

**ADEME**



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



**ADEME**

## Bilan environnemental du chauffage domestique au bois

Note de synthèse

Décembre 2005

**Bio Intelligence Service** - La mesure du facteur santé  
Ecologie industrielle - Santé nutritionnelle

Bio Intelligence Service S.A.S. - [bio@biois.com](mailto:bio@biois.com)  
1 rue Berthelot - 94200 Ivry-sur-Seine - France  
Tél. +33 (0)1 56 20 28 98 - Fax. +33 (0)1 58 46 09 95

Contacts Bio Intelligence Service S.A.S.

Eric LABOUZE

Yannick LE GUERN

+ 33 (0) 1 56 20 28 98

[eric.labouze@biois.com](mailto:eric.labouze@biois.com)

[yannick.lequern@biois.com](mailto:yannick.lequern@biois.com)

# Sommaire

AVANT PROPOS .....	3
<b>1. PRESENTATION GENERALE .....</b>	<b>4</b>
1.1. Principe .....	4
1.2. Méthodologie .....	4
1.3. Sources des données d'inventaire.....	5
1.4. Indicateurs environnementaux .....	5
<b>2. CHAUFFAGE DOMESTIQUE.....</b>	<b>6</b>
2.1. Scénarios considérés .....	6
2.2. Résultats .....	6
2.2.1. Bilan énergie primaire d'origine non renouvelable .....	6
2.2.2. Bilan Effet de serre .....	8
2.2.3. Acidification atmosphérique .....	9
2.2.4. Eutrophisation des eaux.....	9
2.2.5. Emissions de métaux toxiques dans l'air et dans les sols (METOX) .....	9
<b>3. CONCLUSIONS .....</b>	<b>11</b>
3.1. Bilan énergétique.....	11
3.2. Bilan effet de serre .....	11
3.3. Autres indicateurs.....	11
3.4. Pistes d'amélioration possibles du bilan environnemental du chauffage domestique au bois .....	12
3.4.1. Pistes d'amélioration de la filière plaquette .....	12
3.4.2. Pistes d'amélioration de la filière granulés .....	12
3.4.3. Pistes d'amélioration commune aux filières bois.....	12

## AVANT PROPOS

Cette étude a été :

- commandée par la Direction des énergies renouvelables, des réseaux et des marchés énergétiques de l'ADEME, suivie par Luc BODINEAU du département Bioressources.
- réalisée par BIO Intelligence Service (sur la base d'une première étude menée conjointement avec le COSTIC)

BIO Intelligence Service est un bureau d'études qui possède une forte expertise en évaluation environnementale et en Analyse de Cycle de Vie. Depuis sa création en 1989, BIO Intelligence Service a réalisé plusieurs dizaines d'ACV pour des secteurs d'activités très variés (énergie, déchet, industrie, biens de consommation, transport, bâtiment).

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.

Rédacteurs du rapport : Yannick LE GUERN

Eric LABOUZE

### BIO IS

Adresse : 1, rue Berthelot  
94200 Ivry-sur-seine

Téléphone : 01 56 20 28 98

Fax : 01 58 46 09 95

Mél : [bio@biois.com](mailto:bio@biois.com)

MARCHE 0301 C 0004 DU 23 OCTOBRE 2003

N° du marché : 0301 C 0004

Date du marché : 23 Octobre 2003

Durée : 5 mois

# 1. PRESENTATION GENERALE

Cette note synthétise les principaux résultats de l'étude du bilan environnemental du chauffage domestique au bois.

Cette étude a valeur de prospective et elle se place dans des hypothèses de meilleures technologies disponibles : chaudières présentant les meilleurs rendements, fonctionnement à la puissance nominale, valorisation des cendres, camions neufs, etc.

## 1.1. PRINCIPE

L'étude est basée sur la méthode de l'analyse de cycle de vie. L'analyse de cycle de vie appliquée au chauffage domestique au bois 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 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).

Le cycle de vie des équipements (fabrication et fin de vie) est exclu des frontières du système.

Pour faciliter la comparaison des différents systèmes de chauffage collectif et industriel, 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 ».**

## 1.2. METHODOLOGIE

Le bilan environnemental d'un système donné, dans une perspective de cycle de vie, repose sur le recensement et la quantification de tous les flux entrants et sortants du système considéré. Ces flux servent à quantifier :

- la consommation de matières premières (eau, minerais...),
- la consommation d'énergie (fossile, nucléaire et renouvelable),
- les émissions atmosphériques (CO<sub>2</sub> fossile, CH<sub>4</sub>, CO, COV, poussières, métaux...),
- les rejets liquides (DCO, MES, métaux lourds,...),
- les émissions dans les sols (métaux lourds...),
- la production de déchets solides (dangereux, banals, inertes).

L'inventaire de ces flux, sur l'ensemble d'une filière ou d'un système donné, se décompose en deux phases :

- la première consiste à quantifier l'ensemble de ces flux de manière distincte pour chaque étape de la filière,
- la seconde a pour objet de sommer ces flux : cette étape nécessite de relier ou d'agréger les étapes du système entre elles. Dans l'étude toutes les étapes sont agrégées selon l'unité fonctionnelle choisie : 1 kWh rendu chez l'utilisateur ou l'exploitant.

Cette phase d'analyse des flux permet ensuite une approche synthétique au travers de l'étude des indicateurs d'impacts environnementaux.

### **1.3. SOURCES DES DONNEES D'INVENTAIRE**

Pour les filières bois, les données utilisées sont issues d'une enquête de terrain (pour la détermination des flux dans la phase de mise à disposition du combustible) et données bibliographiques (essentiellement pour les facteurs d'émission lors de la combustion : données ADEME).

Pour les autres sources d'énergie, il s'agit de données bibliographiques : ETHZ Zürich (Okoinventare für energiesysteme ETH Zurich -1996, références utilisées pour toutes les ACV) et de l'Agence de Protection de l'Environnement des USA (US EPA) pour les facteurs d'émission de combustion.

### **1.4. INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX**

L'étude des impacts environnementaux est réalisée au travers de la lecture de différents indicateurs qui sont regroupés de la manière suivante :

- bilan énergétique ;
- bilan effet de serre ;
- autres indicateurs environnementaux :
  - pollution de l'air (acidification) ;
  - pollution de l'eau (eutrophisation) ;
  - émissions de métaux toxiques dans l'air et dans les sols.

La définition des indicateurs environnementaux utilisés dans cette étude se trouve en annexe de la présente synthèse.

## 2. CHAUFFAGE DOMESTIQUE

### 2.1. SCENARIOS CONSIDERES

Dans le cadre du chauffage au bois, il a été choisi de distinguer trois types de combustibles que sont la bûche, la plaquette forestière ou bocagère et le granulé.

Les appareils de combustion bois sont présentés dans le tableau suivant :

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 NOx » 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%.

### 2.2. RESULTATS

#### 2.2.1. BILAN ENERGIE PRIMAIRE D'ORIGINE NON RENOUVELABLE

Le tableau suivant présente le bilan de la consommation d'énergie primaire non renouvelable des scénarios de chauffage domestique au bois.

kWh énergie non renouvelable / kWh utile			Unité d'énergie utile rendue par unité d'énergie non renouvelable consommée
Bûches	Poêle (Rdt. 65%)	0.08	13
	Chaudière classique (Rdt. 70%)	0.07	14
Plaquettes	Chaudière classique (Rdt. 75%)	0.05	20
Granulés	Poêle à granulés (Rdt. 85%)	0.18	6

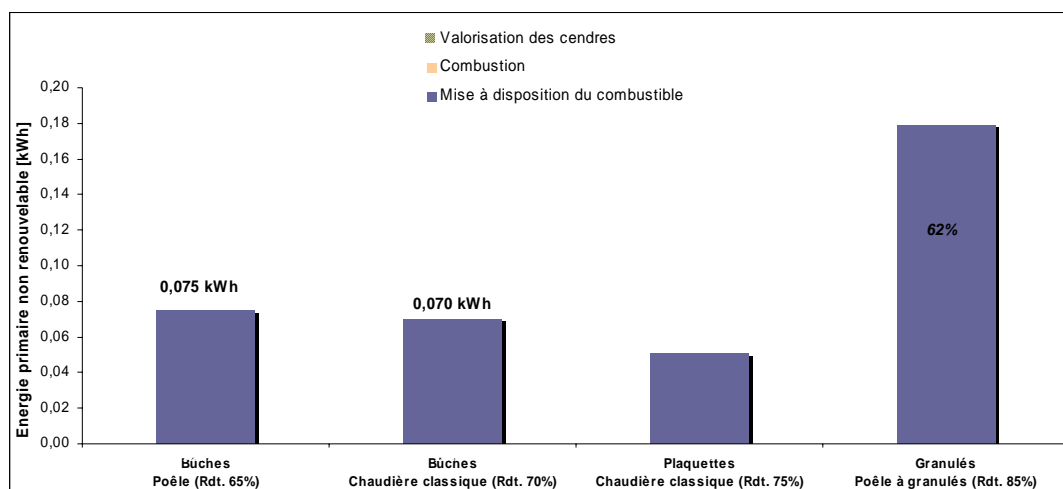
Les résultats montrent que le chauffage domestique au bois restitue plus d'énergie que ce qu'il consomme en terme d'énergie non renouvelable : une unité d'énergie non renouvelable consommée restitue entre 6 et 20 unités de chaleur selon le scénario. Le bilan dégradé de la filière granulés est lié à l'emballage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

On présente la comparaison avec les énergies classiques dont les résultats ont été établis à partir de données bibliographiques dans le tableau suivant.

kWh énergie non renouvelable / kWh utile		Unité d'énergie utile rendue par unité d'énergie non renouvelable consommée	
Gaz	1.21		0.8
Fioul	1.45		0.7
Électricité	3.03		0.3

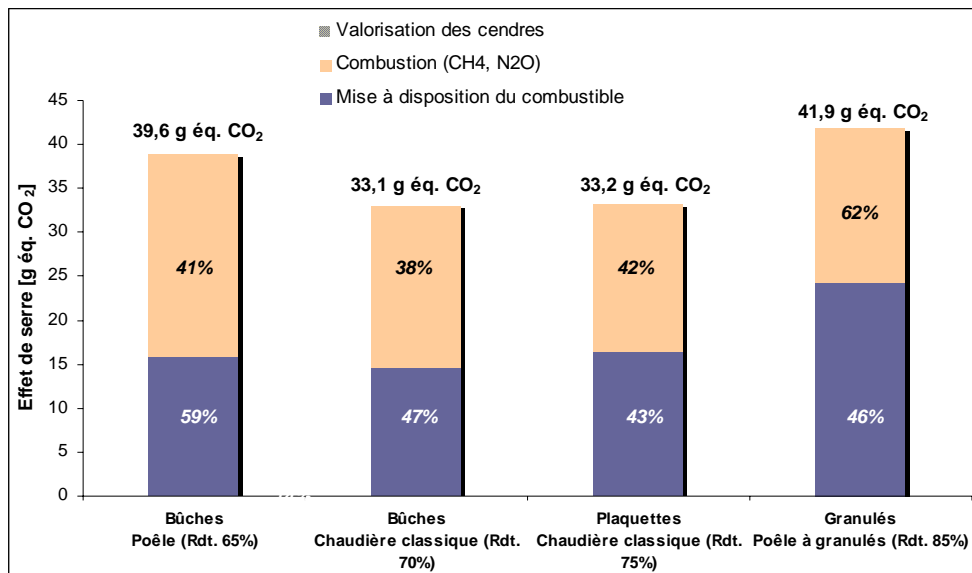
Le chauffage basé sur l'utilisation d'énergies traditionnelles consomme plus d'énergie qu'il n'en restitue.

Comme le montre le graphique suivant, la consommation d'énergie primaire non renouvelable est liée à l'étape de mise à disposition du combustible.



## 2.2.2. BILAN EFFET DE SERRE

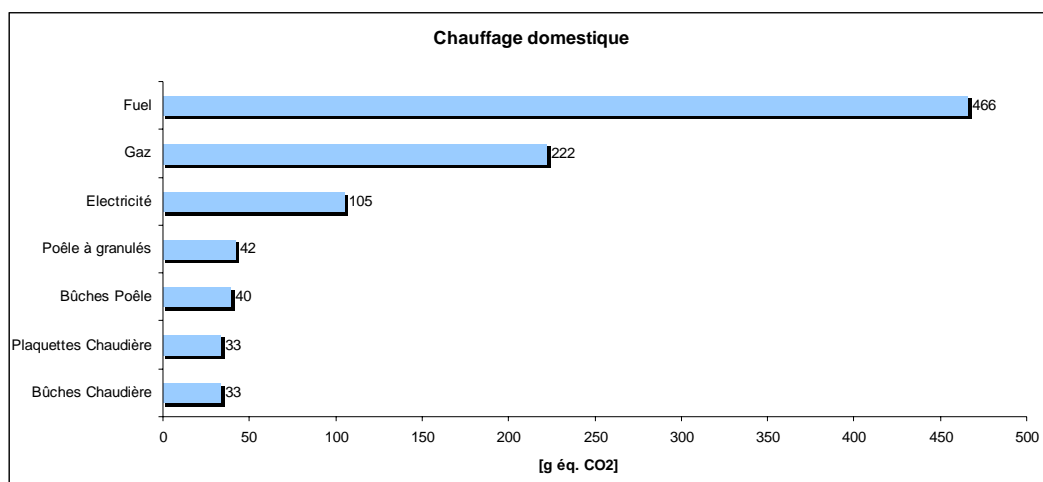
Le graphique suivant présente les résultats du bilan effet de serre des scénarios de chauffage domestique au bois (production d'1 kWh utile chez l'utilisateur).



Les résultats montrent une importante contribution de l'étape de mise à disposition du combustible. Ceci est lié à l'utilisation des engins intervenant pour la préparation et les transports du bois (bûcheronnage, débardage...).

La contribution de l'étape de combustion à l'effet de serre est liée aux émissions de méthane et protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).

La figure suivante montre le net avantage des filières bois en terme de bilan effet de serre comparativement aux énergies classiques.





### 2.2.3. ACIDIFICATION ATMOSPHERIQUE

Pour les scénarios bois, l'étape de combustion est prédominante pour cette catégorie d'impact (entre 80% et 90%). Elle est essentiellement due aux émissions d'oxydes d'azote et de soufre.

Le tableau suivant montre le positionnement des scénarios bois par rapport aux énergies classiques.

		Acidification de l'air [g éq. SO <sub>2</sub> / kWh utile]
Bûches	Poêle (Rdt. 65%)	0.388
	Chaudière classique (Rdt. 70%)	0.360
Plaquettes	Chaudière classique (Rdt. 75%)	0.358
Granulés	Poêle à granulés (Rdt. 85%)	0.395
Gaz		0.128
Fioul		0.904
Électricité		0.669

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.

### 2.2.4. EUTROPHISATION DES EAUX

Pour les scénarios bois, les oxydes d'azote émis lors de la combustion sont les principaux contributeurs à l'eutrophisation des eaux. En effet, les oxydes d'azote émis dans l'air se retrouvent entraînés dans les sols et dans l'eau où ils se transforment en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et participent ainsi au bilan nutritif.

		Eutrophisation [g éq. PO <sub>4</sub> / kWh utile]
Bûches	Poêle (Rdt. 65%)	0.061
	Chaudière classique (Rdt. 70%)	0.057
Plaquettes	Chaudière classique (Rdt. 75%)	0.061
Granulés	Poêle à granulés (Rdt. 85%)	0.055
Gaz		0.016
Fioul		0.037
Électricité		0.031

Le chauffage au gaz naturel et l'électricité apparaissent comme les plus bénéfiques pour cet indicateur.

### 2.2.5. EMISSIONS DE METAUX TOXIQUES DANS L'AIR ET DANS LES SOLS (METOX)

		METOX air [g / kWh utile]	METOX sols [g / kWh utile]
Bûches	Poêle (Rdt. 65%)	2.12.E-02	1.6.E-03
	Chaudière classique (Rdt. 70%)	1.10.E-02	1.5.E-03
Plaquettes	Chaudière classique (Rdt. 75%)	8.28.E-03	2.5.E-03
Granulés	Poêle à granulés (Rdt. 85%)	9.09.E-03	3.3.E-03
Gaz		2.36.E-04	5.0.E-05
Fioul		6.97.E-03	1.3.E-06
Électricité		1.40.E-03	3.0.E-06

### **Émissions atmosphériques de métaux toxiques (METOX) :**

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.

### **Métaux toxiques dans les sols (METOX) :**

Les filières bois ressortent comme les moins bien positionnées pour cet indicateur. Ceci est lié aux métaux contenus dans les cendres, dont la moitié est considérée comme épanchée en fond de jardin.

## 3. CONCLUSIONS

### 3.1. BILAN ENERGETIQUE

Le bilan des consommations d'énergie non renouvelable est largement favorable pour les systèmes de chauffage au bois. Le bilan dégradé de la filière granulés est lié à l'emballage en plastique qui permet un meilleur service rendu aux foyers disposant d'une faible surface de stockage pour le combustible.

### 3.2. BILAN EFFET DE SERRE

Concernant le bilan effet de serre, les systèmes de chauffage au bois sont bien positionnés même par rapport à l'électricité, quel que soit le modèle de production d'électricité considéré (Français ou Européen).

Le gaz et surtout le fioul sont nettement moins bien positionnés.

### 3.3. AUTRES INDICATEURS

Dans le tableau récapitulatif ci-dessous, le symbole ↗ indique un impact potentiel additionnel (préjudice environnemental) des modes de chauffage traditionnels par rapport au chauffage au bois. A contrario, le symbole ↘ indique un bénéfice environnemental des modes de chauffage traditionnels par rapport aux scénarios bois. Le symbole « = » indique un impact environnemental peu différent des scénarios bois.

Écart par rapport aux scénarios de chauffage collectif et industriel au bois	Filière gaz	Filière fioul	Filière électricité
Acidification de l'air	↘↘	↗↗↗	↗↗
Eutrophisation de l'eau	↘↘	=	↘↘
METOX air	↘↘↘	↘	↘↘
METOX sols	↘↘	↘↘	↘↘

### 3.4. PISTES D'AMELIORATION POSSIBLES DU BILAN ENVIRONNEMENTAL DU CHAUFFAGE DOMESTIQUE AU BOIS

#### 3.4.1. PISTES D'AMELIORATION DE LA FILIERE BUCHES

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.

#### 3.4.2. PISTES D'AMELIORATION DE LA FILIERE PLAQUETTE

##### ■ Mécanisation performante

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.

#### 3.4.3. PISTES D'AMELIORATION DE LA FILIERE GRANULES

##### ■ Amélioration du process

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.

##### ■ Limitation du conditionnement

L'ensachage plastique des bûches 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).

#### 3.4.4. PISTES D'AMELIORATION COMMUNE AUX FILIERES BOIS

##### ■ Amélioration de la combustion

Une amélioration de la combustion permettrait de réduire les émissions de CH<sub>4</sub> (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...).

## GLOSSAIRE

► Sur les impacts environnementaux

### **Acidification de l'air**

Augmentation de la quantité de substances acides dans la basse atmosphère, à l'origine de « pluies acides », du dépérissement de certains écosystèmes forestiers et écosystèmes d'eau douce. L'unité retenue pour évaluer la contribution d'une substance à l'acidification est exprimée en g d'équivalent  $\text{SO}_2$ .

### **Effet de serre**

Augmentation de la température moyenne de l'atmosphère induite par l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne de diverses substances d'origine anthropique ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , CFC, etc.). L'indicateur retenu pour évaluer l'impact potentiel sur l'effet de serre d'une substance est le GWP (global warming potential), exprimé en kg d'équivalent  $\text{CO}_2$ .

### **Eutrophisation des eaux**

Introduction de nutriments, notamment sous la forme de composés azotés et phosphatés, qui conduisent à la prolifération d'algues. Ce phénomène peut conduire à la mort de la faune et la flore du milieu aquatique considéré (du fait de l'épuisement du milieu en oxygène). L'unité retenue pour évaluer l'eutrophisation est le kg d'équivalent phosphate ( $\text{PO}_4$ ).

### **METOX**

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.