

# COMPARAISON DES DIFFERENTS AGRO-COMBUSTIBLES

## Caractéristiques générales

Le tableau de la page au verso reprend les différentes caractéristiques des agro-combustibles présentés via les fiches techniques concernant la paille, les ceps et sarments de vigne, les cultures énergétiques, le bois bocager ainsi que les divers agro-combustibles. Il permet de comparer les diverses ressources entre-elles.

Il existe également d'autres agro-combustibles, plus marginaux, tels que les grignons d'olives, la paille de riz, de lin... Ces derniers sont très spécifiques à chaque région.

## Comprendre le tableau

Pour chaque agro-combustible présenté, les données correspondent aux valeurs selon le taux de matière sèche de la colonne 2 : production en tonnes ou équivalent production d'énergie en MWh, ou équivalent de TEP.

Les 4 premières colonnes sont des caractéristiques de chaque agro-combustible. Les valeurs indicatives sont issues d'une compilation de différentes sources citées en référence.

Les 4 dernières colonnes sont calculées ainsi :

- **Production en énergie en MWh /ha ou par km de haie : production moyenne en Tonnes x PCI en kWh/kg**
- **Equivalent TEP (Tonne équivalent Pétrole)/ha ou par km de haie = Production d'énergie / 11,627**
- **Equivalent TEP/ Tonne de produit = PCI / 11,627**
- **Equivalent tonnes de CO<sub>2</sub> évité en substitution au fuel domestique : PCI x 0,259, sachant que 1 Equivalent fuel = 10 kWh PCI = 0,88 litres et que 1 l de fuel émet 2,943 kg CO<sub>2</sub>**

Il s'agit de tonnes de CO<sub>2</sub> évité en raison de la substitution d'énergie fossile théorique par de la biomasse. Dans ce cas, il est admis que le bilan GES de la biomasse est neutre : les émissions de CO<sub>2</sub> étant égales à l'absorption de CO<sub>2</sub> par la photosynthèse. En pratique, ce n'est pas tout à fait exact car il faudrait prendre

### Quelques définitions

**Pouvoir calorifique supérieur (PCS)** : le PCS à volume constant d'un combustible, représente la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de biomasse du combustible.

**Pouvoir calorifique inférieur (PCI)** : Le PCI se calcule en déduisant par convention, du PCS, la chaleur de condensation de l'eau formée au cours de la combustion et éventuellement de l'eau contenue dans le combustible.

Le pouvoir calorifique s'exprime

en : kcal/kg, kJ/kg, kWh/kg (= 861 kcal/kg), TEP/tonne (= 10000 thermies/tonne)

Le PCI dépend de la teneur en carbone du combustible, puis de celle de l'hydrogène, et enfin de l'humidité

**La tonne équivalent pétrole (TEP)** est l'unité énergétique nationale utilisée pour les bilans énergétiques :

**1 TEP = 11 627 kWh = 41,8 GJ  
1 kWh = 860 kcal**

**Conversion en eq CO<sub>2</sub>** : par convention, toutes les émissions de

Gaz à effet de serre sont évaluées en kg CO<sub>2</sub>. Quelques chiffres (source Diaterre) :

Emission CO <sub>2</sub> par énergie	kgCO <sub>2</sub> /unité
Fuel domestique	2,943/l
Gaz naturel	2,812/m <sup>3</sup>
Gaz Propane	3,543/kg
Electricité	0,0843/kWh

—> [Site de conversion en ligne](#)

# Caractéristiques des agro-combustibles

Valeurs indicatives données à titre d'exemple, sujettes à fluctuations

	Production moyenne / ha (T/ha) ou en T/km pour les haies	Taux humidité en %	PCI (en kWh/kg)	Densité en kg/m <sup>3</sup>	Taux de cendres à 550 °C en % ms	Production énergie/ha (MWh/ha) ou MWh/km pour les haies	Equivalent TEP/ha ou TEP/km pour les haies	Equivalent TEP/tonne d'agro-combustible brut	Equivalent tonnes CO2 évitées/tonne d'agro-combustible brut
Paille céréale grise ou tige colza vrac	3	15	4,17	100 à 135		12,5	1,1	0,36	1,08
Paille céréales jaune vrac	3 à 5	15	4	80 à 125	5 à 7	12 à 20	1 à 1,7	0,34	1,04
Granulés paille		8	4,44	600				0,38	1,15
Céréales grains (Orge, Blé, Seigle)	7 à 8	15	4,17	670 à 750		33,4	2,87	0,36	1,08
Miscanthus ensilé vrac	10 à 14	15	4,2 à 4,4	120 à 140	5	43 à 52	3,7 à 4,44	0,37	1,11
Miscanthus fauché et bottelé		10	4,4	130 (bottes rondes) à 160 (bottes carrées)	5				1,14
Granulé miscanthus		10 à 11	4,45	650	1,8 à 2,4				1,15
Granulé 40 % miscanthus		8	4,66	650					1,21
Switchgrass granulé		10,9	4,32		3,7	36 à 59	3 à 5		1,12
TTCR Saule	10 à 16,3	25	3,6			47,9	4,1	0,31	1,08
Sarments de vigne broyés	2 à 4	15 à 16	3,8 à 4,2	180 à 200	2,9	10 à 15	1 à 1,3	0,35	1,23
Ceps de vigne	1,6 à 2,5	17,6	4,16	340	2,6				1,08
Plaquette bocagère fraîche après broyage	9 à 36	30 à 40	3	360		27 à 108	2,3 à 9,3	0,26	0,78
Plaquette bocagère après séchage naturel	6 à 24	25	3,86	250	2,9	22 à 86	2 à 7	0,31	1
Plaquette bocagère anhydre	5 à 18	0	5	188		25 à 90	2,15 à 8	0,43	1,29
Plaquette forestière		40	2,89	240					0,79
Paille de riz	4,7	15	4			18,8	1,62	0,34	1,04
Paille de lavande	2,5 à 3,5	30 à 40	4,9 (de ms)		5 à 9	12	1,04	0,42	1,09
Anas de lin	2 à 2,5	12	4,4			8,8 à 11	0,95	0,38	1,14

## Quel conditionnement choisir ?

La biomasse peut être brûlée sans ou après avoir subi des transformations.

Elle peut être utilisée en vrac ou selon différents conditionnements après transformation en pellets ou granulés, plaquettes, bottes.



### Les granulés ou pellets

sont produits à partir de matière première broyée puis finement compressée sous l'action combinée de la force mécanique et de la chaleur. Cette technique permet d'obtenir un produit fluide et homogène. A peu près tous les types de matière première peuvent être transformés en granulés seuls, ou en mélange.

#### Avantages

- Automatisation des chaudières
- Stockage facilité en raison de la forte densité
- Produit de qualité stable et normalisé : rendement énergétique très performant, entre 80 et 95 %.

- Petits granulés de 6 à 8 mm de diamètre et de 15 à 25 mm de long
- PCI. de 4,2 à 4,7 kWh/kg  
Taux d'humidité de 10 % environ
- Taux de cendres faible, de 1,8 à 2,4 %
- Densité d'un pellet très élevée, 650—750 kg/m<sup>3</sup>
- Les pellets sont assez fragiles, il faut donc éviter les chocs et limiter les transports.
- Convient aux particuliers et petites collectivités (puissance < 500 kW)

#### Inconvénients

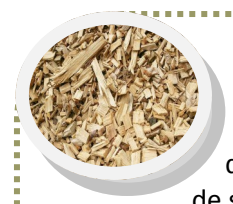
- Produit plus coûteux : mais la différence de prix est justifiée par les avantages du produit
- Disponibilité : variable sur les territoires car dépendant des installations de transformation
- Stockage : à l'abri dans un endroit sec



**Les normes en vigueur**  
la [marque française NF](#)  
[Biocombustibles solides](#) :

cette norme s'applique aux granulés de bois et de végétaux et se décline en 5 catégories.

**Les marques européennes pour les granulés de bois** : 5 normes règlementent la production de granulés de bois au niveau européen.



### Les plaquettes de bois

sont produites à l'aide des « déchiqueteuses » directement sur le terrain ou sur les lieux de stockage. Un conditionnement privilégié pour les TCCR, (taillis à très courte rotation) le bois bocage, les sarments de vigne

#### Avantages

- Facilité de stockage
- Valorisation du bois d'éclaircie et d'élagage, de faible diamètre (incitant les propriétaires à mieux gérer durablement leur forêt ou leurs haies)
- Plus homogène que la matière initiale
- Facilité de transport, séchage et stockage
- Automatisation complète de la chaudière
- Maîtrise de la filière localement

#### Inconvénients

- Volume de stockage important (densité de 250 à 350 kg/m<sup>3</sup>)

- Morceaux de matière première déchiquetés
- Granulométrie entre 20 et 50 mm
- Caractéristiques variant selon la ressource utilisée
- Taux d'humidité dépendant du temps de séchage
- PCI dépendant du taux d'humidité : de 3 à 3,6 kWh/kg
- Utilisation selon le % d'humidité : <20 % humidité → grosses habitations et petits réseaux de chaleur 50–200 kW ; 20 à 35 % humidité → collectivités 200-1000 kW ; 35 à <55 % humidité → chaudières > 1000 kW



- Par convention, les volumes de plaquettes sont calculés en MAP (mètre cube apparent)
- Stockage pouvant être organisé collectivement (plateformes de stockage)



## Les bottes

Il s'agit un conditionnement utilisable pour des chaudières de puissance importante, pour les pailles, la menue paille, le miscanthus, le switchgrass, le sorgho, le lin et toute plante herbacée.

- Botte ronde ou rectangulaire
- Poids entre 300 et 500 kg
- PCI 4 à 15 % d'humidité
- Densité : 150 kg/m<sup>2</sup>
- Convient aux chaudières de grande puissance de 500 kW à plus de 1500 kW

### Avantage

Volume de stockage relativement faible, malgré une densité faible.

### Inconvénient

Nécessité d'installer un broyeur spécifique à l'entrée de la chaudière.



## Le vrac est spécifique :

• Aux cultures énergétiques (miscanthus et switchgrass), récoltées par ensileuse. Les copeaux ainsi obtenus sont stockés pour être utilisés dans une chaudière adaptée. Le volume est 2 fois plus important que celui des plaquettes de bois.

• À diverses biomasse ne subissant pas de transformation ou de conditionnement particulier par exemple les grignons d'olive, les ans de lin.

## Quelques points de vigilance pour l'approvisionnement

Dans le choix de la ressource, quelques critères sont à prendre en compte :

- **Disponibilité sur le territoire** : tous les combustibles et leur conditionnement ne sont pas tous disponibles sur tous les territoires, en particulier les cultures énergétiques et les granulés. Il faudra s'assurer d'une disponibilité en quantité et en qualité sur la durée
- **Concurrence d'usage et/ou de surfaces agricoles** : les cultures énergétiques par principe, consomment des surfaces agricoles. Il faudra donc veiller à étudier leur compatibilité localement ; en outre, les agro-combustibles peuvent avoir d'autres usages : retour au sol (paille de céréales, de lavande), biomatériaux (paille, miscanthus, ans de lin) compostage ou méthanisation : attention donc à en tenir compte.
- **Coûts de transformation** : les coûts de mobilisation et de transformation vont dépendre là aussi de la ressource et de la filière envisagée
- **Surface de stockage** : à prévoir dès le départ en tenant compte de la densité des combustibles et de leur besoin de séchage naturel. Les formes en vrac et en bottes nécessitent plus de surface.
- **Adaptation de la chaudière** : dans le cas de chaudière à bottes de paille, il est nécessaire d'ajouter un broyeur avant le foyer
- **Automatisation de l'approvisionnement de la chaudière** : les différents combustibles sont plus ou moins adaptés à l'automatisation, par exemple les plaquettes, les granulés.

## Et l'environnement ?

**Intérêt des cultures pour l'environnement.** L'implantation ou la bonne gestion d'un agro-combustible peut avoir un effet bénéfique sur l'environnement à l'exemple des cultures énergétiques implantées en zones de captage, permettant de préserver la qualité

de l'eau, ou la valorisation durable du bocage qui aura un effet bénéfique sur la biodiversité et la lutte contre l'érosion.

**Points de vigilance au niveau de la combustion** : la production de mâchefer, l'émission de substances nocives dans les fumées ou les

cendres sont à prendre en compte (exemple de la paille, des sarments de vigne, etc.). Des solutions existent. L'investissement dans une **chaudière polycombustible adaptée avec un bon contrat de maintenance est indispensable.**

[En savoir plus Tests de combustion Green Pellets](#)

