

# Bilan environnemental du chauffage domestique au bois

## Environmental assessment of domestic wood heating

Éric LABOUZE\*, Yannick LE GUERN\*

### Résumé

La présente étude a pour objectif de réaliser un bilan environnemental du chauffage domestique au bois à partir d'équipements performants et des combustibles bois suivants :

- la bûche ;
- la plaquette forestière ;
- le granulé.

Cette étude propose également une approche comparée aux autres filières de chauffage (gaz, fioul et électricité).

Ce bilan environnemental est établi selon la méthodologie des analyses de cycle de vie, méthode normalisée au niveau international (série des normes ISO 14040) qui permet d'évaluer les effets quantifiables sur l'environnement d'un service ou d'un produit depuis l'extraction des matériaux nécessaires à son élaboration jusqu'aux filières de fin de vie.

Les résultats montrent que les filières bois sont globalement bien positionnées sur l'ensemble des indicateurs retenus pour cette étude sauf pour les indicateurs sensibles aux émissions de métaux toxiques (Metox air et Metox sols). En particulier, le bois est bien positionné au niveau des bilans énergétiques et du bilan effet de serre.

### Mots clés

Analyse de cycle de vie. Chauffage. Bûches. Plaquettes forestières. Granulés. Poêles. Chaudières.

### Abstract

In France, more than 6 million families are concerned with the domestic use of wood energy. The wood energy plan of ADEME aims at encouraging the development of wood energy in three sectors: domestic, collective/tertiary, industrial.

In that context, ADEME commissioned BIO Intelligence Service a life cycle assessment of col-

lective and industrial heating in order to give objective environmental information and to analyse the strength and weakness of wood heating.

Three scenarios were defined according to the origin of wood: firewood, granules and sawmill chips. The study also proposes a comparison to other heating systems: gas, fuel oil and electricity.

The life cycle analysis applied to domestic heating consists in quantifying the environmental impacts of the whole linked steps: extraction of fuel, distribution, final use...

Every system under study has been divided according to three main stages:

- Extraction of raw materials;
- Transport of fuels until the place of storage or distribution;
- Use (combustion or upstream production of energy in the case of electricity).

The environmental impacts are estimated with the following indicators:

- Non renewable primary energy balance sheet ;
- Global warming potential;
- Air acidification potential;
- Eutrophication potential;
- Emissions of toxic metals in air and in soils.

The results show that wood heating have the best energy and global warming balance sheets.

For air acidification, the combustion stage is predominant regardless of the energy resource. This is mainly due to nitrogen and sulphur oxides airborne emissions. For wood heating, preparation requires fuel consumption which also contributes significantly to nitrogen oxides emissions. The comparison with conventional energy shows that the wood scenarios are well positioned in relation to fuel and electricity for this indicator. Gas appears to be the best heating option for this indicator.

The contribution eutrophication is also due to nitrogen oxides airborne emissions of during combustion. The preparation of wood and transport

→

\* BIO Intelligence Service – 1, rue Berthelot – 94200 Ivry-sur-Seine – Tél. : 01 56 20 28 98 – Fax : 01 58 46 09 95  
E-mail : [eric.labouze@biois.com](mailto:eric.labouze@biois.com) ; [yannick.leguern@biois.com](mailto:yannick.leguern@biois.com)

has a significant contribution to nitrogen oxides airborne emissions. The natural gas heating and electricity appear to be most beneficial for this indicator.

For wood heating, the combustion stage accounts for 95% of air emissions of toxic metals. The natural gas heating is proving to be the most advantageous while heating with wood present the most damaging.

The wood heating also emerges as the least well-positioned for emissions of toxic metals in soils. This is linked to the metals contained in ash, half of which is regarded as applied in the garden.

The main means to improve the environmental balance sheet are:

- Optimisation of the fuel supply chain (Increasing energy efficiency of processes for example);
- Increasing combustion efficiency would improve the environmental impacts linked to airborne emissions of pollutants.

### Keywords

Life Cycle Analysis. Heating. Firewood. Sawmill chips. Granules. Stoves. Boilers.

## Avant-propos

Cette étude a été commandée par la Direction des énergies renouvelables, des réseaux et des marchés énergétiques de l'ADEME et réalisée par BIO Intelligence Service (sur la base d'une première étude menée conjointement avec le COSTIC).

Une revue critique effectuée par un expert indépendant (d'avril à novembre 2005 par Monsieur LECOULS) a validé la conformité de l'étude aux normes internationales ISO 14040 à 14043 relatives aux analyses de cycle de vie.

## 1. Contexte et objectif du projet

Dans le contexte actuel de développement de l'énergie bois en France, la réalisation d'un bilan environnemental débouchant sur une présentation transparente des bénéfices et préjudices environnementaux de la filière bois est une étape indispensable pour la valorisation de la filière bois-énergie, et pour l'identification des axes prioritaires d'amélioration de cette filière en plein développement.

La présente étude a pour objectif de réaliser un bilan environnemental du chauffage domestique au bois à partir d'équipements performants et des combustibles bois suivants :

- la bûche ;
- la plaquette forestière ;
- le granulé.

À titre d'information, l'étude propose une approche comparée aux autres filières de chauffage (gaz, fioul et électricité).

La finalité de ce travail est de fournir à l'ADEME des informations environnementales objectives, homogènes et les plus complètes possibles afin de :

- disposer d'une première base d'information sur les impacts environnementaux potentiels associés au chauffage domestique au bois, dans une perspective de cycle de vie ;
- analyser les forces et faiblesses relatives de différents scénarios de chauffage domestique ;

- proposer des axes d'améliorations pour les points les plus sensibles de chaque filière bois.

## 2. Présentation générale de l'analyse de cycle de vie

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode normalisée au niveau international (série des normes ISO 14040) qui permet d'évaluer les effets quantifiables sur l'environnement d'un service ou d'un produit depuis l'extraction des matériaux nécessaires à son élaboration jusqu'aux filières de fin de vie.

La méthode consiste à réaliser des bilans exhaustifs de consommation de ressources naturelles et d'énergie et d'émissions dans l'environnement (rejets air, eau, sols, déchets) de l'ensemble des processus étudiés.

Une première étape consiste à dresser l'inventaire des entrées-sorties propres à chaque étape du système. Les flux de matières et d'énergie prélevées et rejetées dans l'environnement à chacune des étapes sont ensuite agrégés pour quantifier des indicateurs d'impacts sur l'environnement.

L'avantage de l'approche ACV est qu'elle permet de comparer des situations et d'identifier les déplacements de pollution d'un milieu naturel vers un autre ou bien d'une étape du cycle de vie vers une autre entre deux situations comparées d'un système. Elle peut donc aider à mieux discerner les arbitrages pertinents lors d'une prise de décision.

L'ACV constitue une approche multicritères : il n'existe pas de note unique environnementale. Les résultats de l'étude sont présentés sous la forme de plusieurs indicateurs d'impacts environnementaux.

## 3. Application de l'ACV au chauffage domestique

L'analyse de cycle de vie appliquée au chauffage domestique consiste à quantifier les impacts sur l'environnement de l'ensemble des activités qui lui sont liées : extraction du combustible, distribution, utilisation finale chez l'utilisateur...

Les appareils de combustion bois retenus pour cette étude sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1.  
Appareils de combustion de bois utilisés dans l'étude.  
*Wood combustion devices used in the study.*

Combustible	Appareil de combustion	Rendement
Bûches	Poêle	65 %
	Chaudière classique	70 %
Plaquettes	Chaudière classique	75 %
Granulés	Poêle à granulés	85 %

Pour la comparaison avec les énergies classiques, ont été considérés :

- une chaudière « bas NO<sub>x</sub> » ayant un rendement de 95 % pour le gaz ;
- une chaudière ayant un rendement de 90 % pour le fioul ;
- un convecteur électrique ayant un rendement de 100 %.

#### 4. Unité fonctionnelle

Pour faciliter la comparaison des différents systèmes de chauffage domestique, on introduit une référence commune servant à exprimer le bilan matières et énergies du cycle de vie de chaque système. C'est l'unité fonctionnelle du bilan environnemental.

L'unité fonctionnelle (UF) retenue pour cette étude est la suivante : « Produire 1 kWh de chaleur chez l'utilisateur ».

Cette unité de valeur référence a été choisie en lien avec les études ACV relatives aux filières de production d'énergie déjà réalisées.

#### 5. Indicateurs environnementaux retenus pour l'étude

L'étude des impacts environnementaux est réalisée au travers de la lecture de différents indicateurs qui sont regroupés dans le tableau 2.

Tableau 2.  
Indicateurs d'impact environnemental.  
*Environment impact indicators.*

Thèmes	Indicateurs d'impacts potentiels	Unités
Bilan énergétique	Énergie primaire	MJ & MWh
	Énergie primaire non renouvelable	MJ & MWh
Bilan effet de serre	Selon règles IPCC*	kg éq. CO <sub>2</sub>
Pollution de l'air	Acidification de l'air (CML)	g éq. SO <sub>2</sub>
	METOX**	g
Pollution de l'eau	Eutrophisation (CML)	g éq. PO <sub>4</sub>
Rejets dans les sols	METOX	g

\* IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC).

\*\* L'indicateur METOX est un paramètre établi par les Agences de l'Eau afin de percevoir les redevances de pollution. Le METOX est calculé par la somme pondérée de huit métaux, affectés des coefficients de pondération liés aux différences de toxicité des éléments : mercure 50, arsenic 10, plomb 10, cadmium 10, nickel 5, cuivre 5, chrome 1, zinc 1. Cette méthode appliquée aux rejets aqueux a été élargie aux rejets atmosphériques et aux rejets dans les sols dans le cadre de cette étude.

#### 6. Systèmes étudiés

Les différents systèmes étudiés, propres à chaque combustible, se décomposent tous selon trois grandes étapes :

- Extraction des matières premières.
- Transport des combustibles jusqu'au lieu de stockage ou de distribution.
- Utilisation (combustion ou production amont d'énergie dans le cas de l'électricité).

Pour toutes les filières bois, les systèmes considérés excluent :

- la plantation et l'entretien de la forêt. Dans cette étude, les impacts environnementaux de ces étapes ont été alloués au bois d'œuvre, ou d'industrie, qui constitue la réelle valeur économique de l'activité ;
- la fabrication et la fin de vie des appareils de chauffage, la production, la maintenance et le démantèlement des infrastructures et biens d'équipements (bâtiments, machines, routes) : cette hypothèse, faite également dans nombre d'analyses de cycle de vie réalisées par le passé, est basée sur le fait que l'impact environnemental de la production des infrastructures et biens d'équipements est négligeable devant les autres impacts.

Trois scénarios, qui se définissent comme suit, ont été considérés :

##### 6.1. Scénario 1 : Chauffage domestique – Plaquettes forestières

Le système inclut :

- le débardage des rémanents de coupes et le transport d'acheminement vers la déchiqueteuse (sur parcelle) ;
- le déchiquetage du bois humide en plaquettes forestières sur parcelle ;
- le transport d'acheminement des plaquettes depuis la parcelle jusqu'aux containers situés en bord de route ;

- le transport d'acheminement des plaquettes depuis le bord de route vers le lieu de stockage et de séchage des plaquettes ;
- le stockage et séchage des plaquettes chez le producteur (4 à 6 mois) ;
- le transfert par godet depuis l'aire de stockage sur le camion ;
- le transport depuis le site de stockage jusqu'à l'utilisateur ;
- la génération de chaleur (étape de combustion) ;
- la gestion des cendres en fin de vie : 50 % sont stockés en centre de stockage de classe II, 50 % servent à l'amendement des jardins particuliers.

### 6.2. Scénario 2 :

#### Chauffage domestique – Bûches

Le système inclut :

- l'abattage du bois et le façonnage en billons de 1 mètre (étape de bûcheronnage) ;
- le débardage des billons ;
- le transport des billons du bord de route vers le lieu de stockage et séchage ;
- le stockage et le séchage des billons ;
- le transport des billons jusqu'au site de conditionnement ;
- le conditionnement des billons en fagots (étape de conditionnement) ;
- le transport jusqu'au domicile de l'utilisateur par le revendeur ;
- le découpage des billons en bûches de 50 cm ;
- la génération de chaleur chez l'utilisateur ;
- la gestion des cendres en fin de vie : 50 % sont stockés en centre de stockage de déchets ultimes de classe II, 50 % servent à l'amendement des jardins particuliers.

### 6.3. Scénario 3 :

#### Chauffage domestique – Granulés

Le système inclut :

- le transport d'approvisionnement de la sciure issue de l'industrie du bois, depuis le fournisseur jusqu'au site de production des granulés ;
- le séchage des sciures ;
- la fabrication des granulés à partir de la sciure ;
- le conditionnement des granulés en sacs ;
- le transport de livraison des granulés depuis le producteur jusqu'à l'utilisateur ;
- la génération de chaleur par un poêle automatique chez l'utilisateur ;
- la gestion des cendres en fin de vie : 50 % sont stockés en centre de stockage de déchets ultimes de classe II, 50 % servent à l'amendement des jardins particuliers.

## 7. Sources des données utilisées

Les données techniques utilisées pour les calculs d'impact des filières bois sont issues :

- d'enquêtes auprès des acteurs : exploitants forestiers, revendeurs de bois combustible, fabricants de chaudières...
- de sources bibliographiques : un certain nombre de données sont extraites de diverses publications.

## 8. Résultats

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.

Les résultats montrent que le chauffage domestique au bois restitue plus d'énergie que ce qu'il consomme en termes d'énergie non renouvelable : une unité d'énergie non renouvelable consommée restitue entre 6 et 20 unités de chaleur selon le scénario. Le bilan dégradé de la filière granulés est lié à la fabrication des granulés, principalement dû au fonctionnement de la presse électrique de compactage des granulés, ainsi qu'à l'emballage en plastique qui permet un meilleur service rendu aux foyers disposant d'une faible surface de stockage pour le combustible.

Les résultats montrent le net avantage des filières bois en terme de bilan effet de serre comparativement aux énergies classiques.

Pour l'indicateur d'acidification de l'air, l'étape de combustion est prédominante pour cette catégorie d'impact quelle que soit la ressource énergétique. Elle est essentiellement due aux émissions d'oxydes d'azote et de soufre. Pour les filières bois, la préparation du combustible nécessite des consommations de carburant (engins mécaniques lors du débardage pour les bûches et plaquettes et séchage de la sciure pour la filière granulés) ont également une contribution significative aux émissions atmosphériques d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). La comparaison avec les énergies classiques montre que les scénarios bois sont bien positionnés par rapport au fioul et à l'électricité pour cet indicateur. Le gaz apparaît comme la meilleure filière pour cet indicateur.

La contribution à l'eutrophisation des eaux provient également des émissions atmosphériques d'oxydes d'azote lors de la combustion. En effet, ces oxydes d'azote émis dans l'air se retrouvent entraînés dans les sols et les eaux où ils se transforment en nitrates et participent ainsi au bilan nutritif.

Les étapes de préparation du combustible et des transports ont une contribution significative à l'eutrophisation à cause des émissions atmosphériques d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) liées aux carburants consommés. Le chauffage au gaz naturel et l'électricité apparaissent comme les plus bénéfiques pour cet indicateur.

Pour les filières bois, l'étape de combustion représente 95 % des émissions atmosphériques de métaux toxiques (contenus dans le bois). Le chauffage au gaz naturel se révèle comme le plus avantageux tandis que les systèmes de chauffage au bois présentent les bilans les plus préjudiciables.

Tableau 3.  
Comparaison des différents modes de chauffage.  
Comparison of the different heating processes.

	kWh énergie non renouvelable /kWh utile	Effet de serre [g éq. CO <sub>2</sub> /kWh utile]	Acidification de l'air [g éq. SO <sub>2</sub> /kWh utile]	Eutrophisation de l'eau [g éq. PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kWh utile]	METOX air [g/kWh utile]	METOX sols [g/kWh utile]
Bûches	Poêle (Rdt. 65 %)	0,08	39,6	0,39	0,06	2,12 E-02
	Chaudière classique (Rdt. 70 %)	0,07	33,1	0,36	0,06	1,10 E-02
Plaquettes	Chaudière classique (Rdt. 75 %)	0,05	33,2	0,36	0,06	8,28 E-03
Granulés	Poêle à granulés (Rdt. 85 %)	0,18	41,9	0,40	0,06	9,09 E-03
	Gaz	1,21	222	0,13	0,02	2,36 E-04
	Fioul	1,45	466	0,90	0,04	6,97 E-03
	Électricité	3,03	105	0,67	0,03	1,40 E-03

Les filières bois ressortent également comme les moins bien positionnées pour les émissions de métaux toxiques dans les sols. Ceci est lié aux métaux contenus dans les cendres, dont la moitié est considérée comme épandue en fond de jardin.

## 9. Conclusions

Les résultats montrent que les filières bois sont globalement bien positionnées sur l'ensemble des indicateurs retenus pour cette étude sauf pour les indicateurs sensibles aux émissions de métaux toxiques (Metox air et Metox sols). En particulier, le bois est bien positionné au niveau des bilans énergétiques, des bilans effet de serre.

La filière gaz se positionne assez bien pour chaque indicateur. La filière gaz n'a pas, en comparaison avec les autres filières étudiées, de points particulièrement faibles.

Le fioul est mal positionné par rapport aux autres filières sur les indicateurs acidification de l'air, effet de serre, pollution de l'eau et risques toxiques.

La filière électricité présente un intérêt pour l'indicateur effet de serre. Par contre cette filière présente un bilan énergétique dégradé par rapport aux autres filières étudiées.

### 9.1. Pistes d'amélioration de la filière bûches

L'automatisation aggrave le bilan de la filière. La mécanisation engendre en effet des consommations énergétiques supérieures, mais est également responsable de l'émission de métaux dans l'air et dans l'eau (consommation d'énergie électrique) et de risques toxiques supérieurs (consommation de gazole). L'amélioration des performances du matériel utilisé optimiserait le profil environnemental de la filière.

### 9.2. Pistes d'amélioration de la filière plaquette

Les impacts environnementaux liés à la production industrielle des plaquettes sont essentiellement dus au fonctionnement des moteurs thermiques. La maîtrise des distances de transports, l'adaptation des volumes de stockage au volume de transport des plaquettes, ainsi que l'amélioration des performances du matériel utilisé (réglage des moteurs) sont les clés d'une réduction de ces impacts.

### 9.3. Pistes d'amélioration de la filière granulés

La large disparité, selon les sources enquêtées, des consommations électriques liées à la fabrication dénote un manque d'optimisation du *process* de fabrication. Le potentiel de réduction des impacts énergétiques et environnementaux de la filière semble important et dépend essentiellement de l'amélioration des performances des technologies utilisées pour la granulation et des capacités de production des usines de fabrication.

L'ensachage plastique par unité de 20 kg, répondant à une consommation limitée de bois pour un chauffage au bois d'agrément, alourdit très sensiblement le bilan environnemental de la filière. Il serait bénéfique de privilégier des conditionnements de meilleure qualité environnementale (plastique recyclé, papier-carton recyclé).

### 9.4. Pistes d'amélioration commune aux filières bois

Une amélioration de la combustion permettrait de réduire les émissions de méthane (effet de serre) et les rejets de composés organiques volatils. Par ailleurs, toute augmentation du rendement de combustion permet de réduire d'autant les différents impacts liés aux activités amont (bûcheronnage, débardage, conditionnement, transports...).