La relation de confiance se met en place
- Les performances du projet peuvent être mise en avant



Cofunded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



### Rôle de AILE



Puisque l'adéquation nécessite la rencontre du fournisseur de bois et de l'agent de maintenance, AILE propose

- des formations à chacun
- des rencontres par territoire
- La réalisation de bilan de fonctionnement



Cofunded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



Merci de votre attention



Cofunded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## CONFIRMATION OF PARTICIPATION IN A COURSE

**Christophe PHILIPPE**

participated in the

**SRC training course**

for

***small and medium users of woodchips***

that took place à Lorient (56)

on 13.01.2016

Lorient, le 13/01/2016

Sign and or seal of your institution

C. PHILIPPE

Formateurs : Jacques BERNARD, AILE (jour 1)  
Sébastien PINAUT, CRER (jour 2)

Public cible : personnels ayant la pratique de conduite d'une chaudière bois

Objectifs de la formation :

- Connaître l'origine des combustibles bois déchiqueté et leur mode de production : plaquettes forestières, TCR et TCR, déchets d'emballage et de l'industrie, bois d'élagage
- Reconnaître et mesurer la qualité du combustible adapté à sa chaudière
- Mieux comprendre le fonctionnement de sa chaudière bois
- Mieux comprendre l'articulation entre le combustible, la chaudière et l'agent de maintenance et gagner en autonomie dans la gestion de sa chaufferie


Programme de la session :



**Jour 1 : Le combustible**

- 9h : Accueil des participants
- 9h15-11h : **Le combustible bois** : présentation de la ressource bois – plaquettes forestières, bocagères, TCR et TCR, déchets d'emballage et de l'industrie, bois d'élagage  
**Chaîne de production** : récolte/coupe, broyage, criblage, séchage
- 11h-12h00 : **La qualité** : classification du combustible – comment tester la qualité de son combustible, test granulométrique et test d'humidité
- 12h-14h : REPAS
- 14h-16h : **Coût des combustibles**
- 16h-17h : Visite de l'installation

**Jour 2 : Le fonctionnement de la chaudière**

- 8h30-10h **Optimisation** du  **fonctionnement** de la chaufferie et fonctionnement hydraulique
- 10h-12h **Gestion et anticipation des pannes chaufferies** : études de cas
- 12h-13h30 : REPAS
- 13h30-16h : **Opérations de conduite et de maintenance**: repérage en réel des actions à mener en chaufferie
- 16h-17h : Conclusion et bilan de formation

**Pour toute information** Aurélie LEPLUS tél : 06.82.50.96.27



## Formation à la maintenance des chaufferies bois

Le 20 mai à Plouaret

1<sup>er</sup> jour : le combustible bois



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Objectifs du 1<sup>er</sup> jour

- Connaître l'origine des combustibles bois déchetés et leur mode de production : plaquettes forestières, TTCR et TCR, déchets d'emballage et de l'industrie, bois d'élagage
- Reconnaître et mesurer la qualité du combustible adapté à sa chaudière



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics

### Promouvoir les T(t)CR dans 9 régions européennes réparties dans 7 pays

- Allemagne : Bavière/Achental
- Croatie : Région Est
- France : Bretagne/Rhone-Alpes
- Grèce : Kentriki Makedonia
- Lettonie : Vidzeme
- Macédoine : Prespa
- République Tchèque : Zlin
- Suède (Pays référent)



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics visés

### Inclure les T(t)CR dans une économie locale pour approvisionner des chaufferies bois

Valorisation de délaissés agricoles et autres dépendances vertes

Protection de l'eau : zone de captage, zone tampon, bande ligno-cellulosique

Epandage ou traitement tertiaire par irrigation d'une zone végétalisée en aval d'une station d'épuration collective ou d'une unité de méthanisation agricole



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics visés

### Former et informer sur l'intérêt de la culture en TCR / TtCR

- Agriculteurs ,
- Collectivités et gestionnaires routiers ,
- Fournisseurs de bois et exploitants de chaufferies
- Autres prescripteurs :
- Bureaux d'études Assainissement,
- Animateurs bassin versant,
- Conseil en énergie partagée, Relais bois énergie



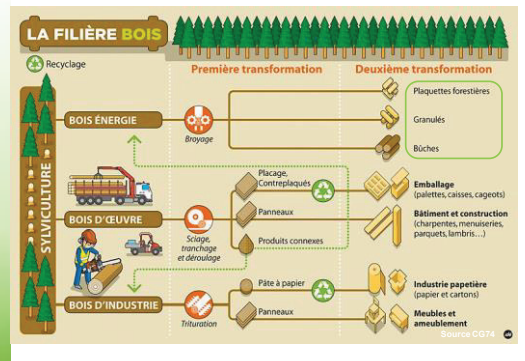
Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## Origine des combustibles bois



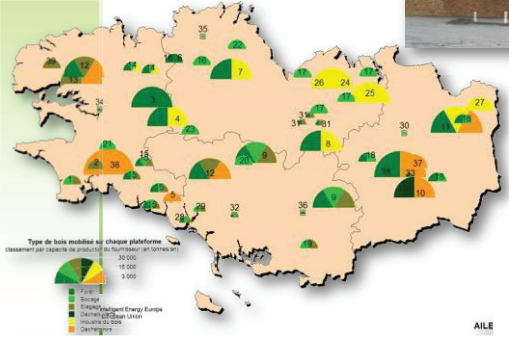
Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



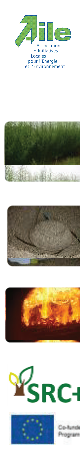
Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

## Une production de bois énergie locale

Une trentaine de fournisseurs pour plus de 400 000t/an :

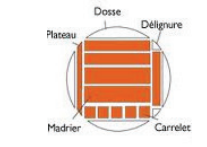


AILE



## ORIGINE DU BOIS Les produits connexes des industries du bois

- une tonne de bois scié génère :
  - 0,55 t de sciage et aussi ...



- 0,11 t d'écorces
- 0,24 t de plaquettes
- 0,10 t de sciures

Source CTBA

Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## ORIGINE DU BOIS Le bois en fin de vie non traité

Types d'activités : construction, grande distribution, industrie, déchetterie, plateforme de tri / conditionnement. Types de produits non adjutants ou faiblement adjutants

→ Bois d'emballage non traité bénéficiant de la SSD  
→ accepté en chaufferie déclarée en rubrique ICPE 2910A



- Autres déchets bois propre ou faiblement adjutants
- Bois d'emballage hors SSD
  - bois de coffrage, bois de rebut triés propres
  - bois de démolition propres
  - Panneau, lamellé collé

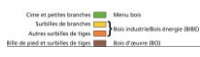
→ accepté en chaufferie déclarée en rubrique ICPE 2910B

Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## ORIGINE DU BOIS Les sous-produits forestiers et bocagers

Types de produits



Billons,



Elagage,



Branches,

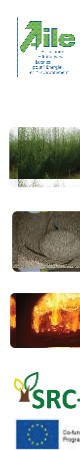


Souches,



Fagots

Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## ORIGINE DU BOIS Les sous-produits forestiers et bocagers

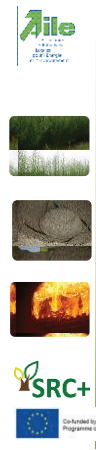
Types d'activités : sylviculture, agriculture, paysage. ex : bois d'éclaircie résineuse, rémanents, taillis, bocage, bord de routes, canaux



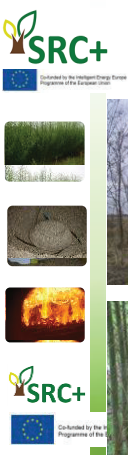
Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



## ORIGINE DU BOIS Les déchets verts et bois d'élagage



## Focus sur la production de TCR et TtCR



## ORIGINE DU BOIS Taillis à Courte et Très Courte Rotation



## ORIGINE DU BOIS Les taillis à Courte et Très Courte Rotation Densité de plantation / Rythme d'exploitation

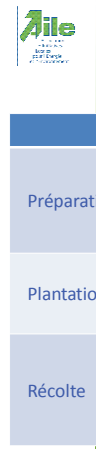
Fréquence rotation	Peuplier	Saule
Courte (2-4 ans) TtCR	8.000 à 10.000 boutures/ha Simple rang Distance inter-rang : 2 m Distance sur le rang : 45-60cm	13.000 à 15.000 boutures/ha Double rang espacé de 0.75m Distance inter-rang : 1,5m Distance sur le rang : 45-60 cm
Moyenne (6-8 ans) TCR	4.000 à 5.000 plants/ha Simple rang Distance inter-rang : 2 m Distance sur le rang : 1 m	Non testé
Longue (> 10ans) TCR	2.500 à 3.500 plants/ha Simple rang Distance inter-rang : 2 m Distance sur le rang : 1.5-2m	1.000 à 2.000 plants/ha Simple rang Distance inter-rang : 3 m Distance sur le rang : 2- 4m



## ORIGINE DU BOIS Les taillis à Courte et Très Courte Rotation

### Choix des essences

TCR	TtCR
Aulne, bouleau, érable sycomore, eucalyptus, frêne, hêtre, murier, paulownia, peuplier, robinier faux-acacia, saule.	peuplier, robinier faux-acacia, saule..



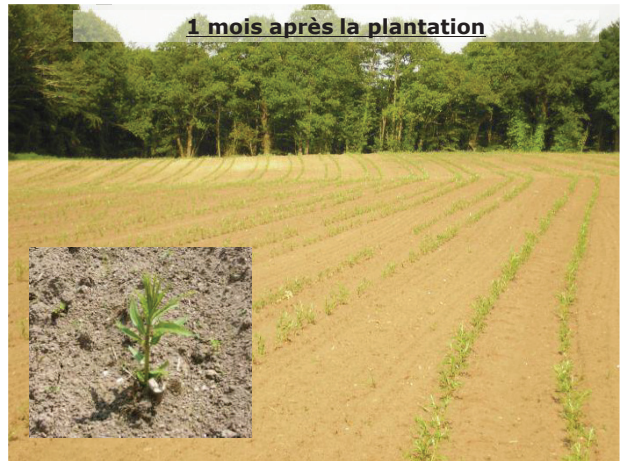
## Stratégie d'implantation (3)

### Implantation / Récolte

	TCR	TtCR
Préparation	Travail du sol localisé sur le rang par sous-solage si plants enracinés / en plein si boutures.	Travail du sol en plein.
Plantation	Plantation semi-manuelle ou manuelle. Au printemps si boutures et en automne si plants enracinés. Possibilité zéro-phyto.	
Récolte	Mécanisée tige entière spécifique TtCR saule (Stemster). Mécanisée ensileuse automotrice et autres prototypes (ensileuse trainée, broyeur récupérateur). Mécanisée sévateur. Semi Manuelle.	



**Plantation puis traitement antigerminatif**



**1 mois après la plantation**



**6 mois après la plantation**



**TTCR de saule de 1 an**

**Un entretien régulier les deux années qui suivent chaque récolte**

**Broyage de l'allée de 1,5m**

En plus du broyage inter-rang, traiter si besoin avec un pulvérisateur à dos en localisé avec un produit débroussaillant. RAPPEL aucun débroussaillant n'est sélectif du saule.

La troisième année de pousse des saules il est plus difficile de rentrer dans la parcelle mais si la parcelle a été entretenue correctement, la pression adventice sera faible.



**TTCR de 2 à 4 ans entretenu correctement**



### Coûts d'implantation



Opération	Itinéraire de base	Optionnel
Préparation du sol : Destruction du couvert végétal / Labour / Travail superficiel du sol	250 €	
Amendement		100 €
Traitement antiparasitaire		90 €
Traitement antigerminatif (prélevée)	305 €	
Plantation	1 800 €	
Débroussaillage inter-rang	80 €	
Désherbage post levée en localisé inter-rang	140 à 320 €	
Recépage	60 €	
<b>Coût/ha sans aménagement</b>	<b>2 635 à 2815 €</b>	<b>190 €</b>
Entretien régulier de la plantation : broyage inter-rang et toumères	100€/an	



### La chaîne de production du bois énergie



### Récolte tige entière



### Récolte tige entière







### Coûts de récolte avec la Stemster tige entière

Actuellement avec peu d'ha implantés et éparpillés  
Récolte tiges entières = 700€/ha + 100€/hre  
Déchiquetage = 400€/ha à 800€/ha (200€/hrea 50m3/h)  
TOTAL = 1400€/ha à 1800€/ha (+100€/ha/an d'entretien)



#### Hypothèse économique sur la vente du bois en fonction des rendements

**basse** **haute**

- Production 8TMS/ha/an
  - Au bout de 3ans, 24TMS/ha
  - 32T à 25% d'humidité
  - Hors stockage/transport
  - Vente brute 55€/T,
  - TOTAL 1.760€/ha
- Production 12TMS/ha/an
  - Au bout de 3ans, 36TMS/t
  - 48T à 25% d'humidité
  - Hors stockage/transport
  - Vente brute 55€/T,
  - TOTAL 2.640€/ha



### Autres outils de récolte développés par les constructeurs européens

- Systèmes de coupe avec un axe vertical (chaînes ou disques ou scies) ou horizontal (dents) + rotor de déchiquetage
- Ensileuse automotrice
- Ensileuse traînée frontale ou déportée
- Systèmes de broyage avec un axe horizontal actionnant des marteaux
- Broyeur automoteur
- Broyeur traîné



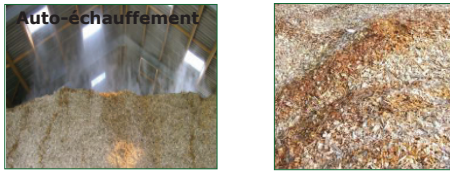
Ensileuses automotrices équipées avec des têtes de récolte spécifiques



Chantiers avec des remorques

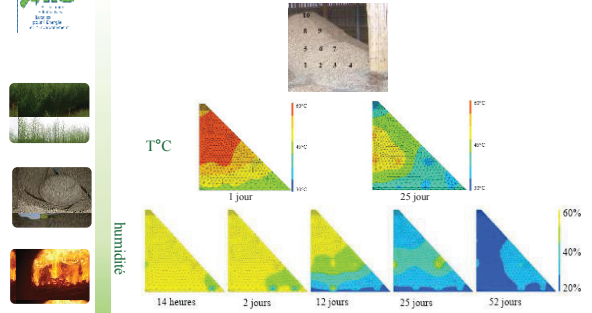


## Séchage de la plaquette : différentes performances en fonction des conditions



Température maximum du tas	Temps de rétention	Humidité sur brut finale
60 à 80°C	2 à 3 mois	40% bache agricole 35% sans bache 25 - 30% sous bache respirante 20 - 25% sous abri

## Cinétique du séchage de la plaquette



Le séchage se fait grâce à la production de chaleur et la migration de l'humidité vers l'extérieur. La chaleur s'accumule au cœur grâce à la faible ventilation et isolation du tas.

## Paramètres influençant le séchage

### Démarrage du processus de séchage

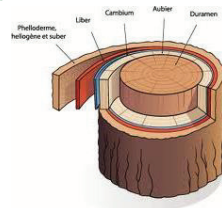
- ✓ la température extérieure,
- ✓ l'humidité initiale du bois,
- ✓ la fraîcheur du bois avant broyage,

### Entretien du processus

- ✓ la proportion d'écorce et de feuilles,
- ✓ L'âge du bois,
- ✓ La saison estivale,

### Efficacité du processus

- ✓ le taux de compaction du tas,
- ✓ la granulométrie,
- ✓ le volume de bois amoncelé ou la hauteur du tas, (la pluviométrie).



## Criblage

- Crible stationnaire sur table vibrante (SEGEM)



Investissement 24k€  
Débit 15m<sup>3</sup>/h  
1 à 2C/m<sup>3</sup>  
(source Esat Glomel)



## Criblage

- Crible stationnaire à étoiles de broyat après broyeur lent ou de déchiqueté sur crible



## Criblage

- Criblage de broyat après broyeur lent sur trommel (tambour)



Investissement 400k€  
Débit 35 à 200m<sup>3</sup>/h  
2,5C/m<sup>3</sup>



## Criblage

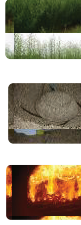
- Criblage de plaquette sur tambour (Carroy CBL)



Investissement 50k€  
Débit 20 à 50m<sup>3</sup>/h ?  
1,5 à 2 C/m<sup>3</sup> ?

## Criblage

- Godet cribleur monté sur télescopique



15 m<sup>3</sup>/h max  
(source Cuma de l'or noir à Cussac 87)

Autre exemple :



## Caractéristiques du combustible



## CARACTERISTIQUES DU BOIS DECHIQUETE

### Composition chimique du bois

Composé de 3 fractions: organique, minérale, eau

- Fraction minérale: entre 0,5% et 1,5% de la masse anhydre: cendres
- Fraction organique: composition déterminante pour son contenu énergétique (résines, tanins, cellulose, lignine)

En moyenne, en % de la masse anhydre, la répartition est la suivante:

C	H	O	N
49 à 50	6	43 à 44	0,2 à 0,5

- Contient beaucoup d'oxygène et nécessite moins d'air que les énergies fossiles pour sa combustion
- Ne contient pas de soufre

## Caractérisation de l'humidité

- Définition :

- Humidité sur masse brute H = masse d'eau contenue dans le bois / masse totale du bois
- Humidité sur masse sèche E = masse d'eau contenue dans le bois / masse du bois sec

- La mesure :

- Selon CEN/TS 14774, le minimum à tester est de 300 g ; cependant il est recommandé de tester une masse supérieure à 500 g, voire 1 à 2 kg lorsque la granulométrie est supérieure à 100 mm.
- Référence : par déshydratation en étuve à une température comprise entre 103 et 107°C.



## Pouvoir calorifique du bois

- Pouvoir calorifique inférieur PCI (kWh/t):

Énergie produite par la combustion d'un combustible donné (en ne prenant pas en compte la chaleur latente de vaporisation de l'eau)

$$\text{PCI bois anhydre} = 108 \times \text{C\%} - 60,5 \times \text{Humidité\%}$$

Varie entre 48 et 52% d'une essence à l'autre
Varie entre 8 et 60%

- L'humidité du bois est le facteur qui influence le plus le PCI

- PCI du bois anhydre = 5 000 kWh/t en moyenne
- PCI du Fioul = 10 000 kWh/t en moyenne



### Variations du PCI en fonction des essences de bois

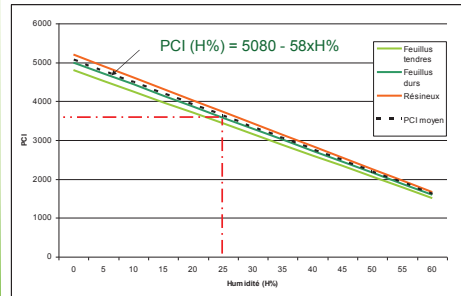
- Sachant que la teneur en C, H, O et N varie selon les essences de bois → PCI varie
- En moyenne

Feuillus: 4800 kWh/t à 5200 kWh/t

Résineux: 5100 kWh/t à 5300 kWh/t (teneur en C plus élevée)

Essences	Etat anhydre H2O = 0% [kWh/kg]	Etat brut H2O = 25% [kWh/kg]
Chêne	4,93	3,52
Hêtre	4,87	3,45
Charme	4,95	3,54
Bouleau	5,24	3,75
Aulne	4,99	3,56
Orme	5,13	3,67
Erable	4,86	3,47
Frêne	4,94	3,53
Peuplier	4,80	3,42
Châtaigner	5,23	3,74
Cerisier	4,95	3,51
Sapin	5,37	3,85
Pin	5,32	3,81
Mélèze	5,19	3,71

### Variation du PCI en fonction de l'humidité



L'humidité est le facteur le plus important pour maîtriser le PCI du bois

### Caractérisation de la granulométrie

- La qualité granulométrique de la plaquette réside plus dans sa régularité que dans la taille des particules

- La mesure

(selon les exigences de CEN/TS 15149)

- Le tamis correspondant à la partie « grossière »
- Le tamis correspondant à la classe de granulométrie recherchée
- Le tamis à maille de 3,15 mm
- Le tamis de 1 mm correspondant à la partie fine

- Les classes définies par le CEN

	Fraction principale > 80 % du poids	Fines < 5 %	Fraction dont la granulométrie est supérieure à ... (la valeur ci-dessous) doit être < 1 %
Pg11	P < 8 mm	< 1 mm	< 45 mm
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 85 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm
P300	3,15 mm ≤ P ≤ 300 mm	< 1 mm	> 400 mm

### Granulométrie du bois déchiqueté selon la norme önorm ou EN

<b>Peste plaquette</b> Equivalent à 1 norme G30 (autrichienne) EN 14961 P16 Chaudière domestique	
<b>Plaquette moyenne</b> Equivalent à 1 norme G90 (autrichienne) EN 14961 P45 Chaudière domestique Et collective	
<b>Plaquette grossière</b> Equivalent à 1 norme G100 (autrichienne) EN 14961 P63 ou P100 chauffière collective et industriel	

### Comparaison des normes CEN et Autrichienne

CEN/TS 15149

	Fraction principale > 80 % du poids	Fines < 5 %	Fraction dont la granulométrie est supérieure à ... (la valeur ci-dessous) doit être < 1 %
Pg11	P < 8 mm	< 1 mm	< 45 mm
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 85 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm
P300	3,15 mm ≤ P ≤ 300 mm	< 1 mm	> 400 mm

ÖNORM M7133

Chip designation	<4% of particles <1 mm	<20% of particles 1 - 3 mm	60 - 100% of particles 3 - 16 mm	<20% of particles >16 mm	max. area cm <sup>2</sup>	Max. length cm
G30	<1 mm	1 - 3 mm	3 - 16 mm	>16 mm	3	8,5
G50	<1 mm	1 - 6 mm	6 - 32 mm	>32 mm	5	12
G100	<1 mm	1 - 11 mm	11 - 63 mm	>63 mm	10	25
G120	<1 mm	1 - 63 mm	63 - 100 mm	>100 mm	12	30
G150	<1 mm	1 - 100 mm	100 - 130 mm	>130 mm	15	40

### Caractérisation des plaquettes issues de TCR

Commune de Pleyber-Christ Récolte TCR saules 3ans stemster tiges entières + déchiquetage

Communauté de Communes Bretagne Romantique Récolte TCR 3ans peuplier, robinier, saules, ensileuse



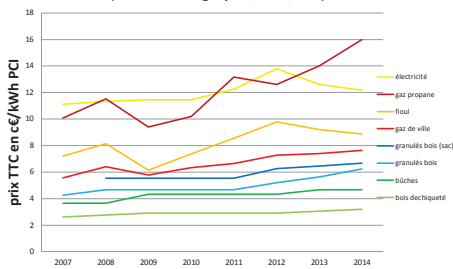
## Taux de cendre

- La quantité de cendre est proportionnelle à la quantité de matière minérale dans le bois : (pourcentage de masse anhydre)

- Écorce : 5%
- Rémanents forestiers : 2%
- Perches et grumes : 0.3%
- Palette : 0.75%
- TTCR / TCR : 1,8-2%
- Source : FCBA, SRCplus

## Les prix de marché

## Comparaison des prix des énergies pour l'utilisation domestique (sources : Energie plus, CEEB, Aile)



## Variation du prix de vente du bois en fonction de l'humidité

combustible	humidité	PCI (Kwh/tonne)	Prix livré (€/tonne)	Prix livré (€/MWh)
plaquette bois	15%	4160	116 €	28 €
plaquette bois	16%	4104	114 €	28 €
plaquette bois	18%	3992	111 €	28 €
plaquette bois	20%	3880	108 €	28 €
plaquette bois	22%	3768	105 €	28 €
plaquette bois	24%	3656	102 €	28 €
plaquette bois	25%	3600	100 €	28 €
plaquette bois	26%	3544	98 €	28 €
plaquette bois	28%	3432	95 €	28 €
plaquette bois	30%	3320	92 €	28 €
plaquette bois	32%	3208	89 €	28 €
plaquette bois	34%	3096	86 €	28 €
plaquette bois	35%	3040	84 €	28 €
plaquette bois	36%	2984	83 €	28 €
plaquette bois	38%	2872	80 €	28 €
plaquette bois	40%	2760	77 €	28 €
plaquette bois	42%	2648	74 €	28 €
plaquette bois	44%	2536	70 €	28 €
plaquette bois	45%	2480	69 €	28 €
plaquette bois	0%	5000		

## Prix de production du bois de TTCR

	Hypothèse basse	Hypothèse haute
Plantation de TTCR (C HT/ha)	2 300 C	2 800 C
Entretien (2 fois par cycle)	160 C	320 C
Epanchages (1 à 2 fois par cycle)	180 C	360 C
Récolte tous les 3 ans (C HT/ha)	1 350 C	1 800 C
Récolte (STEMSTER), broyage, remorques jusqu'au hangar	Valorisation optimisée de la récolteuse sur 200 ha/an	Situation actuelle: 1000 C/ha coupe Stemster 800 C/ha broyage
Coût annuel de la culture sur 20 ans (C HT/ha/an)		
avec épanchage	622 C	884 C
sans épanchage	568 C	776 C
Coût du stockage du bois (C/t 25% humidité)	6 C	20 C
Rendement prévisionnel (t/ha/an 25% humidité)	Hangar agricole de récupération	Plate-forme neuve
	13,3	10,7
Plantations destinées à l'énergie		
Prix de revient du bois (C/t 25% humidité)	53 C	103 C
Plantations destinées à l'énergie		
Prix de revient du bois (C/MWh)	15 C	28 C

Training event for small and medium users of woodchips

May 10, Plouaret



Training event for small and medium users of woodchips  
May, 10 – Plouaret

Web page



**Aile**  
Association  
d'Initiatives  
Locales  
pour l'Énergie  
et l'Environnement

Formation pour les agents de maintenance des chaufferies bois Contact

**Accueil** >  
**AILE** >  
**Banc d'essai moteurs agricoles** >  
**Biogaz** >  
**Bois énergie** >  
**Cultures énergétiques** >  
**Energie et Territoire** >  
**Liens utiles** >

### Formation pour les agents de maintenance des chaufferies bois

par : BeaMeg - 15/05/2016 16:38

Seize participants se sont réunis à Plouaret les 10 et 11 mai 2016 pour une formation sur le combustible bois et la conduite de chaufferie bois collective. La première journée a été consacrée à l'**approvisionnement en combustible et aux critères qualitatifs**. Cette séquence a été l'occasion de présenter les différentes origines de bois et de faire un **focus sur les plantations réalisées en TCR** et les actions menées au travers du programme SRC+.



**PROGRAMMES EUROPEENS**

**Biogas ACTION**  
Promotion de la production de biogaz durable

**SRC+**  
Filières Locales de Taillis à Courte Rotation

**BIOREFINE**  
Recyclage de la matière organique