



Route du Col de Jau  
66500 MOSSET  
Tél : 04 68 05 05 51  
Fax : 09 77 46 23 29  
bois.energie66@wanadoo.fr

Mission départementale  
Promotion de la filière  
bois-énergie

Faisabilité Chaufferie Bois

## Chauffage des Serres Agricoles 3 cas types en Pyrénées Orientales

Commanditaire :  
GDA Serristes  
Président : Valéry GOY

Suivi :  
Chambre d'Agriculture  
Damien Gauvrit



### Objet du document :

Pré-étude de faisabilité technico-économique  
Mise en place de Chaufferies Bois pour le chauffage des Serres

### Réalisation de l'étude :

Bois Energie 66 : Thomas Sabatier  
Ingénieur Conseil : Guy SERRES



Edition : 17 mai 2010      Version : 3  
Rédaction du document : Thomas Sabatier, Bois Energie 66

# SOMMAIRE

Présentation de l'étude .....	3
1- Contexte .....	3
2- Raisonement suivi .....	3
4- Hypothèses retenues pour l'étude .....	4
5- Note sur les combustibles issus de la biomasse .....	5
Cas n°1 : Serre de Pézilla-la-Rivière (0,59 ha) – Mr MARTY .....	8
1 – Faisabilité technique .....	8
2 – Faisabilité économique .....	10
3 - Bilan environnemental .....	11
4 - Approvisionnement en combustible bois .....	11
Cas n°2 : Serre de Palau-del-Vidre (1,8 ha) – Mr CONGOST .....	12
1 – Faisabilité technique .....	12
2 – Faisabilité économique .....	13
3 – Bilan environnemental .....	14
4 - Approvisionnement en combustible bois .....	14
Cas n°3 : Serre de Saint-Cyprien (10 ha) – Mr GOY .....	15
1 – Faisabilité technique .....	15
2 - Faisabilité économique : .....	16
4 - Approvisionnement en combustible bois .....	18
Note sur la COGENERATION à partir de BIOMASSE .....	19
Synthèse des informations actuelles : .....	19
Possibilité d'application de Cogénération sur les serres : .....	20
Note sur la ressource du département en BIOMASSE .....	21
Les aides financières : .....	6
ADEME : Fonds chaleur : 1 milliard d'euros sur trois ans (2009-2011) .....	6
France Agri Mer .....	6
CEE : Certificats d'économie d'énergie .....	6
Conclusion .....	24
SUITE A DONNER : .....	25
ANNEXES .....	26
Glossaire .....	26
Note sur le dimensionnement des chaudières bois .....	23
Cas n°1 : Serre de Pézilla-la-Rivière (0,59 ha) – Mr MARTY .....	27
Cas n°2 : Serre de Palau-del-Vidre (1,8 ha) – Mr CONGOST .....	32
Cas n°3 : Serre de Saint-Cyprien (10 ha) – Mr GOY .....	42
Coûts de la mobilisation du bois et production de bois décheté .....	48
La plaquette forestière .....	49
Les combustibles issus des industries du bois .....	50
Les combustibles issus des déchets de bois .....	51
Participants à la réunion de restitution du 29 avril 2010 : .....	52
Bibliographie : .....	52

# Présentation de l'étude

## 1- Contexte

En 2009,  $\approx$  100 ha de Serres chauffées en Pyrénées Orientales, à 100 % par des énergies fossiles. Leur consommation est d'environ 190 000 MWh/an, soit 16 000 TEP/an ou équivaldraient encore à 20 000 000 de litres de fioul/an.

Environ 60 ha de Serres sont équipés de réseaux de chauffage hydraulique (les autres étant à air pulsés) et peuvent donc changer facilement de type d'énergie, en remplaçant leur chaudière.

Les coûts énergétiques des Serristes représentent une part importante dans leur coût de production : au moins un tiers.

L'utilisation du Bois comme combustible en substitution des fossiles présente plusieurs avantages :

- Energie renouvelable : stock non limité tant qu'une gestion durable des forêts est assurée.
- Peu de polluants atmosphériques rejetés (si chaudière et filtres modernes).
- Bilan carbone faible : le CO<sub>2</sub> émis lors de la combustion est celui capté durant la croissance de l'arbre. Les émissions se résument aux procédés de production-stockage-transport.
- Energie locale : Gisement et coûts de production connus et maîtrisés à moyen terme (20 ans).
- Energie peu dépendante des pays exportateurs de pétrole et non indexée sur ce dernier.

## 2- Raisonnement suivi

Pour avoir une juste comparaison entre le gaz et le bois, nous nous baserons sur un calcul du coût du MWh utile (MWhU) c'est-à-dire intégrant le rendement des chaufferies.

Nous prendrons également en compte les coûts d'exploitation type maintenance et renouvellement de matériel.

*Quelques notions pour bien comprendre l'étude :*

**L'énergie Utile** correspond à l'énergie réellement utile dans un procédé. (MWhU)

Pour l'obtenir, on déduit de l'énergie Finale toutes les pertes de chaleur.

Pour cela, on prend en compte les rendements des systèmes :

Système de production de chaleur, régulation, réseau-distribution-restitution...

Le combustible utilisé sera lui, exprimé en énergie finale (MWhF).

**L'énergie Finale** correspond à l'énergie telle qu'elle est facturée à un consommateur : kWh électrique, m<sup>3</sup> de gaz, tonne de bois...

Les chaudières à bois étant rarement équipées de système de condensation des fumées (contrairement au gaz), le MWhF de bois est exprimé généralement sur PCI et non sur PCS.

Le principe de calcul du coût du MWh utile est de faire la somme de tous les coûts d'exploitation ramenés à l'année et de les diviser par le nombre de MWh utiles produits annuellement :

P1 : Achat d'énergie et consommations annexe de la chaufferie (combustible, électricité, eau...)

P2 : Maintenance

P3 : Renouvellement matériel : Il s'agit de provisionner des fonds chaque année afin de renouveler le matériel en fin de vie

P4 : Non considéré comme un coût d'exploitation, il correspond à l'amortissement de l'installation. Généralement, il s'agit de l'investissement de la chaufferie + des frais financiers liés à un emprunt bancaire, avec un taux et une durée définies. On peut alors calculer le remboursement annuel.

Le coût du complément de CO<sub>2</sub> liquide à acheter, du à la chaudière bois, à également été intégré.

### 3- Hypothèses retenues pour l'étude

#### Prix des énergies :

	unité vente	prix unité (livré)	kWh PCS /unité	kWhPCI/ unité	prix €HT /MWh	tonne de CO2/MWh	kg SO2 /MWh	Rendement global	
Electricité	kWh	0.05 €		1	54.4	0.18334	0.35011	95%	livré
Gaz naturel	m3	0.42 €	11.5	11	38.0	0.19829	0.00097	100%	livré
Propane	tonne	800.00 €	13800	12800	62.5	0.22821	0.00099	86%	livré
Plaquette	MAP	22.50 €		1000	22.5	0	0	81%	livré

Rendement chaufferie : (énergie utile/énergie finale).

Pour le bois : 81 %

Pour le gaz, 100% si condensation (il s'agit du rendement sur PCI et non sur PCS)

Si la chaudière ne condense pas, le rendement est de 86 %.

- Electricité :

Tarif Edf vert A8 MT (Psouscrite > 250kVA) : 54 €/MWhF électrique.

Moyenne entre mois d'été et mois d'hiver Proportion 1 Heure Pleine pour 1 Heure Creuse.

- Consommation d'électricité de la chaufferie bois : 5 % de la consommation de biomasse [MWhF].

- Consommation d'électricité de la chaufferie gaz : 2 % de la consommation de gaz [MWhF].

Une chaufferie bois a une consommation d'électricité plus importante, due aux appareils électriques auxiliaires (désileur, tapis roulant, vis ou poussoir d'introduction, allumeur...)

De même pour le P2 : La chaudière bois étant de technologie plus complexe, elle nécessite plus d'entretien que pour une chaudière gaz classique.

- Gaz naturel :

D'après des données des Serristes. Le prix de vente actuel est de 38 € HT/MWhF

- Bois énergie :

Le bois déchiqueté actuellement n'est pas un combustible certifié ou normé dans le département.

Il est généralement vendu au m<sup>3</sup> apparent de plaquette (**MAP**) ou à la tonne.

Son contenu énergétique peut fortement varier, selon son taux d'humidité et sa granulométrie.

Le coût du MWhF bois déchiqueté varie selon ces critères, selon l'origine du bois : forêt, sous-produit d'industrie du bois (dosses,... ) ou bois de rebuts (palettes...) et selon les fournisseurs.

Un tableau détaillé est donné page suivante.

*Le prix de l'énergie, bien que cela paraisse évidemment très peu probable est considéré comme constant, sur 20 ans. L'euro est également supposé constant.*





#### Concernant les aides financières :

Dans tous les cas, on a supposé une aide de France AgriMer (ex Vinhiflor) de 40 % du surcoût.

Surcoût = Investissement chaufferie bois - investissement chaufferie de référence (gaz ou propane).

Cette aide est portée à 60%, plafond maximum de l'encadrement européen, avec les fonds chaleur. Elle n'a été prise en compte que pour les mélanges de combustible incluant du forestier, car c'est une condition imposée.

#### 4- Note sur les combustibles issus de la biomasse

PRESENTATION DES COMBUSTIBLES BIOMASSE ENVISAGEABLES						Coût € HT	
	Type	Essence	Tx hum HMB	$\rho$ [kg/MAP]	PCI [kWh/t]	/t	/MwhF
	Plaquette Forestière 25 x 25 x 5 mm	Mélange Résineux + feuillus (50/50)	30 %	315	3 396	102	≈ 30
			50 %	441	2 232	45	≈ 18-20
	Plaquette Industrielle 20 x 40 x 80 mm	Pin	30 %	230	3 403	63	≈ 19
	Plaquette Bois de rebuts 40 x 40 x 80 mm	Pin	15 %	184	4 278	65	≈ 15
	Granulé de bois (Sciure pressée) Ø 6 mm	diverses	≈ 5 %	700	5 500	270	≈ 50
Ecorces, T(T)CR (Taillis (Très) Courte Rotation), Canne de Provence, Râpe de raisin, Coquilles d'amandes, grignons d'olive, noyaux...							

Le Combustible granulé est nettement plus coûteux que le combustible bois déchiqueté, de par son procédé de fabrication. A partir d'une puissance d'environ 100 kW, il devient plus intéressant économiquement d'utiliser du bois déchiqueté.

Les Serres agricoles sont généralement équipées de chaudières de moyennes voir grosses puissances. Une chaudière bois de grosse puissance a une plus grande tolérance sur la granulométrie et le taux d'humidité du combustible qu'une chaudière de petite puissance.

De ce fait, le combustible biomasse retenu pour cette étude est le bois déchiqueté.

#### Données utilisées :

	Granulométrie	taux d'humidité	PCI [kWh/t]	€ HT/t	€ HT/MWh	€ TTC/MWh
PF plaquette forestière	25x25x5 mm	30%	3 396	101.88	30	31.65
PBDR plaquette bois de rebuts	20x40x80 mm	30%	3 403	51.05	15	15.83
Coût 50% PF / 50% PBDR	mix	30%	3 400	76.46	22.5	23.74
Coût 50% PF / 50% PBDR	mix	<b>50%</b>	2 234	60.00	26.9	28.33
Coût combustible 80 % PF	mix	30%	3 397	91.71	27	28.49

Ces chiffres sont des données moyennes issues de corrélations entre des coûts donnés par des fournisseurs du département et des mesures réalisées par le CIRAD pour Bois Energie 66.

On peut remarquer que 1 tonne de bois à H50% contient 1/3 d'énergie de moins que à H30%.

Cependant, une chaudière qui tolère du bois à H50 peut être approvisionnée en flux tendu, directement du chantier forestier, ce qui évite les contraintes de stockage/séchage.

## Les aides financières :

### ADEME : Fonds chaleur : 1 milliard d'euros sur trois ans (2009-2011)

Gamme de production énergétique en tep/an biomasse sortie chaudière	Aide en €/tep biomasse sortie chaudière (calcul de l'aide par addition des tranches)
0 à 250 tep (0 à 1 ha)*	1100
250 à 500 tep (1 à 2 ha)*	1100
500 à 1000 tep (2 à 4 ha)*	600
>à 1000 tep (> 4 ha)*	Appel à projet BCIAT

\*surface éq pour serre avec base 300 kWh/m<sup>2</sup> **indicatif**

Source : Présentation ADEME du 16 décembre 2009 - Rencontre technique "Energie en serre" - CTIFL de Balandran

Une des lignes directrice est que le coût du MWh utile incluant P1+2+3+4 doit être entre 5 et 15 % moins cher pour le bois que pour la solution de référence.

Les aides appliquées à nos trois serres seraient les suivantes :

Exemples	0,59 ha	1,8 ha	10 ha
sortie chaudière tep/an	75	329	1 715
Simulation aide fonds chaleur	81 961 €	361 674 €	AAP BCIA
Investissement € HT :	477 100 €	514 700 €	
Taux d'aide :	17%	70%	

Cependant, le taux d'aide, selon l'encadrement européen, est plafonné à 60 %.

**Plan Bois-Energie** : il s'agit d'un regroupement de financeurs : ADEME + REGION Languedoc-Roussillon (& crédits FEDER) + Conseil Général 66. Ils peuvent intervenir dans l'aide qui sera calculée sur la base du Fond Chaleur.

### France Agri Mer

Intervention à hauteur de 40 % de l'investissement pour les serristes appartenant à des OP Nationales sur un plafond maximum de 1 M€.

Le cumul des aides ne doit pas dépasser 60 % des coûts éligibles.

### CEE : Certificats d'économie d'énergie

Réalisables pour :

- Open Buffers : 340 kWh/m<sup>2</sup> cumac
- Ordinateurs climatiques : 140 kWh/m<sup>2</sup> cumac

Simulation : pour un prix de rachat moyen : 1.5 €/MWh soit 0.0015 €/kWh

Pour une serre de 18 000 m<sup>2</sup> qui s'équipe d'open buffer : 18 000 x 340 x 0.0015 = 9 180 €

## Note concernant l'achat de CO<sub>2</sub> liquide

Pour les Serristes qui sont équipés de chaudières gaz (réseau ou propane), il est possible de réinjecter les fumées de la chaudière dans la Serre. Cela permet un apport de CO<sub>2</sub> aux plantes qui stimule leur croissance.

Les plantes ont besoin de CO<sub>2</sub> le jour et de chaleur essentiellement la nuit. Les Serristes font donc généralement fonctionner la chaudière le jour pour produire le CO<sub>2</sub>, et stockent l'énergie inutilisée dans le ballon tampon (Open Buffer), qui la restituera la nuit.

Pour les périodes de culture sans besoin de chauffage, certains serristes achètent du CO<sub>2</sub> liquide qu'ils stockent dans des cuves.

Il semble qu'il n'est pas possible de récupérer le CO<sub>2</sub> contenu dans les fumées issues de la combustion du bois. Dans le cas d'une chaufferie bois, il est donc nécessaire d'acheter un complément aussi pour la saison de chauffe.

Dans notre étude, nous avons calculé, pour les deux serres (1.8 ha et 10 ha), la quantité de CO<sub>2</sub> récupérable des chaudières gaz lorsqu'elles fonctionnent en appoint de la chaudière bois. Nous supposons que 50 % de ce CO<sub>2</sub> est valorisable car produit aux moments opportuns. Il est donc nécessaire d'acheter un complément.

La consommation de CO<sub>2</sub> des plantes sur les 8 mois de chauffage (Septembre à Avril) est de l'ordre de 200 tonnes/ha. Cela permet d'assurer une diffusion constante de 90 kg/ha/heure pendant 8h/jour.

La consommation totale de CO<sub>2</sub> à l'année peut s'élever à 300 tonnes/ha.

## Cas n°1 : Serre de Pézilla-la-Rivière (0,59 ha) – M r MARTY

### Descriptif de l'existant :

- une serre DPG (Double Paroi Gonflable) de 2 000 m<sup>2</sup>
- une serre-verre de 3 900 m<sup>2</sup>

Culture : concombres

Période de culture : 2 rotations soit 11 mois/an dont 6 mois avec chauffage

Système de chauffage :

- chaudière à condensation gaz propane (500 kW) en base + tubes rails et tuyaux forcas
- générateurs à air pulsé gaz propane (1 042 kW) en appoint

Puissance totale installée : 1,5 MW

Consommation : 50 tonnes de propane par serre, soit environ 100 tonnes au total.

### Choix de la Solution de référence

Par comparaison, achat d'une Chaudière gaz propane 300 kW, raccords hydrauliques et électriques nécessaires.

### Solution bois énergie

Mise en place d'une chaufferie Bois en Base pour la production de chauffage

Conservation des Chaudières propane existantes en appoint pour la période hivernale.

## 1 - Faisabilité technique

### 1.0 Dimensionnement et description de la technologie de chaudière

Dimensionnement selon DJU.

Puissance de la chaudière bois pour couvrir 70 % des besoins de chaleur : 300 kW. Cette puissance tient compte des rendements des systèmes.

Type de foyer : grille mobiles  
Echangeur : Tubes de fumées  
Désilage : Echelles de racleurs  
Convoyage : Vis sans fin  
Alimentation chaudière : Vis sans fin  
Décendrage : Vis sans fin et Bac à cendres  
Traitement fumées : Filtre multi cyclone

### 1.1 - Implantation de la chaufferie

Le local de la chaufferie actuelle est trop petit pour accueillir la chaudière bois. Il est donc nécessaire de construire un nouveau local. Ce nouveau local peut être implanté à la place de l'actuel.

### 1.2 - Dimensionnement du silo

Consommation annuelle : ≈ 1 000 MAP (Mètre cube Apparent de Plaquettes)

Consommation janvier : 250 MAP

Consommation pour 15 jours en période froide : 125 MAP

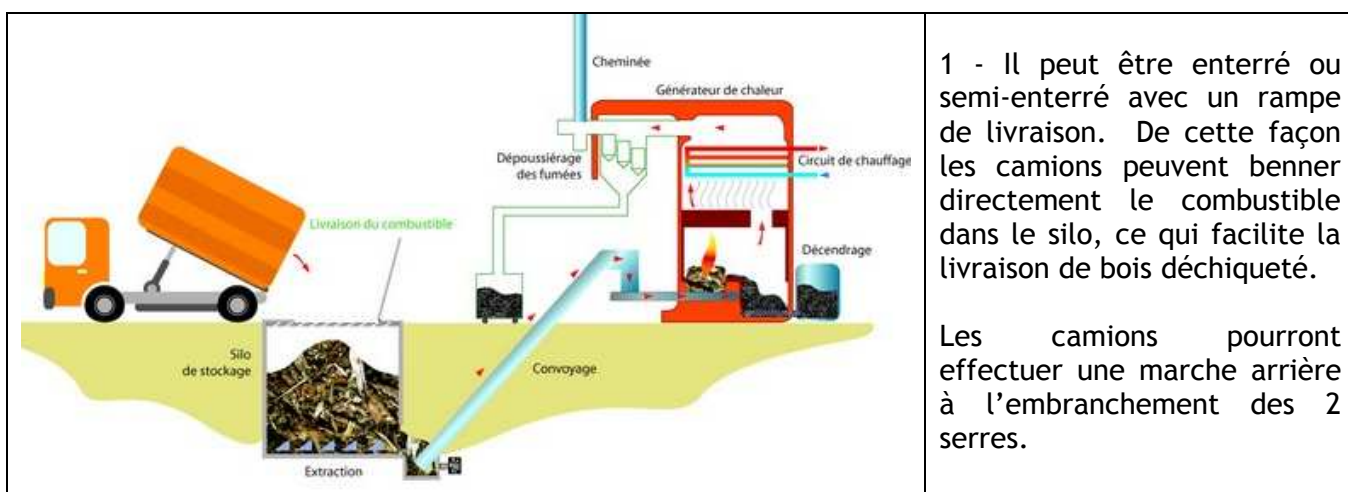
Volume mort du silo : 25 %

Volume brut total du silo pour une autonomie de 15 jours : ≈ 150 m<sup>3</sup>

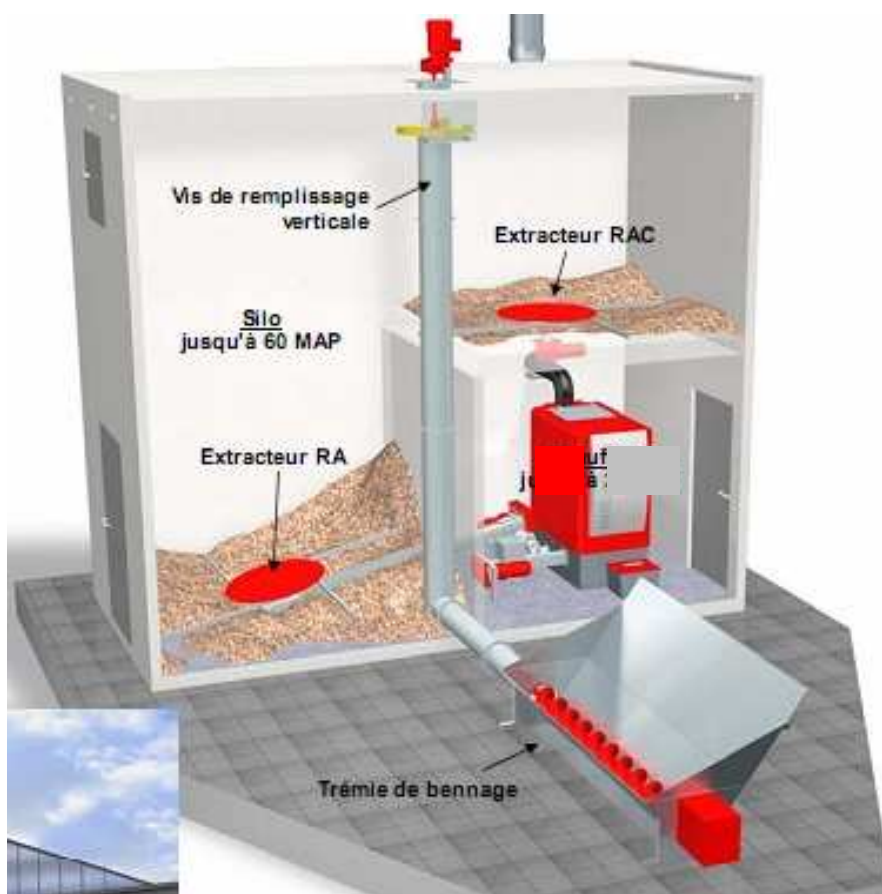


### 1.3 - Implantation du silo

Le silo sera accolé à la chaufferie. Plusieurs solutions possibles :



2 - faire un silo de plein pied, avec un système de remplissage par trémie et vis verticale qui remonte le combustible : Schéma de principe :



Ce système permet de réduire les frais de génie civil et de terrassement. Cependant le camion est mobilisé plus longtemps sur la livraison :

Débit de la vis : 50 m<sup>3</sup>/h

Temps de remplissage pour un silo de 125 m<sup>3</sup> utiles : 2.5 heures.

## 2 - Faisabilité économique

### Détail de l'investissement :

	Tout Propane	Bois + Prop	unité
<b>Investissement :</b>			
Chaudière + déssilage-convoyage combustible	15 000	86 000	€ HT
Raccordement Hydraulique	2 500	41 000	€ HT
Réseau de tubes-rails		236 000	€ HT
Echangeurs (2) + collecteurs (800m)		7 600	€ HT
Open Buffer 50 m3		25 000	€ HT
Electricité	2 500	10 000	€ HT
Gros œuvre Silo 150 m3 brut		45 000	€ HT
Gros Œuvre Chaufferie		26 500	€ HT
<b>Total hors Génie Civil</b>	<b>20 000</b>	<b>405 600</b>	€ HT
<b>Total avec Génie Civil</b>	<b>20 000</b>	<b>477 100</b>	€ HT
<b>Surcoût de la chaufferie Bois</b>		<b>457 100</b>	€ HT

### Synthèse des résultats : Coûts d'exploitation et rentabilité de l'investissement :

Deux hypothèses sont prises : pour un combustible bois à 22.5 €/MWh (mélange forestier-rebut 50%/50%) et 15 €/MWh (100% rebut).

Tableau de synthèse	Bois 30 €HT/MWhF				Bois 15€ HT/MWhF		
	Propane	Bois +	Prop.		Propane	Bois+Prop.	
Consommation combustible	1 326	1 070	318	MWhF/an	idem	idem	MWhF/an
P1 total	100 810		53 049	€ TTC/an	100 810	44 613	€ TTC/an
P2 entretien	2 000		5 200	€ HT/an			€ HT/an
P3 provisions pour renouvellement matériel	600		12 968	€ HT/an			€ HT/an
total P1+2+3	103 410		71 217	€/an	103 410	62 781	€/an
Economie générée par le bois			32 194	€/an		40 630	€/an
Investissement (= Capital)	20 000		477 100	€	20 000	477 100	€
Temps de retour brut hors frais financiers			15	ans		12	ans
Capital + Intérêts Prêt à 4% sur 20 ans			702 117	€		702 117	€
Temps de retour brut avec frais financiers			22	ans		17	ans
Si Aides Vinhiflor de 40 % du surcoût			182 840				
Restant à payer pour le Maître d'ouvrage			294 260				
Temps de retour brut sans frais financiers			9	ans		7	ans
Temps de retour brut avec frais financiers			13	ans		11	ans
+ Aides Fonds Chaleur (max 60 % du surcoût)			274 260				
Restant à payer pour le Maître d'ouvrage			202 840				
Temps de retour brut sans frais financiers			6	ans			
Temps de retour brut avec frais financiers			9	ans			
Nombre de MWh utiles produits /an	1 140						
Coût du MWh utile incluant P1+2+3	91		62	€ TTC		55	€ TTC

Le temps de retour brut est important :

Sans inclure aucune aide, et avec frais financiers aux conditions indiquées, 17 ans.

Passé ce délai, l'économie annuelle varie de 30 000 € à 40 000 € selon le type de bois.

=> Voir tous les détail de ce calcul en ANNEXES

### 3 - Bilan environnemental

<b>Par an :</b>	
Propane substitué	79 tonnes
Tonnes Equivalent pétrole substituées :	87 TEP
Emissions de CO2 évitées	230 Tonnes
Surface forestière entretenue si utilisation 50% PF	4 Ha

#### **Production de cendres :**

Taux de cendre (sur masse brute) :	2 %
Consommation annuelle de bois déchiqueté :	1 000 MWh/an
PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) du bois déchiqueté :	3.4 MWh/tonne
Production annuelle de cendres :	6 tonnes/an

Les cendres contiennent essentiellement de la potasse qui peut être valorisée par épandage.

### 4 - Approvisionnement en combustible bois

Besoins : 1 000 MWh EF/an soit environ 1000 MAP/an à H30%.

Combustible envisageable :

- Plaquette forestière

Dans un rayon de 30 km autour de la serre, le gisement de bois théoriquement mobilisable est d'environ 9 600 tonnes.

9 600 tonnes de plaquette forestière correspond à :

- 32 597 MWh à HMB 30 %
- 21 422 MWh à HMB 50 %

- Plaquette industrielle ou bois de rebuts

=>consulter les fournisseurs de Bois Déchiqueté (liste en annexe).

## Cas n°2 : Serre de Palau-del-Vidre (1,8 ha) – Mr CO NGOST

### Descriptif de l'existant :

Serre verre de 18 000 m<sup>2</sup>

Culture : tomates

Période : du 1<sup>er</sup> Novembre au 1<sup>er</sup> Septembre. 2 rotations. 10 mois/an.

Système de chauffage :

- Chaudière gaz naturel (6 MW)
- Chaudière gaz naturel à l'arrêt (4 MW)

Puissance totale installée : 10 MW

### Choix de la Solution de référence

Par comparaison, achat d'une Chaudière gaz naturel 800 kW, raccords hydrauliques et électriques nécessaires.

### Solution bois énergie

Mise en place d'une chaufferie Bois en Base pour la production de chauffage

Conservation de la Chaudière gaz nat 6 MW existante en appoint pour la période hivernale.

## 1 - Faisabilité technique

### 1.0 Dimensionnement et description de la technologie de chaudière

Dimensionnement selon DJU.

Puissance de la chaudière bois pour couvrir 80 % des besoins de chaleur : 1 000 kW.

Type de foyer : grille mobiles

Echangeur : Tubes de fumées

Désilage : Echelles de racleurs

Convoyage : Vis sans fin ou tapis roulant (plus tolérant en granulométrie)

Alimentation chaudière : Vis sans fin

Décendrage : Vis sans fin et Bac à cendres

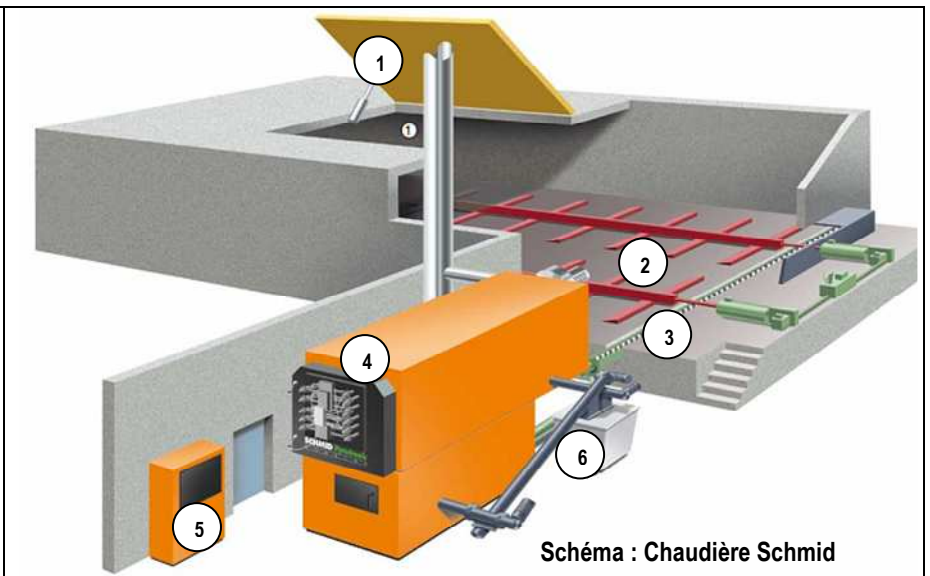
Traitement fumées : Filtre multi cyclone

#### Schéma de principe :

- 1 : Capot Silo
- 2 : Echelle de Racleurs
- 3 : Vis sans fin (transport de combustible)
- 4 : Chaudière
- 5 : Tableau de régulation
- 6 : Bac à cendres

Choisir un système de nettoyage des tubes de fumées automatisé :  
Turbulateurs mobiles ou air comprimé.

En sortie du conduit de fumées, filtre à particules type multi-cyclone recommandé  
(législation : Emission de Particules < 150mg/Nm<sup>3</sup>)



### 1.1 - Implantation de la chaufferie

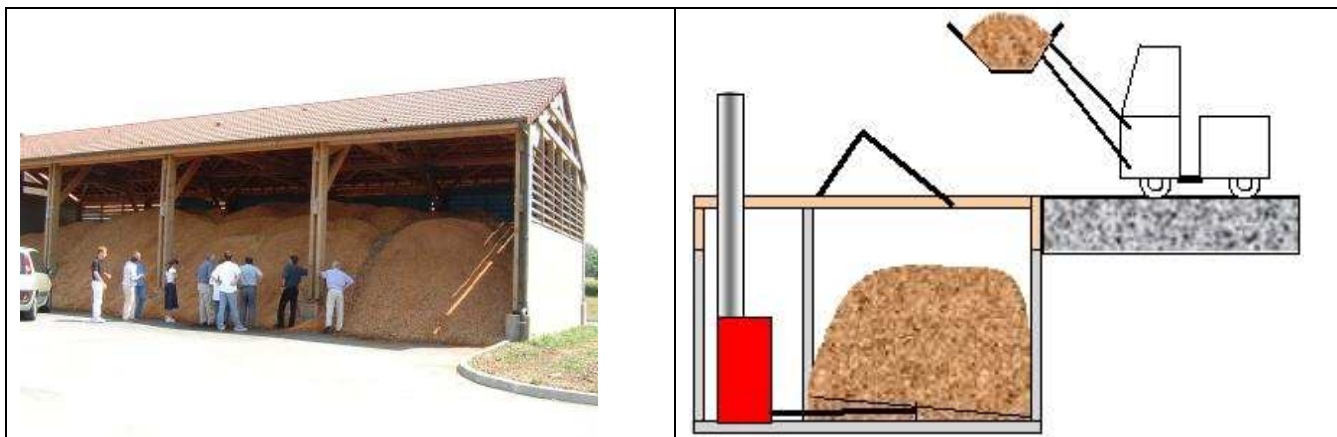
Le local de la chaufferie actuelle est assez grand pour accueillir la chaudière bois, à condition d'enlever la chaudière de 4 MW qui est à l'arrêt. Sinon il sera nécessaire de construire un nouveau local déporté.

## 1.2 - Dimensionnement du silo

Consommation annuelle maximum : 4 720 MWh/an soit environ 4 700 MAP à H30%.

Consommation janvier : 900 MAP

A partir de ce niveau de consommation, la solution techniquement et économiquement la plus adaptée est de créer un Silo d'une autonomie de quelques jours (100 MAP par exemple) et de bâtir à côté un stockage tampon. L'un des employés de la Serre peut alors utiliser un engin de manutention type chargeur afin de remplir régulièrement le Silo.



Exemple : Silo de 100 m<sup>3</sup> de plain pied. Autonomie d'environ 3 jours

Hangar de stockage de 1 000 m<sup>3</sup>, soit environ 300 m<sup>2</sup> (stockage sur une hauteur de 3 mètres).

Autonomie en période froide : ≈ 1 mois.

## 1.3 - Implantation du silo

Accolé à la chaufferie. Enterré ou semi enterré+rampe d'accès de manière à faciliter la livraison de bois déchiqueté. Les camions pourront effectuer une marche arrière à puis benner directement le combustible dans le silo.

Type de Camions envisagé : Semi-remorque avec FMA (Fond Mouvant Articulé) 90 m<sup>3</sup>

## 2 - Faisabilité économique

Détail de l'investissement :

CHAUFFERIE :	Tout Gaz Nat	Bois + Gaz Nat		[unité]
	(référence)	Bois	Gaz Nat	
<b>Investissement :</b>				
Chaudière 1 000 kW + déssilage+convoyage	30 000	334 700		€ HT
Raccordement Hydraulique	5 000	75 000		€ HT
Electricité	5 000	10 000		€ HT
Gros œuvre Silo 250 m <sup>3</sup> brut		75 000		€ HT
Gros Œuvre Chaufferie		20 000		€ HT
<b>Total hors Génie Civil</b>	<b>40 000</b>	<b>419 700</b>		€ HT
<b>Total avec Génie Civil</b>	<b>40 000</b>	<b>514 700</b>		€ HT
<b>Surcoût du Bois</b>		<b>474 700</b>		€

Synthèse des résultats : Coûts d'exploitation et rentabilité de l'investissement :  
 Deux hypothèses sont prises : pour un combustible bois à 22.5 €/MWh et 15 €/MWh

Tableau de synthèse	Bois 22,5 €HT/MWhF				Bois 15€ HT/MWhF		
	Gaz	Bois +	Gaz		Gaz	Bois+Gaz	
Consommation combustible	4 779	4 720	956	MWhF/an	idem	idem	MWhF/an
P1 total (Combustible + électricité)	223 410		172 065	€/an	223 410	134 717	€/an
P2 entretien / maintenance	1 500		5 000	€/an	idem	id	€/an
P3 provisions pour renouvellement matériel	1 200		13 191	€/an	id	id	€/an
CO2	0		12 628	€/an	id	id	
total P1+2+3+CO2	226 110		202 884	€/an	226 110	165 537	€/an
Economie générée par le bois			23 227	€/an		60 574	€/an
Investissement (= Capital)	40 000		514 700	€		514 700	€
Temps de retour brut hors frais financiers			22	ans		8	ans
Capital + Intérêts Prêt à 4% sur 20 ans			757 451	€		757 451	€
Temps de retour brut avec frais financiers			33	ans		13	ans
Si Aides Vinhiflor de 40 % du surcoût			189 880				
Restant à payer pour le Maître d'ouvrage			324 820				
Temps de retour brut sans frais financiers			14	ans		5	ans
Temps de retour brut avec frais financiers			21	ans		8	ans
+ Aides F. Chaleur (max 60 % du surcoût)			284 820				
Restant à payer pour le Maître d'ouvrage			229 880				
Temps de retour brut sans frais financiers			10	ans			
Temps de retour brut avec frais financiers			15	ans			
Nombre de MWh utilesproduits /an	4 779						
Coût du MWh utile incluant P1+2+3	47		42	€ TTC		35	€ TTC

=> Voir tous les détails de ce calcul en ANNEXES

### 3 - Bilan environnemental

<b>Par an :</b>	
Gaz Nat substitué	347 566 m3
Tonnes Equivalent pétrole substituées :	329 TEP
Emissions de CO2 évitées	748 Tonnes

**Production de cendres** annuelle ≈ 30 tonnes/an

Les cendres contiennent essentiellement de la potasse qui peut être valorisée par épandage.

### 4 - Approvisionnement en combustible bois

Besoins : environ 5 000 MWh EF/an

Combustible envisageable :

- Plaque forestière

Dans un rayon de 30 km autour de la serre, le gisement de bois théoriquement mobilisable est d'environ 6 400 tonnes.

6 400 tonnes de plaque forestière correspond à : - 21 731 MWh à HMB 30 %  
 - 14 281 MWh à HMB 50 %

Les essences présentes sont environ de 50 % de résineux et 50 % de feuillus.

- Plaque industrielle ou bois de rebuts

## Cas n°3 : Serre de Saint-Cyprien (10 ha) – Mr GOY

### Descriptif de l'existant

Serre Verre de 10 Ha (100 000 m<sup>2</sup>)

Culture : tomates

Période de culture : 10 mois. Deux rotations, de Septembre à Juin.

Système de chauffage :

- 2 cogénérateurs (moteurs thermiques à gaz de 4,2 MWth au total (en base)
- 2 chaudières gaz naturel de 8 MWth unitaire (en appoint/secours)
- Restitution de chaleur : tubes rails et tuyaux forcas

Puissance totale installée : 20 MW

### Choix de la Solution de référence

Par comparaison, achat d'une Chaudière gaz naturel de 4 MW, raccords hydrauliques et électriques nécessaires.

### Solution bois énergie

Mise en place d'une chaufferie Bois en Base pour la production de chauffage et en remplacement de la cogénération.

Conservation des deux Chaudières gaz naturel 6 MW existantes en appoint pour la période froide.

## 1 - Faisabilité technique

### 1.0 Dimensionnement et description de la technologie de chaudière

Dimensionnement selon DJU.

Puissance de la chaudière bois : 4.5 MW en remplacement de la cogé.

Ce qui permet de couvrir 70 % des besoins de chaleur.

Type de foyer : grille mobiles  
Echangeur : Tubes de fumées  
Désilage : Echelles de racleurs  
Convoyage : tapis roulant  
Alimentation chaudière : Vis sans fin ou poussoir  
Décendrage : Voie Humide, tapis roulant et Benne à cendres  
Traitement fumées : Filtre à manche (respect de la réglementation)

### 1.1 - Implantation de la chaufferie

Le local de la chaufferie actuelle est trop petit pour accueillir la chaudière bois. Il est donc nécessaire de construire un nouveau local. Ce nouveau local peut être implanté à la place de l'actuel.

### 1.2 - Dimensionnement du silo

Consommation annuelle : 15 000 MAP/an

Consommation janvier : 3 750 MAP

Volume mort du silo : 25 %

Volume brut total du silo : 460 m<sup>3</sup>

Autonomie du Silo en période froide : 3 jours

Hangar de stockage bois : 1 000 m<sup>3</sup> de capacité

Autonomie Silo + Hangar : 10 jours

### 1.3 - Implantation du silo tampon et du hangar de stockage

Pour les volumes supérieurs à 300 m<sup>3</sup>, il est nécessaire de construire un hangar de stockage de plein pied, en plus du silo. Le hangar peut être accolé ou non à la chaufferie. Le transfert du combustible bois du hangar au silo tampon pourra être effectué soit :

- Par des engins de manutention (chargeur, benne,...) dans le cas où le hangar est éloigné de la chaufferie)
- Par un grappin monté sur un pont roulant (dans ce cas le hangar doit être accolé à la chaufferie).

## 2 - Faisabilité économique :

Investissement :

CHAUFFERIE :	Tout Gaz Nat	Bois + Gaz Nat		[unité]
	réf : ch + cogé	Bois	Gaz Nat	
<b>Investissement :</b>				
Chaudière 4 500 kW + déssilage + convoyage	100 000	562 200		€ HT
Traitement des fumées et Filtre à Manches		253 500		€ HT
Raccordement Hydraulique	30 000	200 000		€ HT
Electricité	20 000	80 000		€ HT
Gros œuvre : Silo 460 m3 brut		200 000		€ HT
Hangar de stockage bois 500 m3		300 000		€ HT
Gros Œuvre Chaufferie		150 000		€ HT
<b>Total hors Génie Civil</b>	<b>150 000</b>	<b>1 095 700</b>		€ HT
<b>Total avec Génie Civil</b>	<b>150 000</b>	<b>1 745 700</b>		€ HT
<b>Surcoût du Bois par rapport à la réf :</b>		<b>1 595 700</b>		€

Rentabilité de l'investissement :

Tableau de synthèse	Bois 22,5 €HT/MWhF				Bois 15€ HT/MWhF		
	Gaz	Bois +	Gaz		Gaz	Bois+Gaz	
Consommation combustible	27 700	24 622	7 756	MWhF/an	idem	idem	MWhF/an
P1 total (Combustible + électricité)	1 294 921	1 027 073		€/an	1 294 921	832 250	€/an
P2 entretien / maintenance	10 000	25 000		€/an	idem	id	€/an
P3 provisions pour renouvellement matériel	4 500	35 121		€/an	id	id	€/an
CO2	0	147 723		€/an	id	id	€/an
total P1+2+3+CO2	1 309 421	<b>1 234 918</b>		€/an	1 309 421	<b>1 040 094</b>	€/an
Economie générée par le bois		<b>74 503</b>		€ TTC/an		<b>269 327</b>	€ TTC/an
Investissement (= Capital emprunté)	150 000	1 745 700		€ HT		1 745 700	€ HT
Temps de retour brut hors frais financiers		23		ans		6	ans
Capital + Intérêts Prêt à 4% sur 20 ans		2 684 054		€		2 684 054	€
Temps de retour brut avec frais financiers		36		ans		10	ans
Si Aides de 40 % du surcoût		638 280					
Restant à payer pour le Maître d'ouvrage		1 107 420					
Temps de retour brut sans frais financiers		15		ans		4	ans
Temps de retour brut avec frais financiers		22		ans		6	ans
+ Aides F. Chaleur (max 60 % du surcoût)		957 420					
Restant à payer pour le Maître d'ouvrage		788 280					
Temps de retour brut sans frais financiers		11		ans			
Temps de retour brut avec frais financiers		16		ans			
Nombre de MWh utiles produits /an	27 700						
Coût du MWh utile incluant P1+2+3	47	<b>45</b>		€ TTC		<b>38</b>	€ TTC

On remarque qu'il est plus intéressant économiquement d'utiliser du bois de rebut uniquement sans bénéficier des aides du fonds chaleur plutôt que d'utiliser les aides du fonds chaleur et un mélange de plaquette à 50 % forestière.

Cependant la disponibilité du gisement de bois de rebut est très limitée (voir note sur la ressource biomasse).



Détail du calcul des coûts d'exploitation pour un coût de combustible bois à 15 €/MWhF :

	Tout Gaz Nat	Bois + Gaz Nat		[unité]
<b>Coûts d'Exploitation :</b>				
<b>P1 : Energie</b>				
Energie finale = besoin entrée chaudière	277	324		kWh EF/m².an
Energie utile = besoin des plantes	277	277		kWh EU/m².an
Surface à chauffer	100 000	100 000		m²
Energie utile total	27 700	27 700		MWh/an
Couverture des chaudières	100%	72%	28%	%
Rendement global chaufferies	1	0.81	1	
Consommation EF unité réf	27 700	24 622	7 756	MWh/an
<b>P1 : Combustible</b>				
<b>Abonnement</b>				
	?	0	?	€ HT/an
Coût énergie	38	15.00	38	€ HT/MWhF
Coût total HT	1 052 600	369 333	294 728	€ HT/an
TVA	19.6	5.5	19.6	%
<b>Coût TTC</b>	1 258 910	389 647	352 495	€/an
<b>P'1 : Electricité</b>				
Abonnement	?	?		€ HT/an
Conso	2%	5%	2%	de la conso MWhF
Consommation annuelle	554	1 231	155.1	MWhF
Coût unitaire	54	54	54	€ HT
Coût HT	30 110	66 911	8 431	€ HT
TVA	19.6	19.6	19.6	
<b>Cout TTC</b>	36 011	80 025	10 083	€ TTC
<b>TOTAL P1</b>	<b>1 294 921</b>	<b>832 250</b>		<b>€/an</b>
<b>Fourniture de CO2 aux plantes</b>				
	Besoin de	200		tonnes/ha
Production de CO2 chaudière exploitable	5 493	0	769	tonnes/an
ACHAT de CO2 Liquide		1 231		tonnes/an
Cout		120	13	€ HT/tonne
<b>Cout total CO2</b>		<b>147 723</b>		€ HT
<b>P2 - Maintenance Courante de l'installation</b>				
Coût	10 000	20 000	5 000	€/an
<b>P3 - Gros entretien et Renouvellement Matériel</b>				
Calculé en prenant un pourcentage de l'investissement total hors Génie Civil				
Valeur	3	3	1.5	%
Coût P3	4 500	32 871	2 250	€/an
<b>P4 - Remboursement de l'emprunt</b>				
Investissement total	-150 000	-1 745 700		€ HT
Durée emprunt	20	20		ans
Taux	4.0%	4.0%		%
Annuité	11 037	128 452		€
<b>Tout Gaz Nat Bois + Gaz Nat</b>				
<b>Coût total exploitation P1+P2+P3+P4 sur 20 ans</b>				
Coût exploitation total P1-2-3-4 par an	1 320 458	1 168 546		€/an
Coût MWh utile incluant P1-2-3-4 sur 20 ans	48	42		€
Différence BOIS / REF		-11.5%		
Economie d'exploitation du bois P1-2-3-4		151 912		€/an

### 3 - Bilan environnemental

<b>Par an :</b>		
Gaz Nat substitué		1 813 091 m3
Tonnes Equivalent pétrole substituées :		1 715 TEP
Emissions de CO2 évitées		3 493 Tonnes
Surface forestière entretenue si utilisation 50% PF		55 Ha

Il est à noter que le projet de la taxe carbone a été reporté. En 2009, le Gouvernement avait prévu de mettre la en œuvre au 1<sup>er</sup> janvier 2010, avec un montant initial de 17 € la tonne de CO<sub>2</sub>. Nous pouvons alors calculer dans notre cas à combien s'élèverait la taxe :

Emissions de CO2 évitées	3 493 tonnes/an	Economie générée
Coût taxe carbone 2009	17 €/ tonne	59 375 €/an
Coût estimé en 2030	100 €/ tonne	349 265 €/an

De plus, il est fort probable que dans un futur proche, les producteurs de fruits et légumes et autres denrées alimentaires doivent indiquer sur l'étiquette l'origine de leur produit et les émissions de CO<sub>2</sub> qu'il a engendrées. Des produits peu carbonés représentent une plus value pour les consommateurs qui se soucient des émissions de gaz à effet de serre issues des produits qu'ils achètent.

#### **Production de cendres de l'ordre de 70 tonnes/an**

Les cendres contiennent essentiellement de la potasse qui peut être valorisée par épandage. A ce niveau de quantité, il est nécessaire de travailler sur le traitement de ces cendres : plan d'épandage, déchetterie,...

### 4 - Approvisionnement en combustible bois

Besoins : environ 25 000 MWh EF/an

Combustible envisageable :

- Plaquette forestière

Le gisement de bois théoriquement mobilisable est d'environ 1 600 tonnes, dans un rayon de 30 km autour de la serre, et de 13 200 tonnes dans un rayon de 50 km.

13 200 tonnes de plaquette forestière correspond à :  
- 44 821 MWh à HMB 30 %  
- 29 455 MWh à HMB 50 %

Les essences présentes sont composées d'environ 50 % de résineux et 50 % de feuillus.

- Plaquette industrielle ou bois de rebuts

## Note sur la COGENERATION à partir de BIOMASSE

### Synthèse des informations actuelles :

Depuis 2005, l'Etat souhaite développer la cogénération Biomasse, en lançant des appels d'offre, via la Commission de Régulation de l'Energie (CRE).

Appel à projet	Date	Puissance électrique minimum en MWe	Niveau moyen du prix de vente d'électricité
CRE 1	2005	12	86 €/MWhe
CRE 2	2007	9	128 €/MWhe
CRE 3	2009	3	145 €/MWhe
CRE 4	A paraître	12 selon Meddem <sup>1</sup>	Non défini

En 2009, 32 projets ont été retenus sur 106, cumulant 266 MWe.

Il y aura autant d'appel à projet que nécessaire pour atteindre les objectifs du PPI (Programmation Pluriannuelle des Investissements de production électrique).

En parallèle, l'Etat a publié de nouveaux tarifs de rachat d'électricité, (contrat de vente à EDF), dans un arrêté du 31/12/2009 (Voir Annexes). Le tarif est de 45 €/MWh plus une prime qui peut porter le tarif de 125 à 175 €/MWhe maximum théorique. Cependant :

- La puissance électrique minimum est de 5 MWe
- Le rendement global doit être à minima de 50 %
- Si l'approvisionnement vient d'une source extérieure, 50 % de la biomasse doit être d'origine forestière (forêt, bosquets, haies...).

Une installation de cogénération génère également de la chaleur, généralement :

1 kWh d'électricité pour 3 kWh de chaleur soit un rendement électrique de 25 %. Le point clé est donc de valoriser cette chaleur, soit sur le process lui-même soit sur des besoins à proximité.

Plusieurs technologies de cogénération biomasse existent, plus ou moins adaptées selon la puissance électrique à fournir :

- Cycle de Rankine, vapeur : La Chaudière bois produit de la vapeur surchauffée à haute pression. Cette vapeur est turbinée dans une turbine à vapeur (TAV) puis condensée via un aérocondenseur ou un échangeur sur réseau de chaleur.  
Technologie économiquement adaptée pour puissance de 5 MWe minimum, soit environ 20 MW PCI. Rendements : Electrique 15-25% Thermique 30-70% Global 50-80%
- Cycle de Rankine, fluide organique (ORC). Fonctionnement similaire mais le fluide de travail est organique (type huile). les sources chaudes et froides du cycle (Evaporateur et Condenseur) ne sont pas en contact direct avec le fluide, ni avec la Turbine.  
Technologie économiquement adaptée pour puissance de 0.2 à 2 MWe soit 1.4 à 14 MW PCI  
Rendements : Electrique 15% Thermique 50-70% Global 50-85%
- La Gazéification : La biomasse est gazéifiée dans un gazogène. Le gaz, contenant des bitumes, est épuré puis brûlé dans un moteur à gaz (MAG) fonctionnant en cogénération. Cette technologie est encore au stade de développement. Certains entrepreneurs ont une installation pilote et seraient prêts à essayer le procédé sur des installations privées.  
Technologie économiquement adaptée pour puissance de 1 à 7 MWe soit 2 à 13 MW PCI  
Rendements : Gazogène 75% Electrique 20-25%

<sup>1</sup> Ministère du développement durable, de l'eau et de la mer

## Possibilité d'application de Cogénération sur les serres :

Vu la puissance électrique exigée, la seule possibilité de cogénération concerne la Serre de 10 Ha. En effet, en dessous de 5 MWe, le tarif de rachat est bien moins intéressant (45 €/MWh), et il apparaît que cela ne génère pas assez de recettes pour amortir l'investissement de l'installation.

Pour cette étude, le choix de la technologie de cogénération s'est porté sur la gazéification car :

- Le niveau de puissance est adéquat, contrairement à l'ORC.
- La serre dispose déjà de moteurs à gaz peut-être adaptables.

Le gaz de synthèse est un gaz pauvre différent du gaz naturel. Il est possible que les deux moteurs thermiques de la cogé gaz soient utilisables mais il faut étudier en détail la faisabilité technique. Ils produisent déjà au total 4 MWe. La puissance électrique supplémentaire à installer est à étudier selon les besoins thermiques de la serre et du taux de couverture à assurer.

Rendement du gazogène	74 %
Rendement électrique	24 %
Rendement thermique	46 %
Rendement global de l'installation = V (efficacité énergétique)	70 %
Puissance électrique utile	5.7 MWe
Puissance thermique utile	9.8 MWth
Besoin de séchage plaquette de 50% à 20% HMB	4 MWth
Puissance thermique utile restante disponible pour la serre	5.8 MWth
Hypothèse de fonctionnement sur 5 mois : 1er Novembre- 31 Mars	3 600 heures
<hr/>	
Production électrique	20 520 MWh/an
tarif de rachat par EDF	145 €/MWh
Revenu de la vente d'électricité	2 975 400 €
<hr/>	
Production thermique	20 880 MWh/an
Besoin utile total	27 700 MWh/an
Couverture de la cogénération sur les besoins de chaleur	75%
<hr/>	
Consommation de biomasse à 20% d'humidité	21 000 tonnes/an
Consommation de biomasse à 50% d'humidité	32 000 tonnes/an
<hr/>	
Coût du combustible mélange forestier-rebu 50% et HMB 50 %	60 € TTC/tonne
Coût du poste P1	1 920 000 € TTC
P2 estimé	200 000 €/an
<hr/>	
Investissement total	20 000 000 € TTC
Revenu de la vente d'électricité net des coûts d'exploitations	855 400
Temps de retour brut sur investissement	23 ans
Coût de la chaleur	0 €/MWh

On remarque que le temps de retour Brut correspond à peu près à la durée de vie du matériel (moteurs,...). Ce qui veut dire que le Serriste n'a pas gagné d'argent grâce à la revente d'électricité, mais a pu bénéficier d'un chauffage à coût nul pendant la période.

La question principale reste évidemment la disponibilité de la ressource en combustible.

Certains éléments techniques nous ont été transmis par l'entreprise **ENERIA**, qui possède un site pilote de gazéification à Limoges.

## Note sur la ressource du département en BIOMASSE

### Récapitulatif de la consommation de Bois-Energie des Serres :

Consommations de bois :	HMB 30%	HMB 50%	Equivalent E Finale
Serre 0,59 ha	315 tonnes/an	479 tonnes/an	1 070 MWh/an
Serre 1,8 ha	1 388 tonnes/an	2 113 tonnes/an	4 720 MWh/an
Serre 10 ha	7 243 tonnes/an	11 022 tonnes/an	24 622 MWh/an
<b>Total 3 Serres</b>	<b>8 946 tonnes/an</b>	<b>13 613 tonnes/an</b>	<b>30 412 MWh/an</b>
Cogénération Serre 10 ha	21 000 tonnes/an	32 000 tonnes/an	61 560 MWh/an
Surface totale serres	12.39 ha		
Consommation moyenne 3 serres	722 tonne/ha/an	1 099 tonne/ha/an	2 455 MWh/ha/an
Si 63 ha de Serres chauffés	45 488 tonnes/an	69 220 tonnes/an	154 637 MWh/an

### Quantités consommées actuellement dans le département :

Combustible bois décheté actuellement consommé par les chaudières du département :

- 4 380 tonnes H30 par an.

L'ensemble de ce gisement est produit et consommé sur le département. Très peu de combustible est importé. Il s'agit d'une situation d'autoconsommation à l'échelle du département.

Parmi ces 4 380 tonnes on compte environ :

- 50 % de plaquette forestière (2 100 tonnes) et
- 50 % de plaquette industrielle (2 280 tonnes).

Les besoins des 3 serres seraient de 7 593 tonnes H30/an, ce qui représente quasiment le double de ce qui est consommé actuellement sur le département.

### Potentialités du gisement départemental :

Selon une étude réalisée par Jean-Michel Mivière pour Bois Energie 66 en 2006, le potentiel de plaquette forestière estimée sur le département est de :

- 39 100 tonnes H30 par an.

Il s'agit de la part énérgisable par les opérations d'entretien des forêts sans entamer le capital.

Industriel et rebut : le potentiel de plaquette industrielle et de bois de rebut n'est pas encore défini. Une étude de gisement est en cours à Bois Energie 66.

Les estimations indiquent que les gisements industriel et de rebut collectés sur le département pourront au maximum doubler. On passerait à :

- 5 000 tonnes maximum soit 2 720 tonnes disponibles.

Il s'agit d'un gisement limité et difficile à collecter car très diffus. La question du coût économique de cette collecte est aussi à prendre en compte.

Total :

- 39 100 tonnes de plaquette forestière
- 2 720 tonnes de plaquette industrielle et de rebut
- 41 820 tonnes H30/an de potentialités.

Il existe également un gisement de bois de rebuts dits « Classe B ». Il s'agit de bois traités avec des adjuvants types vernis, peintures, colles... Ce type de bois ne peut être brûlé dans les chaufferies classiques. Il s'agit d'installations classées 2910 B dans la rubrique ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement), nécessitant un système de filtrage particulier et une autorisation auprès de la DRIRE. Cependant, le gisement de bois « classe B » du département est bien plus important.

### Besoin des serres par rapport au gisement :

Les besoins des 3 serres seraient de 9 000 tonnes H30/an et le potentiel total sur le département de 41 820 tonnes H30/an (avec 90 % de gisement forestier). On constate que le gisement forestier peut largement répondre à cette demande. Cependant il s'agit aussi de considérer la capacité des infrastructures d'approvisionnement en place (surface de stockage suffisante, logistique adaptée...), les coûts de mobilisation de ce gisement et le temps de mise en place (sortie des bois de la forêt, temps de séchage...).

En pourcentage les besoins des 3 serres représentent :

- 22 % du potentiel bois énergie total du département.

Les besoins pour 63 ha de serres seraient de 47 000 tonnes H30/an

- soit 114 % du potentiel départemental total.

### Autres combustibles issus de la biomasse envisageables : TCR et TCCR :

Taillis à (Très) Courte Rotation.

TCR plantés par 1 000 à 2 000 tiges/ha, rotation tous les 7 à 10 ans : il s'agit de petits arbres.

TCCR plantés par 10 000 tiges à 15 000 tiges/ha, rotation tous les 2 à 3 ans il s'agit de petits rejets.

Les rendements à l'hectare restent faibles : « les chercheurs de l'INRA l'évaluent à 10 à 12 tonnes de matière sèche en moyenne par hectare et par an » (source INRA).

Selon des documents du FCBA datant de 2008, le PCI sur sec de l'Eucalyptus, du peuplier ou du robinier est de 5.06 MWh/tonne.

La productivité énergétique des TCCR serait donc de l'ordre de 50,6 MWh/ha.

Pour couvrir les consommations des 3 serres, il faut planter en TCCR les surfaces suivantes :

Serre	Consommation de bois	Surface TCCR nécessaire
0,59 ha	1 070 MWh/an	21 ha
1,8 ha	4 720 MWh/an	93 ha
10 ha	24 622 MWh/an	487 ha
<b>total</b>	<b>30 412 MWh/an</b>	<b>601 ha</b>

Il faut donc environ 50 ha de TCCR pour chauffer 1 ha de Serre.

### Conclusion technique :

Le gisement actuel de biomasse dans le département pour alimenter les 3 serres est disponible surtout en forêt. Reste à évaluer les coûts de mobilisation et les capacités logistique et d'infrastructure des producteurs-fournisseurs actuels.

Par contre les besoins des 63 ha de serres consommeraient la **totalité** du potentiel forestier total du département (41 820 tonnes H30/an).

Le schéma départemental d'approvisionnement actuel permet d'éviter les importations de combustibles. Si seulement du combustible devait être importé d'autres régions pour approvisionner les serres, il s'agira de veiller à :

- Prendre en compte le bilan carbone et le bilan énergétique des combustibles importés. (Du bois qui voyage beaucoup perd ses intérêts économiques et environnementaux).
- Faire attention à ne pas déstabiliser le marché actuel.

Paragraphe rédigé avec la participation d'Aurélia Paillart, chargée de mission ressources à Bois Energie 66.

## Note sur le dimensionnement de la puissance de chaudière bois

Tableau synthétique des trois cas étudiés :

Serre	0,59 ha	1,8 ha	10 ha	moyenne	unité
Surface	0.59	1.8	10	-	ha
Ratio Conso Gaz	225	267	277	256	kWhEF/m <sup>2</sup> .an
Déperditions maxi (avec écan)	1 034	2 419	13 560	-	kW
DP [m <sup>2</sup> ]	175	135	133	148	W/m <sup>2</sup>
Puissance Bois retenue	300	1 000	4 500	-	kW
Pbois/Ptotale	29%	41%	33%	35%	
Couverture Bois/Gaz	76%	80%	72%	76%	
Ratio Pbois/ha	508	556	450	505	kW/ha
Capacité Oppen Buffer	50	450	1 600	-	m <sup>3</sup>
Ratio Open buffer m <sup>3</sup> /ha	85	250	160	165	m <sup>3</sup> /ha

Généralement pour chauffer un bâtiment important au bois, on dimensionne la chaudière à 50% de la puissance totale (déperditions maximum en période froide). Dans les trois cas étudiés, nous pouvons remarquer que nous avons obtenu une couverture bois de l'ordre de 80% pour des puissances installées allant de 30 à 40% de la puissance totale. Ceci probablement du au fait que l'oppen buffer est un stockage tampon qui peut assurer une relève pour la chaudière bois et jouer le même rôle qu'un appoint.

Dans certains cas, en augmentant le volume de l'Oppen Buffer et en diminuant la puissance de la chaudière bois, on peut obtenir le même taux de couverture.

Diminuer la puissance de la chaudière bois présente plusieurs intérêts :

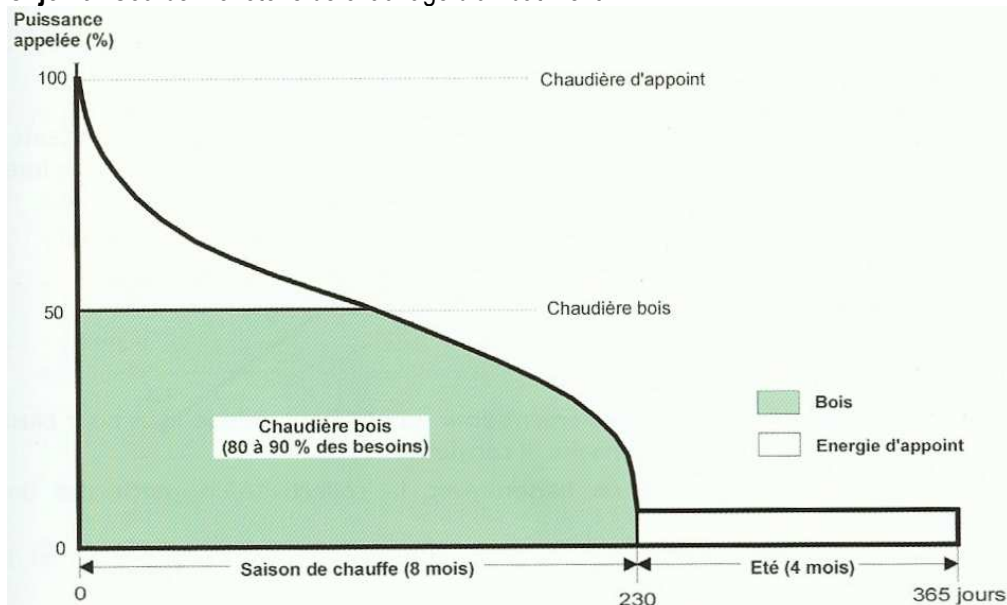
- Elle fonctionne plus souvent à puissance nominale, ce qui assure un meilleur rendement de combustion et une tolérance plus importante sur le taux d'humidité.

En effet, une chaudière bois peut moduler sa puissance jusqu'à un certain point. En dessous de 25 % de sa puissance nominale, la chaudière se met souvent en « maintien de feu » ou « lit de braises » et les rendements sont dégradés.

- Permet le fonctionnement de la chaudière en mi-saison et dans la plage de puissance optimum.

### Note sur le dimensionnement des chaudières bois

**Ci-joint :** Courbe Monotone de chauffage d'un bâtiment



## Conclusion

Pour les trois projets, la faisabilité technique pour l'implantation de chaufferies bois est bonne. L'espace nécessaire est disponible et l'accessibilité pour des camions de livraison est bonne. Les technologies de chaudières sont maîtrisées et des retours d'expériences sont disponibles dans d'autres départements ou pays.

La faisabilité économique est moyenne. Les temps de retour varient selon les taux d'aides appliqués et la nature du combustible (forestier, sous-produit industriel ou rebut).

On remarque que les temps de retour des investissements sont nettement réduits avec 100% Bois de rebuts. Cependant la ressource en plaquette industrielle et bois de rebuts sur le 66 est très limitée (2 500 tonnes/an environ) et ne peut pas alimenter plus de quatre hectares de serre.

Le gisement forestier est lui, suffisant à l'échelle du département au moins pour les trois serres étudiées. Par ailleurs, certaines aides financières (comme les Fonds Chaleur de l' ADEME) sont mobilisables seulement si utilisation de plaquette forestière.

Si l'on envisage de chauffer 20 ha de Serres, soit plus de 20 % des Serres chauffées du département, il apparaît intelligent que l'approvisionnement devra inclure de la plaquette forestière, puisqu'il s'agit du gisement le plus abondant et le plus proche. Il est alors probable que la mobilisation du bois se fasse sur plusieurs départements limitrophes, voir sur la catalogue.

Pour qu'un projet de serre chauffée à la biomasse soit viable, il faut pouvoir mobiliser du combustible à un coût économiquement adapté.

Pour la Serre de 2 ha par exemple, pour avoir un coût d'exploitation total (P1+2+3+4) d'une chaufferie bois identique à une chaufferie gaz, le MWh final de combustible doit être environ de 22.5 € HT/MWh en entrée de chaufferie.

Si l'on prend un mélange de plaquette 50% forestier - 50 % bois de rebuts, les coûts actuels le permettent.

L'approvisionnement peut également se composer d'autres combustibles issus de la biomasse tels que écorces, coquilles, TCR... reste à voir leur coût de revient.

En revanche, dans l'hypothèse d'un approvisionnement 100 % forestier :

Pour avoir 22.5 € du MWh, cela correspond, pour du bois vert à 50 % d'humidité à => 50 € HT/tonne broyée livrée. L'essence (feuillu ou résineux) n'a pas d'importance.

Bois Energie 66 et le Conseil Général ont établi récemment des statistiques sur une dizaine de chantiers forestiers de commanditaires et lieux divers. Voir Annexes.

Le coût du bois déchiqueté H45 en entrée chaufferie varie alors de 97 à 145 € HT / tonne

Il faut donc réduire au moins par deux le coût des chantiers forestiers actuels.

Il pourrait s'agir par exemple, d'une gestion organisée d'un ensemble de chantiers forestiers de typologies différentes, ou les chantiers avec de bonnes facilités d'exploitation viendraient compenser des chantiers plus contraignants (forte pente, mauvaise desserte...) et plus coûteux.

A ce titre, Il serait intéressant d'établir un catalogue précis des parcelles de forêt du département et du coût de mobilisation de bois énergie sur ces parcelles, afin de pouvoir programmer une exploitation de parcelles sur plusieurs années.

Le but étant d'obtenir un combustible qui reviendrait au même coût chaque année et pour tous les usagers.

Une autre solution pourrait être de se pencher sur les techniques de récolte forestière, et de voir si l'on peut les optimiser en vue de réduire les coûts d'exploitation. Il s'agit en effet d'exploitation à grande échelle, qui doit pouvoir générer des économies d'échelles.



Enfin, il ne faut pas oublier que la rentabilité des 3 cas étudiés a été calculée avec les coûts des énergies actuels. Si l'on suppose une forte inflation sur les produits fossiles (gaz, fioul), les chaufferies bois seront d'autant plus rentables et il ne sera pas obligatoirement nécessaire de chercher une diminution du coût actuel de la plaquette forestière.

## Suite à donner :

Ce rapport a fait l'objet d'une restitution orale le 29 avril 2010 en présence du GDA des serristes et autres organismes. Suite aux conclusions de ce rapport, la question s'est posée : Comment les serristes peuvent-ils se rapprocher des forestiers et des prestataires intermédiaires de fourniture de bois-énergie pour donner une suite à cette première prospection ?

Suite à cette étude, nous connaissons les besoins moyens d'une serre, en tonnes de bois par an, ainsi que le coût de mobilisation de combustible nécessaire pour que le projet soit viable pour le serriste.

Afin de poursuivre ce travail, il pourrait être intéressant de réaliser une étude plus approfondie :

Prendre une serre existante, représentative du parc actuel du département, avec un serriste motivé pour porter un projet de chaufferie bois.

Monter un plan d'approvisionnement détaillé pour la fourniture de bois :

- Connaître le gisement disponible autour de la Serre
- Connaître le coût de mobilisation du bois
- Etablir un plan d'exploitation de parcelles de forêt sur la durée de vie de l'installation (20 ans).

Les Serristes peuvent alors se rapprocher des professionnels de la forêt (CRPF, Syndicat des propriétaires forestiers, ONF, Conseil Général, DDTM...) pour étudier la question.

Les Financeurs cités dans le rapport peuvent également être associés à un projet pilote de ce type.

Par ailleurs, une serre de trois hectares située à Alenya est relativement avancée sur un projet de chaufferie bois.

Cette réalisation qui consommera environ 1500 tonnes de bois/an dont au moins 20 % d'origine forestière permettra d'avoir un retour d'expérience, tant sur le fonctionnement de l'installation que sur le montage de l'approvisionnement.

## Glossaire

**P1** : Consommation d'énergie de la chaufferie (Combustible, P'1 : électricité)

**P2** : Entretien courant Chaufferie (Ramonage, nettoyage, graissage,...)

**P3** : Renouvellement matériel (pompes, vannes, réfractaire...)

P4 est parfois utilisé sans base légale pour définir la formule de financement de l'installation.

**P4** : Annuité de remboursement d'un emprunt.

**MAP** : m3 apparent de plaquette

**kW** : Unité de mesure de puissance.

**kWh** : Unité de mesure d'énergie. Correspond à l'usage d'une puissance d'1 kW pendant 1 heure.

**TEP** : Tonne Equivalent Pétrole, unité de mesure d'énergie, correspond à 11 628 kWh.

**ECS** : Eau Chaude Sanitaire.

**Degré jour unifié 20°C** : Unité de calcul thermique obtenue à partir des températures moyennes quotidiennes et d'une température intérieure de 20°C, sur la période conventionnelle de chauffage de 232 jours, du 1er octobre au 20 mai.

**Température extérieure de base** : utilisée pour les calcul des déperditions, équivaut à la température extérieure minimale lors d'une saison de chauffe.

**Débardage** : Transport de bois depuis le lieu d'obtention, forêt ou carrière, jusqu'au lieu de chargement.

## Cas n°1 : Serre de Pézilla-la-Rivière (0,59 ha) – M r MARTY

### Bilan financier :

Bilan d'exploitation prévisionnel pour un combustible à 15 € HT/MWh final (100% rebut) :

<b>Coûts d'Exploitation :</b>	Tout Propane	Bois +	Prop	unité
<b>P1 : Energie</b>				
Energie finale = besoin entrée chaudière	225	235		
Energie utile = besoin réel des plantes	193	193		kWh EU/m².an
Surface à chauffer	5 900	5 900		m²
Energie utile total	1 140	1 140		MWh/an
Couverture	<b>100%</b>	<b>76%</b>	<b>24%</b>	%
Rendement global chaufferies	0.86	0.81	0.86	
Consommation EF unité réf	1 326	1 070	318	MWhF
PCI Energies	12.8	3.4	12.8	MWh/tonne
<b>P1 : Combustible</b>				
(La chaudière gaz ne condense pas)				
Consommation EF unité courante	104	315	25	tonnes/an
Soit		1 183		MAP/an
Coût énergie HT	800	51	800	€ HT/tonne
Coût HT	82 849	16 059	19 884	€/an
TVA	19.6	5.5	19.6	%
<b>Coût TTC</b>	<b>99 087</b>	<b>16 942</b>	<b>23 781</b>	<b>€/an</b>
<b>P'1 : Electricité</b>				
Abonnement	?	?		€ HT/an
Conso	2%	5%	2%	de la conso MWh
Consommation	27	53	6	MWhF/an
Coût unitaire	54	54	54	€ HT/Mwhe
Coût HT	1 441	2 907	346	€ HT
TVA	19.6	19.6	19.6	%
<b>Cout TTC</b>	<b>1 723</b>	<b>3 476</b>	<b>414</b>	<b>€ TTC</b>
<b>TOTAL P1</b>	<b>100 810</b>	<b>44 613</b>		<b>€/an</b>
<b>P2 - Maintenance Courante de l'installation</b>				
Coût	2 000	4 200	1 000	€/an
<b>P3 - Gros entretien et Renouvellement Matériel</b>				
Calculé en prenant un pourcentage de l'investissement total hors Génie Civil				
Valeur du pourcentage	3	3		%
Coût P3	600	12 168	800	€/an
<b>P4 - Remboursement de l'emprunt</b>				
Investissement total	-20 000	-477 100		€ HT
Durée emprunt	20	20		ans
Taux	4%	4%		%
<b>Annuité</b>	<b>1 472</b>	<b>35 106</b>		<b>€</b>
		<b>Tout Propane</b>	<b>Bois + Prop</b>	
<b>Coût total exploitation P1+P2+P3+P4 sur 20 ans</b>				
Coût exploitation	104 882	97 887		€/an
Coût MWh utile incluant P1-2-3-4 sur 20 ans	92	86		€
Différence		<b>-6.7%</b>		%
Economie d'exploitation du bois P1-2-3-4		6 995		€/an

## Synthèse des résultats de la Simulation de Guy Serres :

Eléments de dimensionnement	Données fournies	Réponses Programme
Température de nuit (t°) =	14.0	Nombre d'épingles moyennes = 200.0
Température de jour (t°) =	16.0	Température serre de calcul = 14.0
Température extérieure de base =	-4	Longueur développée épingle (m) = 108.8
Température moyenne du lieu =	13	Diamètre extérieur (mm) = 51.0
Consommation de CO2 (Tonnes/hectare) =	240.0	Débit total "rail" + Végét. (m³/h) = 210
Soit pour l'exploitation (Tonne) =	147.1	Puissance émise moyenne (kW) = 3 546
Dont en période de chauffage (T) =	69.7	Puissance spécifique totale (W/m²) = 603.0
Prix du CO2 "Air Liquide" (€/t) =	150.0	Diamètre intérieur (mm) = 47.0
Longueur-d'épingle équivalente (m) =	54.4	Epaisseur du tube (mm) = 2.0
Débit d'épingle "équivalente" (l/h) =	1 050.0	<b>Nombre de Reynold = 16 530</b>
Nombre de rangs par chapelle =	4.0	Emission d'une épingle moyenne (W) = 17 730.0
		Température de sortie moyenne (°C) = 75.4
		Température serre de jour = 16.0
		Température serre de nuit = 14.0
		Régularité d'émission (%) = 0.53%
		Emission d'une épingle forcast (W) = Néant
		Delta t eau maxi = 14.6
		Vitesse "épingle" = 0.168
		Puissance maxi totale jour W = 3 545 999
		Puissance maxi totale nuit W = 3 545 999
		Temps parcours épingle moyen (mn) = 10.79
		t départ maxi jour = 90.0
		t retour maxi jour = 75.4
		Ecart de températ. Maxi jour = 14.6
		t départ maxi nuit = 90.0
		t retour maxi nuit = 75.4
		Ecart de températ. Maxi nuit = 14.6
		Coût du CO2 issu de "l'air liquide" = 10 452 €
		Coût du CO2 issu du gaz naturel = 20 274 €
		Conso. gaz induite MWh/PCS = 383.2
		Conso. complémentaire MWh/PCS = 0.0
		Ecart (MWh) = 383.2

Deuxième partie du tableau non significative car non renseignée par le client

P. Spé. (W/m²)  
Jour = 603.0  
Nuit = 603.0

Recapitulatif annuel	Valeurs en chauffage/chaufferie/Pci		Valeurs brutes achetées		Ratio/m²	
	Valeur en serre		Ecart (MWh)		Pourcentage	
Nb heures chauffage (h) =	4 206.0		1 437.6		100.00%	226.7
Energie nécessaire (MWh) =	1 140.81		1 125.9		79.75%	191.4
Energie apportée par le bois (MWh) =	909.74		291.2		20.25%	45.9
Energie complémentaire (MWh) =	231.07					

## Calcul de Déperditions :

Serre totale à 14 - 16 °C - Culture de Concombes - Sans écran								
	Serre Verre (m <sup>2</sup> )	Serre DPG (m <sup>2</sup> )			Surface totale (m <sup>2</sup> )	Coéf. k (w/m <sup>2</sup> )	Delta t (°K)	Déperditions (W)
Température à maintenir (Nuit) =	14	14						
Température à maintenir (Jour) =	16	16						
Température extérieure de base =	-4	-4						
Température moyenne du lieu =	13	13						
1/2 largeur de la chapelle =	3.2	4.8						
Hauteur sous chéneaux =	2.5	3.5						
Hauteur moyenne pignon =	3.28	4.72						
Longueur hypoténuse =	3.56	5.28						
Rapport Hyp/1/2 larg. =	1.11	1.10						
Longueur chapelle =	67.10	42.00						
Largeur de serre =	57.60	48.00						
Surface au sol =	3 865.0	2 016.0			5 881.0	1.0	1.1	6 333
Surface de toiture =	4 296.1	2 217.6			6 513.7	6.1	20.0	794 152
Surface latérale =	335.5	294.0			629.5	5.7	20.0	72 356
Surface de pignon =	377.3	453.1			830.4	5.7	20.0	95 448
<b>Coefficient Kc apparent (kW/°) =</b>	<b>48.4</b>							968 290
Volume serre =	12 657.7	9 515.5			22 173.3			
Taux de renouvellement d'air =	1.08	0.43						
Enthalpie 95 % 16°C (W/m3) =				14.46				
Enthalpie 95 % -4 C (W/m3) =				0.95				
Volume à chauffer =	13 670.4	4 091.7	0.0	0.0	17 762.0	13.5	1.0	239 965
<b>Coefficient Kv apparent (kW/°) =</b>	<b>12.00</b>							
Puissance utile (W) =							(kW) =	1 208 256
Ratio de puissance au m <sup>2</sup> =	Ratio =	205.5 W/m <sup>2</sup>						PAS D'ECRAN et Ts = 16 °C
Serre totale 16°C - Culture de Tomates - Avec écran								
	Serre n°1 (m <sup>2</sup> )	Serre n°2 (m <sup>2</sup> )	Serre n°3 (m <sup>2</sup> )	Serre n°4 (m <sup>2</sup> )	Surface totale (m <sup>2</sup> )	Coéf. k (w/m <sup>2</sup> )	Delta t (°K)	Déperditions (W)
Température à maintenir (Nuit) =	14	14						
Température à maintenir (Jour) =	16	16						
Température extérieure de base =	-4	-4						
Température moyenne du lieu =	13	13						
1/2 largeur de la chapelle =	3.2	4.8						
Hauteur sous chéneaux =	2.5	3.5						
Hauteur moyenne pignon =	3.28	4.72						
Longueur hypoténuse =	3.56	5.28						
Rapport Hyp/1/2 larg. =	1.11	1.10						
Longueur chapelle =	67.10	42.00						
Largeur de serre =	57.60	48.00						
Surface au sol =	3 865.0	2 016.0			5 881.0	1.0	1.1	6 333
Surface de toiture =	4 296.1	2 217.6			6 513.7	6.1	18.0	714 737
Surface latérale =	335.5	294.0			629.5	3.9	18.0	44 504
Surface de pignon =	377.3	453.1			830.4	3.9	18.0	58 707
<b>Coefficient Kc apparent (kW/°) =</b>	<b>45.8</b>				45.8			824 282
Volume serre =	12 657.7	9 515.5			22 173.3			
Taux de renouvellement d'air =	1.08	0.43						
Enthalpie 95 % 16°C (W/m3) =				12.78				
Enthalpie 90 % -4 C (W/m3) =				0.95				
Volume à chauffer =	13 670.4	4 091.7			17 762.0	11.8	1.0	210 125
<b>Coefficient Kv apparent (kW/°) =</b>	<b>11.7</b>							
Puissance utile (W) =							(kW) =	1 034 407
Ratio de puissance au m <sup>2</sup> =	Ratio =	175.9 W/m <sup>2</sup>						Nuit et Ts = 14 °C

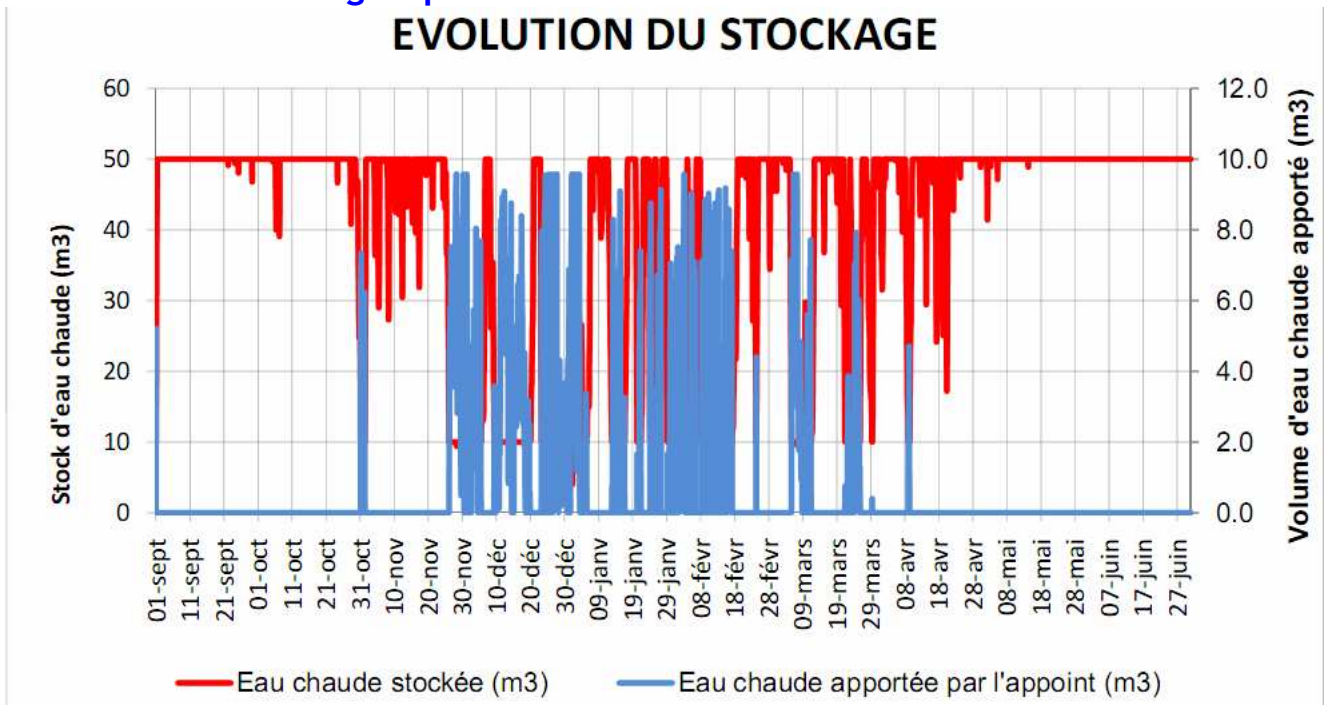
## Répartition besoins et apports :

<b>SIMULATION POUR LA SAISON DE L'ENERGIE TOTALE ET DE L'ENERGIE D'APPOINT EN SERRES</b>											
	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Totaux
Besoins nets (MWh) =	10.756	44.291	162.865	272.765	196.804	193.548	165.462	79.108	14.476	0.735	1 140.809
Apports Chaudière bois (MWh) =	10.484	42.449	132.568	171.146	151.028	143.264	164.486	79.108	14.476	0.735	909.743
Besoins complémentaires (MWh) =	0.272	1.842	30.298	101.618	45.776	50.284	0.976	0.000	0.000	0.000	231.066
<i>Vérif =</i>	10.756	44.291	162.865	272.765	196.804	193.548	165.462	79.108	14.476	0.735	1 140.809
% d'apport complémentaires (MWh) =	2.5%	4.2%	18.6%	37.3%	23.3%	26.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	20.3%
<b>BESOINS TOTAUX RAMENES EN CHAUFFERIE EN SITUATION ACTUELLE</b>											
Besoins totaux en chaufferie (MWh/PCI) =	12.572	51.770	190.365	318.822	230.035	226.229	193.400	92.465	16.920	0.859	1 333.437
Besoins totaux en chaufferie (MWh/PCS) =	13.554	55.814	205.238	343.730	248.006	243.903	208.510	99.689	18.242	0.927	1 437.612
Besoins totaux en chaufferie (Tonne) =	0.911	3.751	13.795	23.103	16.669	16.393	14.015	6.700	1.226	0.062	96.626
Equivalent Tep =	0.998	4.109	15.108	25.303	18.257	17.955	15.349	7.339	1.343	0.068	105.828
<b>BESOINS COUVERTS PAR LA CHAUDIERE BOIS RAMENES EN CHAUFFERIE</b>											
Apports bois théoriques (MWh) =	10.484	42.449	132.568	171.146	151.028	143.264	164.486	79.108	14.476	0.735	909.743
Apports bois ramenés en chaufferie (MWh) =	12.975	52.535	164.067	211.812	186.914	177.305	203.569	97.904	17.915	0.910	1 125.906
Equivalent Tep =	1.291	5.228	16.329	21.080	18.602	17.646	20.260	9.744	1.783	0.091	112.054
<b>BESOINS COMPLEMENTAIRES RAMENES EN CHAUFFERIE</b>											
Appoint/secours en chaufferie (MWh/PCI) =	0.318	2.154	35.413	118.777	53.505	58.774	1.141	0.000	0.000	0.000	270.082
Besoins en MWh/PCS =	0.343	2.322	38.180	128.056	57.685	63.366	1.230	0.000	0.000	0.000	291.182
Besoins totaux en chaufferie (Tonne) =	0.023	0.156	2.566	8.607	3.877	4.259	0.083	0.000	0.000	0.000	19.571
Equivalent Tep =	0.025	0.171	2.811	9.427	4.246	4.665	0.091	0.000	0.000	0.000	21.435
<b>RESULTATS GENERAUX EN TEP ENTRAINES PAR L'INSTALLATION DE LA CHAUDIERE BOIS ENERGIE</b>											
Equivalent TEP Du bois energie =	1.291	5.228	16.329	21.080	18.602	17.646	20.260	9.744	1.783	0.091	112.054
Equivalent TEP complémentaires =	0.025	0.171	2.811	9.427	4.246	4.665	0.091	0.000	0.000	0.000	21.4
Equivalent total en TEP =	1.317	5.399	19.139	30.507	22.849	22.311	20.351	9.744	1.783	0.091	133.5
Equivalent TEP de la solution actuelle =	0.998	4.109	15.108	25.303	18.257	17.955	15.349	7.339	1.343	0.068	105.828
Variation de TEP =	-0.319	-1.291	-4.031	-5.204	-4.592	-4.356	-5.001	-2.405	-0.440	-0.022	-27.7
% de variation =	-31.95%	-31.41%	-26.68%	-20.57%	-25.15%	-24.26%	-32.58%	-32.78%	-32.78%	-32.78%	-26.1%
<b>RESULTATS GENERAUX ENTRAINES EN TONNE DE CO2 PAR L'INSTALLATION DE LA CHAUDIERE BOIS ENERGIE</b>											
Equivalent CO2 du bois energie =	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Equivalent CO2 complémentaires =	0.078	0.527	8.674	29.091	13.105	14.395	0.279	0.000	0.000	0.000	66.1
Equivalent total en CO2 (T) =	0.08	0.53	8.67	29.09	13.10	14.40	0.28	0.00	0.00	0.00	66.1
Equivalent CO2 de la solution actuelle =	3.08	12.68	46.63	78.09	56.34	55.41	47.37	22.65	4.14	0.21	326.6
Diminution des rejets de CO2 (T) =	3.00	12.15	37.95	49.00	43.24	41.01	47.09	22.65	4.14	0.21	260.4
% d'économie =	97.47%	95.84%	81.40%	62.75%	76.74%	74.02%	99.41%	100.00%	100.00%	100.00%	79.7%

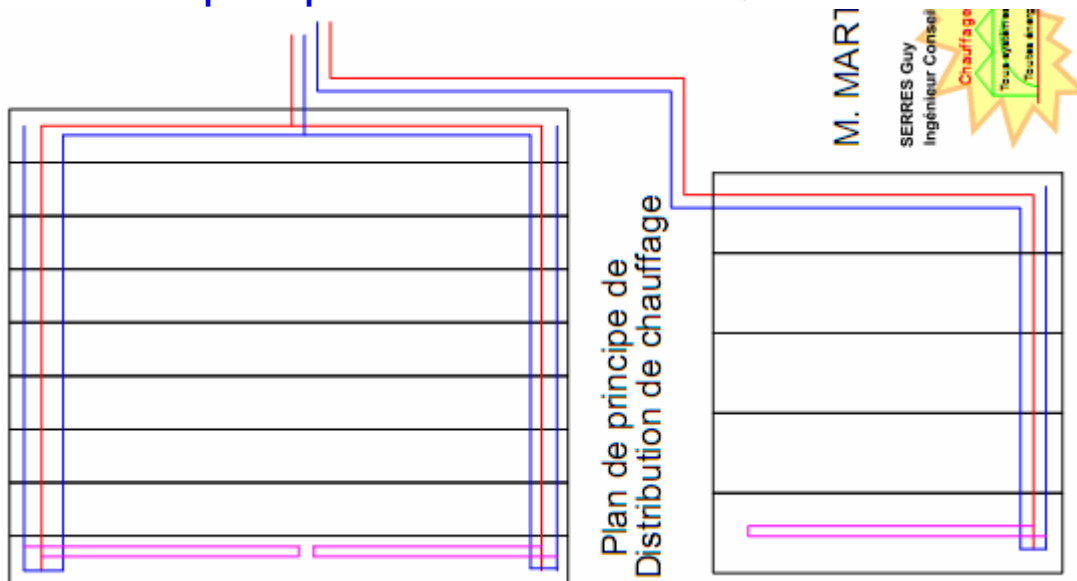
## Répartition besoin par tranche et par mois :

	SAISON 80-81 de CHAUFFAGE de 0.588				HECTARES fonctionnement normal - Consigne (°C) = 16						
	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Année
Besoins en serre (kWh) =	10 756	44 291	162 865	272 765	196 804	193 548	165 462	79 108	14 476	735	1 140 809
Besoins en chaufferie/PCI (kWh/PCI) =	11 819	48 672	178 973	299 741	216 268	212 690	181 826	86 931	15 908	808	1 253 636
Conso (KWh/PCS) Fact GDF =	13 001	53 539	196 870	329 715	237 895	233 959	200 009	95 625	17 498	889	1 379 000
Conso (Tep) =	828.2	3 410.4	12 540.6	21 002.9	15 153.9	14 903.2	12 740.6	6 091.3	1 114.6	56.6	87 842
Conso. spécifiques nettes (kW/m²) =	1.8	7.5	27.7	46.4	33.5	32.9	28.1	13.5	2.5	0.1	194.0
B. Energie complémentaire gaz (MWh) =	0.3	1.8	30.3	101.6	45.8	50.3	1.0	0.0	0.0	0.0	231.1
											H. Fct
0 à 30	80	150	248	98	140	189	178	263	121	22	1 489
30 à 60	15	83	215	230	292	243	246	152	23	0	1 499
60 à 90	0	19	114	269	117	96	129	37	3	0	784
90 à 120	0	6	39	123	75	94	47	3	0	0	387
120 à 150	0	0	9	14	12	17	4	0	0	0	56
150 à 180	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
180 à 210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210 à 240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240 à 270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sup à 270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	95	258	625	734	637	639	604	455	147	22	4 216

## Evolution du stockage Open Buffer 50 m3 :



## Schéma de principe réseau de restitution :

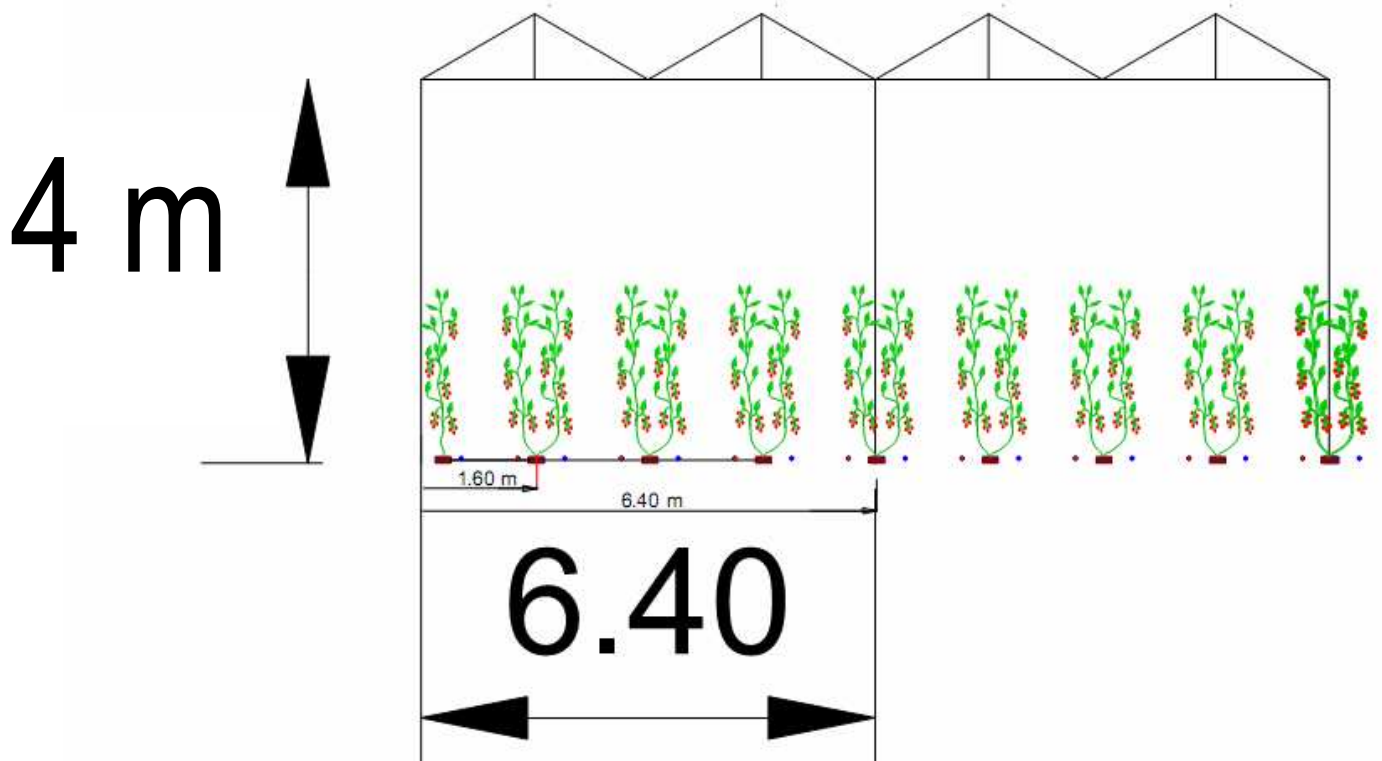


## Cas n°2 : Serre de Palau-del-Vidre (1,8 ha) – Mr CO NGOST

Vue du ciel :



Vue en coupe :

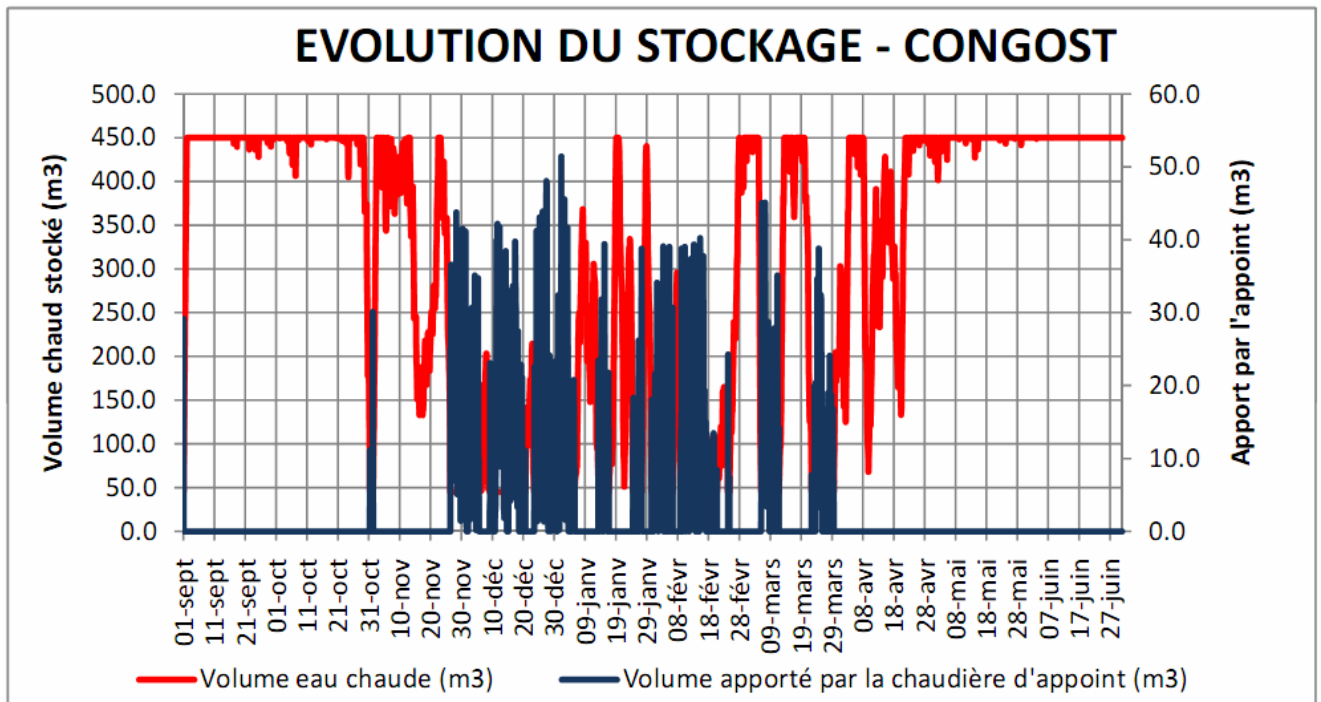




Plan de masse : unité en [m]



Open Buffer :



## Bilan financier :

Bilan d'exploitation prévisionnel pour un combustible à 22.5 € HT/MWh final (Forestier+ rebut) :

Coûts d'Exploitation :	Tout Gaz Nat		Bois + Gaz Nat		[unité]
<b>P1 : Energie</b>					
Energie finale = besoin entrée chaudière		267	317		kWh EF/m².an
Energie utile = besoin des plantes		267	267		kWh EU/m².an
Surface à chauffer		17 899	17 899		m²
Energie utile total		4 779	4 779		MWh/an
Couverture des chaudières		100%	80%	20%	%
Rendement global chaufferies		1.00	0.81	1.00	
Consommation EF unité réf		4 779	4 720	956	MWh/an
<b>P1 : Combustible</b>					
<b>Abonnement</b>		?	0	?	€ HT/an
Coût énergie		38	22.50	38	€ HT/MWhF
Coût total HT		181 603	106 201	36 321	€ HT/an
TVA		19.6	5.5	19.6	%
<b>Coût TTC</b>		217 197	112 042	43 439	€/an
<b>P'1 : Electricité</b>					
Abonnement		?	?		€ HT/an
Conso		2%	5%	2%	de la conso MW
Consommation		96	236	19.1	MWhF
Coût unitaire		54	54	54	€ HT
Coût HT		5 195	12 827	1 039	€ HT
TVA		19.6	19.6	19.6	
<b>Cout TTC</b>		6 213	15 341	1 243	€ TTC
<b>TOTAL P1</b>		<b>223 410</b>	<b>172 065</b>		<b>€/an</b>
<b>Fourniture de CO2 aux plantes</b>					
Besoin de			200		tonnes/ha
Production de CO2 chaudière exploitable		948	0	95	tonnes/an
ACHAT de CO2 Liquide complément			105		tonnes/an
Cout			120		€ HT/tonne
Cout total			12 628		€ HT/an
<b>P2 - Maintenance Courante de l'installation</b>					
Coût HT		1 500	4 000	1 000	€/an
<b>P3 - Gros entretien et Renouvellement Matériel</b>					
Calculé en prenant un pourcentage de l'investissement total hors Génie Civil					
Valeur		3	3	1.5	%
Coût P3		1 200	12 591	600	€/an
<b>P4 - Remboursement de l'emprunt</b>					
Investissement total		-40 000	-514 700		€ HT
Durée emprunt		20	20		ans
Taux		4.0%	4.0%		%
<b>Annuité</b>		<b>2 943</b>	<b>37 873</b>		€
		<b>Tout Gaz Nat</b>	<b>Bois + Gaz Nat</b>		
<b>Coût total exploitation P1+P2+P3+P4 sur 20 ans</b>					
Coût exploitation total P1-2-3-4 par an		229 054	240 756		€/an
Coût MWh utile incluant P1-2-3-4 sur 20 ans		48	50		€
Différence BOIS / REF			5.1%		
Economie d'exploitation du bois P1-2-3-4			-11 703		€/an



# Emissions en eau géothermale - DT - instal :

GRANDE SERRE - Epingles Rails - Coté Nord										
Trame	Largeur	Longueur	Surface	Nb d'épingles	Q. épingle	Q. trame	Q "Aller"	Q. "Retour"	P. épingle	P. trame
	(m)	(m)			(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(W)	(W)
1.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	4 200.0	100 800.0	17 263.4	69 053.7
2.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	8 400.0	96 600.0	17 263.4	69 053.7
3.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	12 600.0	92 400.0	17 263.4	69 053.7
4.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	16 800.0	88 200.0	17 263.4	69 053.7
5.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	21 000.0	84 000.0	17 263.4	69 053.7
6.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	25 200.0	79 800.0	17 263.4	69 053.7
7.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	29 400.0	75 600.0	17 263.4	69 053.7
8.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	33 600.0	71 400.0	17 263.4	69 053.7
9.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	37 800.0	67 200.0	17 263.4	69 053.7
10.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	42 000.0	63 000.0	17 263.4	69 053.7
11.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	46 200.0	58 800.0	17 263.4	69 053.7
12.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	50 400.0	54 600.0	17 263.4	69 053.7
13.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	54 600.0	50 400.0	17 263.4	69 053.7
14.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	58 800.0	46 200.0	17 263.4	69 053.7
15.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	63 000.0	42 000.0	17 263.4	69 053.7
16.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	67 200.0	37 800.0	17 263.4	69 053.7
17.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	71 400.0	33 600.0	17 263.4	69 053.7
18.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	75 600.0	29 400.0	17 263.4	69 053.7
19.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	79 800.0	25 200.0	17 263.4	69 053.7
20.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	84 000.0	21 000.0	17 263.4	69 053.7
21.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	88 200.0	16 800.0	17 263.4	69 053.7
22.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	92 400.0	12 600.0	17 263.4	69 053.7
23.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	96 600.0	8 400.0	17 263.4	69 053.7
24.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	100 800.0	4 200.0	17 263.4	69 053.7
		1 305.6	8 355.8	96.0		100 800.0				1 657 287.7
	L. tubes			10 492.8	R. tube (ml/m²)	1.3		Surface (m²) =		8 355.8
									t entrée (°C)	90.0
									t sortie (°C)	75.8
									Ps (Cal/h.m²)	1 428.7
										171.0

GRANDE SERRE - Epingles Rails - Coté Sud										
Trame	Largeur	Longueur	Surface	Nb d'épingles	Q. épingle	Q. trame	Q "Aller"	Q. "Retour"	P. épingle	P. trame
	(m)	(m)			(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(W)	(W)
1.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	4 200.0	100 800.0	17 263.4	69 053.7
2.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	8 400.0	96 600.0	17 263.4	69 053.7
3.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	12 600.0	92 400.0	17 263.4	69 053.7
4.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	16 800.0	88 200.0	17 263.4	69 053.7
5.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	21 000.0	84 000.0	17 263.4	69 053.7
6.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	25 200.0	79 800.0	17 263.4	69 053.7
7.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	29 400.0	75 600.0	17 263.4	69 053.7
8.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	33 600.0	71 400.0	17 263.4	69 053.7
9.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	37 800.0	67 200.0	17 263.4	69 053.7
10.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	42 000.0	63 000.0	17 263.4	69 053.7
11.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	46 200.0	58 800.0	17 263.4	69 053.7
12.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	50 400.0	54 600.0	17 263.4	69 053.7
13.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	54 600.0	50 400.0	17 263.4	69 053.7
14.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	58 800.0	46 200.0	17 263.4	69 053.7
15.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	63 000.0	42 000.0	17 263.4	69 053.7
16.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	67 200.0	37 800.0	17 263.4	69 053.7
17.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	71 400.0	33 600.0	17 263.4	69 053.7
18.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	75 600.0	29 400.0	17 263.4	69 053.7
19.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	79 800.0	25 200.0	17 263.4	69 053.7
20.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	84 000.0	21 000.0	17 263.4	69 053.7
21.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	88 200.0	16 800.0	17 263.4	69 053.7
22.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	92 400.0	12 600.0	17 263.4	69 053.7
23.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	96 600.0	8 400.0	17 263.4	69 053.7
24.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	100 800.0	4 200.0	17 263.4	69 053.7
		1 305.6	8 355.8	96.0		100 800.0				1 657 287.7
	L. tubes			10 492.8	R. tube (ml/m²)	1.3		Surface (m²) =		8 355.8
									t entrée (°C)	90.0
									t sortie (°C)	75.8
									Ps (Cal/h.m²)	1 428.7
										171.0
Grande serre	Partie Nord	10 492.8	8 355.8	100 800.0	1 657 287.7	198.3	96.0			
	Partie Sud	10 492.8	8 355.8	100 800.0	1 657 287.7	198.3	96.0			
	Total serre	20 985.6	16 711.7	201 600.0	3 314 575.5	198.3	192.0			

PETITE SERRE - Epingles rails										
Chapelle	Longueur	Surface	Nb d'épingles	Q. épingle	Q. chapelle	Q "Aller"	Q. "Retour"	P. épingle	P. chapelle	
	(m)			(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(W)	(W)	
Chapelle 1	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	4 200.0	8 400.0	17 263.4	69 053.7
Chapelle 2	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	8 400.0	4 200.0	17 263.4	69 053.7
		108.8	696.3	8.0	2 100.0	8 400.0				138 107.3
	L. tubes			874.4	R. tube (ml/m²)	1.3		Surface (m²) =		696.3
									Ps (Cal/h.m²)	0.0
									OK => x 1.26	

# Emissions actuelles estimées :

GRANDE SERRE - Epingles Rails - Coté Nord											
Trame	Longueur		Surface		Nb d'épingles	Q. épingle	Q. trame	Q. "Aller"	Q. "Retour"	P. épingle	P. trame
	Largeur	(m)				(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(W)	(W)
1.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	4 200.0	100 800.0	17 263.4	69 053.7	
2.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	8 400.0	96 600.0	17 263.4	69 053.7	
3.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	12 600.0	92 400.0	17 263.4	69 053.7	
4.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	16 800.0	88 200.0	17 263.4	69 053.7	
5.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	21 000.0	84 000.0	17 263.4	69 053.7	
6.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	25 200.0	79 800.0	17 263.4	69 053.7	
7.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	29 400.0	75 600.0	17 263.4	69 053.7	
8.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	33 600.0	71 400.0	17 263.4	69 053.7	
9.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	37 800.0	67 200.0	17 263.4	69 053.7	
10.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	42 000.0	63 000.0	17 263.4	69 053.7	
11.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	46 200.0	58 800.0	17 263.4	69 053.7	
12.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	50 400.0	54 600.0	17 263.4	69 053.7	
13.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	54 600.0	50 400.0	17 263.4	69 053.7	
14.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	58 800.0	46 200.0	17 263.4	69 053.7	
15.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	63 000.0	42 000.0	17 263.4	69 053.7	
16.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	67 200.0	37 800.0	17 263.4	69 053.7	
17.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	71 400.0	33 600.0	17 263.4	69 053.7	
18.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	75 600.0	29 400.0	17 263.4	69 053.7	
19.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	79 800.0	25 200.0	17 263.4	69 053.7	
20.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	84 000.0	21 000.0	17 263.4	69 053.7	
21.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	88 200.0	16 800.0	17 263.4	69 053.7	
22.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	92 400.0	12 600.0	17 263.4	69 053.7	
23.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	96 600.0	8 400.0	17 263.4	69 053.7	
24.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	100 800.0	4 200.0	17 263.4	69 053.7	
		1 305.6	8 355.8	96.0		100 800.0				1 657 287.7	171.0
		L. tubes		10 492.8	R. tube (ml/m²)	1.3			Surface (m²) =	8 355.8	171.0

GRANDE SERRE - Epingles Rails - Coté Sud											
Trame	Longueur		Surface		Nb d'épingles	Q. épingle	Q. trame	Q. "Aller"	Q. "Retour"	P. épingle	P. trame
	Largeur	(m)				(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(W)	(W)
1.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	4 200.0	100 800.0	17 263.4	69 053.7	
2.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	8 400.0	96 600.0	17 263.4	69 053.7	
3.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	12 600.0	92 400.0	17 263.4	69 053.7	
4.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	16 800.0	88 200.0	17 263.4	69 053.7	
5.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	21 000.0	84 000.0	17 263.4	69 053.7	
6.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	25 200.0	79 800.0	17 263.4	69 053.7	
7.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	29 400.0	75 600.0	17 263.4	69 053.7	
8.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	33 600.0	71 400.0	17 263.4	69 053.7	
9.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	37 800.0	67 200.0	17 263.4	69 053.7	
10.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	42 000.0	63 000.0	17 263.4	69 053.7	
11.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	46 200.0	58 800.0	17 263.4	69 053.7	
12.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	50 400.0	54 600.0	17 263.4	69 053.7	
13.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	54 600.0	50 400.0	17 263.4	69 053.7	
14.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	58 800.0	46 200.0	17 263.4	69 053.7	
15.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	63 000.0	42 000.0	17 263.4	69 053.7	
16.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	67 200.0	37 800.0	17 263.4	69 053.7	
17.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	71 400.0	33 600.0	17 263.4	69 053.7	
18.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	75 600.0	29 400.0	17 263.4	69 053.7	
19.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	79 800.0	25 200.0	17 263.4	69 053.7	
20.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	84 000.0	21 000.0	17 263.4	69 053.7	
21.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	88 200.0	16 800.0	17 263.4	69 053.7	
22.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	92 400.0	12 600.0	17 263.4	69 053.7	
23.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	96 600.0	8 400.0	17 263.4	69 053.7	
24.0	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	100 800.0	4 200.0	17 263.4	69 053.7	
		1 305.6	8 355.8	96.0		100 800.0				1 657 287.7	171.0
		Lg Tubes	Surfaces	Débit (l/h)	Puissance	Ratio (W/m²)	Epingles		Surface (m²) =	8 355.8	171.0
Grande serre	Partie Nord	10 492.8	8 355.8	100 800.0	1 657 287.7	198.3	96.0				
	Partie Sud	10 492.8	8 355.8	100 800.0	1 657 287.7	198.3	96.0				
	Total serre	20 985.6	16 711.7	201 600.0	3 314 575.5	198.3	192.0				

PETITE SERRE - Epingles rails											
Chapelle	Longueur		Surface		Nb d'épingles	Q. épingle	Q. chapelle	Q. "Aller"	Q. "Retour"	P. épingle	P. chapelle
	Largeur	(m)				(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(W)	(W)
Chapelle 1	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	4 200.0	8 400.0	17 263.4	69 053.7	
Chapelle 2	6.4	54.4	348.2	4.0	1 050.0	4 200.0	8 400.0	4 200.0	17 263.4	69 053.7	
		108.8	696.3	8.0	2 100.0	8 400.0				138 107.3	0.0
		L. tubes		874.4	R. tube (ml/m²)	1.3			Surface (m²) =	696.3	0.0

## Répartition des besoins :

<b>SIMULATION POUR LA SAISON DE L' ENERGIE TOTALE ET DE L'ENERGIE D'APPOINT EN SERRES</b>												
	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Totaux	
Besoins nets (MWh) =	73.560	241.557	674.893	978.398	752.708	740.180	726.721	432.798	149.667	26.849	4 797.331	
Apports Chaudière bois (MWh) =	72.039	238.887	577.566	603.933	610.696	546.933	726.721	432.798	149.667	26.849	3 887.202	
Besoins complémentaires (MWh) =	1.521	2.670	97.327	374.465	142.012	193.247	0.000	0.000	0.000	0.000	811.241	
Vérif =	73.560	241.557	674.893	978.398	752.708	740.180	726.721	432.798	149.667	26.849	4 698.443	
% d'apport complémentaires (MWh) =	2.1%	1.1%	14.4%	38.3%	18.9%	26.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.169	
<b>BESOINS TOTAUX RAMENES EN CHAUFFERIE EN SITUATION ACTUELLE</b>												
Besoins totaux en chaufferie (MWh/PCI) =	73.698	242.009	676.157	980.231	754.118	741.567	728.082	433.609	149.947	26.899	4 806.318	
Besoins totaux en chaufferie (MWh/PCS) =	81.068	266.210	743.773	1078.254	829.530	815.724	800.891	476.970	164.942	29.589	5 286.950	
Equivalent Tep =	6.254	20.536	57.377	83.180	63.992	62.927	61.783	36.795	12.724	2.283	407.850	
<b>BESOINS COUVERTS PAR LA CHAUDIERE BOIS RAMENES EN CHAUFFERIE</b>												
Apports bois théoriques (MWh) =	72.039	238.887	577.566	603.933	610.696	546.933	726.721	432.798	149.667	26.849	3 887.202	
Apports bois ramenés en chaufferie (MWh) =	94.728	314.127	759.476	794.147	803.041	719.194	955.608	569.112	196.806	35.305	5 111.511	
Equivalent Tep =	9.428	31.263	75.586	79.037	79.922	71.577	95.106	56.640	19.587	3.514	508.717	
<b>BESOINS COMPLEMENTAIRES RAMENES EN CHAUFFERIE</b>												
Appoint/secours en chaufferie (MWh/PCI) =	1.524	2.675	97.509	375.166	142.278	193.609	0.000	0.000	0.000	0.000	812.761	
Besoins nets en MWh/PCS =	1.676	2.942	107.260	412.683	156.505	212.970	0.000	0.000	0.000	0.000	892.361	
Equivalent Tep =	0.129	0.227	8.274	31.836	12.073	16.429	0.000	0.000	0.000	0.000	68.839	
<b>RESULTATS GENERAUX EN TEP ENTRAINES PAR L'INSTALLATION DE LA CHAUDIERE BOIS ENERGIE</b>												
Equivalent TEP Du bois energie =	9.428	31.263	75.586	79.037	79.922	71.577	95.106	56.640	19.587	3.514	521.658	
Equivalent TEP complémentaires =	0.129	0.227	8.274	31.836	12.073	16.429	0.000	0.000	0.000	0.000	68.839	
Equivalent total en TEP =	9.557	31.490	83.860	110.872	91.995	88.006	95.106	56.640	19.587	3.514	577.556	
Equivalent TEP de la solution actuelle =	6.254	20.536	57.377	83.180	63.992	62.927	61.783	36.795	12.724	2.283	407.850	
Variation de TEP =	-3.303	-10.954	-26.484	-27.693	-28.003	-25.079	-33.323	-19.845	-6.863	-1.231	-178.242	
% de variation =	-52.82%	-53.34%	-46.16%	-33.29%	-43.76%	-39.85%	-53.94%	-53.94%	-53.94%	-53.94%	-43.7%	
<b>RESULTATS GENERAUX ENTRAINES EN TONNE DE CO2 PAR L'INSTALLATION DE LA CHAUDIERE BOIS ENERGIE</b>												
Equivalent CO2 Du bois energie =	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Equivalent CO2 complémentaires =	0.381	0.668	24.367	93.752	35.554	48.382	0.000	0.000	0.000	0.000	202.723	
Equivalent total en CO2 (T) =	0.38	0.67	24.37	93.75	35.55	48.38	0.00	0.00	0.00	0.00	202.723	
Equivalent CO2 de la solution proposée =	18.42	60.48	168.97	244.95	188.45	185.31	181.94	108.36	37.47	6.72	1 201.067	
Diminution des rejets de CO2 (T) =	18.04	59.81	144.60	151.20	152.89	136.93	181.94	108.36	37.47	6.72	973.206	
% d'économie =	97.93%	98.89%	85.58%	61.73%	81.13%	73.89%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	81.0%	

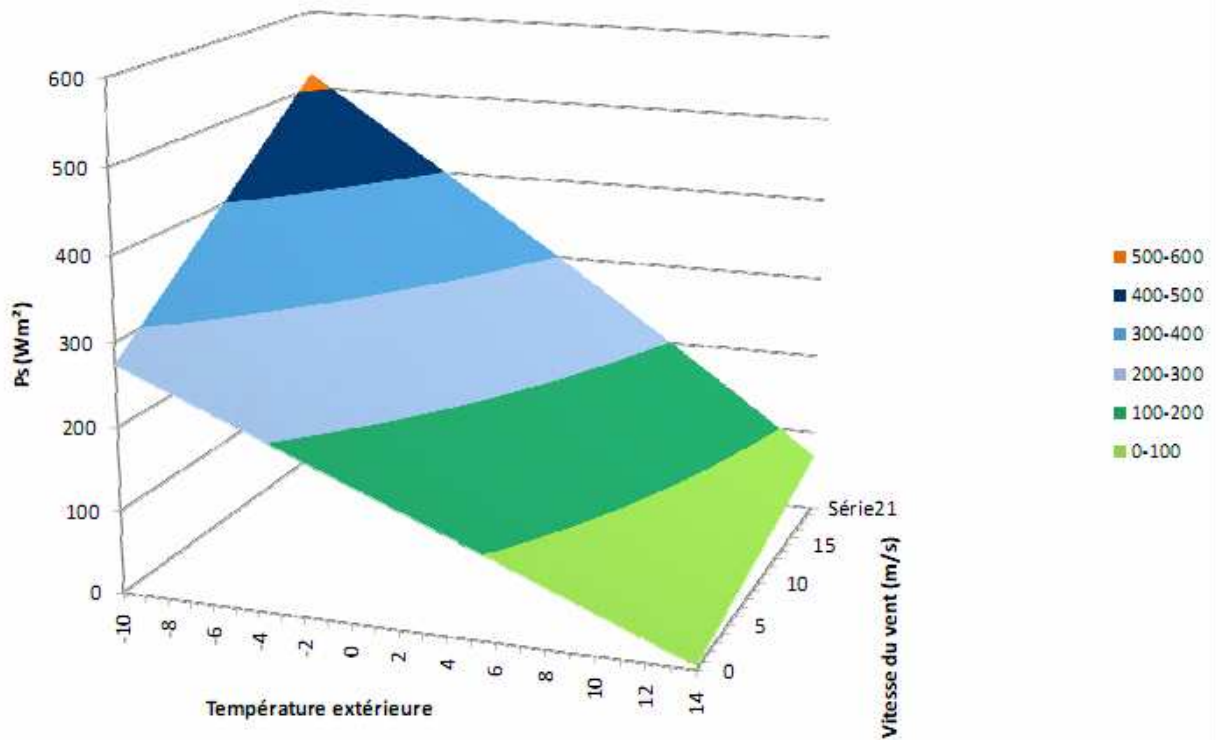
Fichier MTO fourni - CHAUFFAGE de 1.790 HECTARES fonctionnement normal - Consigne (°C) = 19											
	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Année
Besoins en serre (kWh) =	73 560	241 557	674 893	978 398	752 708	740 180	726 721	432 798	149 667	26 849	4 797 331
Besoins en chauffage/PCI (kWh/PCI) =	80 835	265 447	741 641	1 075 163	827 152	813 385	798 594	475 602	164 469	29 504	5 271 792
Conso (KWh/PCS) Fact GDF =	88 919	291 992	815 805	1 182 679	909 867	894 723	878 454	523 162	180 916	32 455	5 798 971
Conso (Tep) =	5 664.1	18 599.9	51 966.8	75 336.6	57 958.5	56 993.9	55 957.5	33 325.5	11 524.3	2 067.4	369 394
Conso. spécifiques nettes (kW/m²) =	4.1	13.5	37.7	54.7	42.1	41.4	40.6	24.2	8.4	1.5	268.0
B. Energie complémentaire gaz (MWh) =	1.5	2.7	97.3	374.5	142.0	193.2	0.0	0.0	0.0	0.0	811.2
0 à 30	172	262	147	51	130	105	159	273	320	81	1 700
30 à 60	32	135	281	237	277	238	273	238	78	16	1 805
60 à 90	8	26	175	266	221	249	154	84	8	0	1 191
90 à 120	1	18	58	115	69	68	62	29	3	0	423
120 à 150	0	3	26	46	18	14	45	3	0	0	155
150 à 180	0	0	4	25	8	9	13	0	0	0	59
180 à 210	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	5
210 à 240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240 à 270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sup à 270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	213	444	691	744	724	683	706	627	409	97	5 338

## Calcul de déperditions :

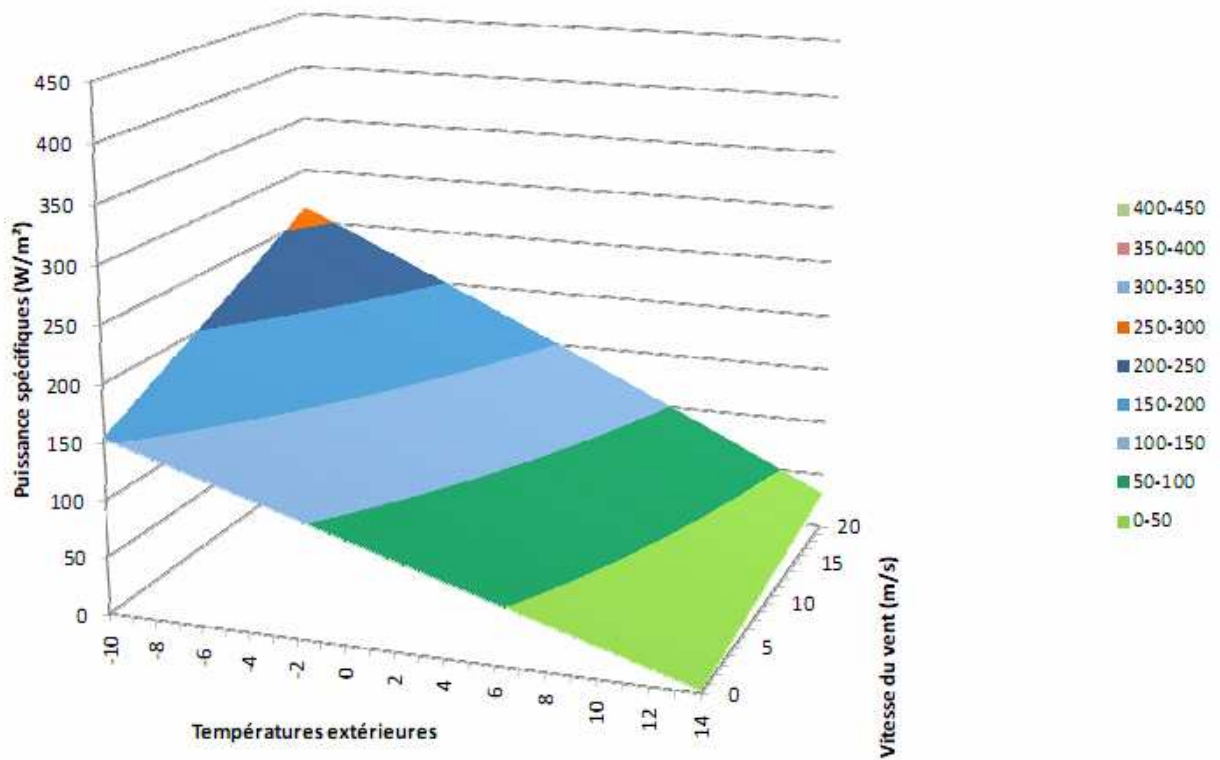
Serre totale à 19-16°C - Culture de Tomates - Sans écran								
	Grande Serre (m <sup>2</sup> )	Petite Serre n <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )			Surface totale (m <sup>2</sup> )	Coéf. k (w/m <sup>2</sup> )	Delta t (°K)	Déperditions (W)
Température à maintenir (Nuit) =	16	16						
Température à maintenir (Jour) =	19	19						
Température extérieure de base =	-4	-4						
Température moyenne du lieu =	13	13						
1/4 largeur de la chapelle =	1.6	1.6						
Hauteur sous chêneaux =	4.0	4.0						
Hauteur moyenne pignon =	4.31	4.31						
Longueur hypoténuse =	1.85	1.85						
Rapport Hyp/1/2 larg. =	1.16	1.16						
Longueur chapelle =	112.00	54.40						
Largeur de serre =	153.60	12.80						
Surface au sol =	17 203.2	696.3			17 899.5	1.0	1.2	22 030
Surface de toiture =	19 891.2	805.1			20 696.3	6.9	23.0	3 305 662
Surface latérale =	499.2	217.6			716.8	5.7	23.0	94 749
Surface de pignon =	1 323.0	55.1			1 378.1	5.7	23.0	182 167
<b>Coefficient Kc apparent (kW/°) =</b>	<b>156.7</b>							<b>3 604 609</b>
Volume serre =	74 088.4	2 998.8	0.0	0.0	77 087.3			
Taux de renouvellement d'air =	0.68	0.68	0.68	0.68				
Enthalpie 95 % 19°C (W/m3) =				17.18				
Enthalpie 90 % -4 C (W/m3) =				0.82				
Volume à chauffer =	50 009.7	2 024.2	0.0	0.0	52 033.9	16.4	1.0	851 275
<b>Coefficient Kv apparent (kW/°) =</b>	<b>37.01</b>							<b>4 455 884</b>
Puissance utile (W) =							(kW) =	<b>4 455 884</b>
Ratio de puissance au m <sup>2</sup> =	Ratio =	248.9 W/m <sup>2</sup>			<b>PAS D'ECRAN et Ts = 16 °C</b>			
Serre totale 16°C - Culture de Tomates - Avec écran								
	Serre n <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> )	Serre n <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	Serre n <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> )	Serre n <sup>4</sup> (m <sup>2</sup> )	Surface totale (m <sup>2</sup> )	Coéf. k (w/m <sup>2</sup> )	Delta t (°K)	Déperditions (W)
Température à maintenir (Nuit) =	16	16						
Température à maintenir (Jour) =	19	19						
Température extérieure de base =	-4	-4						
Température moyenne du lieu =	13	13						
1/2 Largeur de la 1/2 chapelle =	1.6	1.6						
Hauteur sous chêneaux =	5.4	5.4						
Hauteur pignon =	4.0	4.0						
Longueur hypoténuse =	1.85	1.85						
Rapport Hyp/1/2 larg. =	1.16	1.16						
Longueur chapelle =	112.0	54.4						
Largeur de serre =	153.6	12.8						
Surface au sol =	17 203.2	696.3			17 899.5	1.0	1.2	22 030
Surface de toiture =	19 891.2	805.1			20 696.3	4.5	20.0	1 842 900
Surface latérale =	499.2	217.6			716.8	3.9	20.0	56 307
Surface de pignon =	1 323.0				1 323.0	3.9	20.0	103 926
<b>Coefficient Kc apparent (kW/°) =</b>	<b>101.3</b>				101.3			<b>2 025 162</b>
Volume serre =	74 088.4	2 998.8			77 087.3			
Taux de renouvellement d'air =	0.38	0.38						
Enthalpie 95 % 16°C (W/m3) =				14.46				
Enthalpie 90 % -4 C (W/m3) =				0.82				
Volume à chauffer =	27 783.2	1 124.6			28 907.7	13.6	1.0	394 301
<b>Coefficient Kv apparent (kW/°) =</b>	<b>19.7</b>							<b>2 419 464</b>
Puissance utile (W) =							(kW) =	<b>2 419 464</b>
Ratio de puissance au m <sup>2</sup> =	Ratio =	135.2 W/m <sup>2</sup>			<b>ECRAN et Ts = 18 °C</b>			



### Puissances spécifiques **sans écran** en fonction de t et de V)



### Puissances spécifiques **avec écran** en fonction de t et de V



## Cas n°3 : Serre de Saint-Cyprien (10 ha) – Mr GOY

Bilan financier avec un combustible à 22.50 € HT/MWh :

<b>Coûts d'Exploitation :</b>			
<b>P1 : Energie</b>			
Energie finale = besoin entrée chaudière	277	324	kWh EF/m².an
Energie utile = besoin des plantes	277	277	kWh EU/m².an
Surface à chauffer	100 000	100 000	m²
Energie utile total	27 700	27 700	MWh/an
Couverture des chaudières	100%	72%	28%
Rendement global chaufferies	1	0.81	1
Consommation EF unité réf	27 700	24 622	7 756
			MWh/an
<b>P1 : Combustible</b>			
<b>Abonnement</b>	?	0	?
			€ HT/an
Coût énergie	38	22.50	38
			€ HT/MWhF
Coût total HT	1 052 600	554 000	294 728
			€ HT/an
TVA	19.6	5.5	19.6
			%
<b>Coût TTC</b>	1 258 910	584 470	352 495
			€/an
<b>P'1 : Electricité</b>			
Abonnement	?	?	?
			€ HT/an
Conso	2%	5%	2%
			de la conso MW
Consommation annuelle	554	1 231	155.1
			MWhF
Coût unitaire	54	54	54
			€ HT
Coût HT	30 110	66 911	8 431
			€ HT
TVA	19.6	19.6	19.6
			€
<b>Cout TTC</b>	36 011	80 025	10 083
			€ TTC
<b>TOTAL P1</b>	<b>1 294 921</b>	<b>1 027 073</b>	<b>€/an</b>
<b>Fourniture de CO2 aux plantes</b>			
Besoin de		200	tonnes/ha
Production de CO2 chaudière exploitable	5 493	0	769
			tonnes/an
ACHAT de CO2 Liquide		1 231	
			tonnes/an
Cout		120	13
			€ HT/tonne
Cout total		147 723	
			€ HT
<b>P2 - Maintenance Courante de l'installation</b>			
Coût	10 000	20 000	5 000
			€/an
<b>P3 - Gros entretien et Renouvellement Matériel</b>			
Calculé en prenant un pourcentage de l'investissement total hors Génie Civil			
Valeur	3	3	1.5
			%
Coût P3	4 500	32 871	2 250
			€/an
<b>P4 - Remboursement de l'emprunt</b>			
Investissement total	-150 000	-1 745 700	€ HT
Durée emprunt	20	20	ans
Taux	4.5%	4.5%	%
<b>Annuité</b>	<b>11 531</b>	<b>134 203</b>	<b>€</b>
	<b>Tout Gaz Nat</b>	<b>Bois + Gaz Nat</b>	
<b>Coût total exploitation P1+P2+P3+P4 sur 20 ans</b>			
Coût exploitation total P1-2-3-4 par an	1 320 952	1 369 120	€/an
Coût MWh utile incluant P1-2-3-4 sur 20 ans	48	49	€
Différence BOIS / REF		3.6%	
Economie d'exploitation du bois P1-2-3-4		-48 168	€/an

# Bilan de la simulation :

Eléments de dimensionnement	Données fournies	Réponses Programme
Température de nuit (t') =	16.0	Nombre d'épingles moyennes = 200.0
Température de jour (t'') =	19.0	Température serre de calcul = 16.0
Température extérieure de base =	-4	Longueur développée épingle (m) = 174.0
Température moyenne du lieu =	13	Diamètre extérieur (mm) = 51.0
Consommation de CO2 (Tonnes/hectare) =	240.0	Débit total "rail" + Végét. (m³/h) = 210
Soit pour l'exploitation (Tonne) =	2 445.9	Puissance émise moyenne (kW) = 5 196
Dont en période de chauffage (T) =	1 207.5	Puissance spécifique totale (W/m²) = 51.0
Prix du CO2 "Air Liquide" (€/t) =	110.0	Diamètre intérieur (mm) = 47.0
Longueur d'épingle équivalente (m) =	87.0	Epaisseur du tube (mm) = 2.0
Débit d'épingle "équivalente" (l/h) =	1 050.0	<b>Nombre de Reynold =</b> 16 530
Nombre de rangs double par chapelle =	4.0	Emission d'une épingle moyenne (W) = 25 980.8
		Température de sortie moyenne (°C) = 68.7
		Température serre de jour = 19.0
		Température serre de nuit = 16.0
Hauteur sous chéneau =	5.25	Régularité d'émission (%) = 1.37%
Rayon extérieur du tube rail (mm) =	25.5	Emission d'une épingle forcast (W) = Néant
Rayon intérieur du tube rail (mm) =	23.5	Delta t eau/maxi = 21.3
Température moyenne de serre (°C) =	17.5	Vitesse "épingle" = 0.168
Température stock depuis Chaud Bois (°C) =	90.0	Puissance maxi totale jour W) = 5 196 152
<b>Température maxi d'entrée Rail (°C) =</b>	90.0	Puissance maxi totale jour W) = 5 196 152
Volume "Open Buffer" = (m3) =	1 600.0	Temps parcours épingle moyen (mn) = 17.25
Stock mini "OPEN-BUFFER" =	100.0	(départ maxi jour = 90.0
Surface brute bloc (m²) =	101 913.6	t retour maxi jour = 68.7
Débit condenseur (Dt = 5° - m3/h) =	862.1	Ecart de températ. Maxi jour = 21.3
<b>P. Nominale Chaudière bois (kW) =</b>	3 880.0	t départ maxi nuit = 90.0
Débit d'irrigation chaudière bois (dt=15) =	223.0	t retour maxi nuit = 68.7
P. Mini chaudière bois =	836.2	Ecart de températ. Maxi nuit = 21.3
P. Chaudière d'appoint (1ère AL - kW) =	10 000.0	Coût du CO2 issus de "l'air liquide" = 132 820 €
P. Chaudière d'appoint (2ème AL - kW) =	20 000.0	Coût du CO2 issus du gaz naturel = 194 092 €
Débit irrigation total chaudière =	1 333.3	Conso. gaz induite MWh/PCS = 4 953.9
T entrée mini chaudière (°C) =	65.0	Conso. complémentaire MWh/PCS = -3 644.0

Données non significatives car

< à 5000 &gt; 2000 => instable  
 Reynold < 2000 => laminaire  
 Reynold > à 5000 => turbulent

Recapitulatif annuel	Valeur en serre	Valeurs en chaudière/ Pci	Valeurs brutes achetée	Pourcentage	Ratio/m²
Nb heures chauffage (h) =		5 331.0			
Energie nécessaire (MWh) =	28 197.76	28 250.6	31 075.6	100.00%	277.2
Energie apportée par le bois (MWh) =	20 396.05	25 242.3	25 242.3	72.33%	247.7
Energie complémentaire (MWh) =	7 801.71	7 816.3	8 598.0	27.67%	76.7

## Déperditions de la Serre :

Serre totale à 19-16°C - Culture de Tomates - Sans écran								
	Grande Serre (m²)				Surface totale (m²)	Coéf. k (w/m²)	Delta t (°K)	Déperditions (W)
Température à maintenir (Nuit) =	16							
Température à maintenir (Jour) =	19							
Température extérieure de base =	-4							
Température moyenne du lieu =	13							
1/4 largeur de la chapelle =	1.60							
Hauteur sous chéneaux =	5.25							
Hauteur moyenne pignon =	5.56							
Longueur hypoténuse =	1.85							
Rapport Hyp/1/2 larg. =	1.16							
Longueur chapelle =	177.00							
Largeur de serre =	590.30							
Surface au sol =	101 913.6				101 913.6	1.0	1.2	125 432
Surface de toiture =	117 837.6				117 837.6	6.9	23.0	18 821 283
Surface latérale =	2 814.0				2 814.0	5.7	23.0	371 966
Surface de pignon =	6 560.2				6 560.2	5.7	23.0	867 153
<b>Coefficient Kc apparent (kW/°) =</b>	<b>877.6</b>							20 185 834
Volume serre =	566 299.9	0.0	0.0	0.0	566 299.9			
Taux de renouvellement d'air =	0.51	0.51	0.51	0.51				
Enthalpie 95 % 19°C (W/m3) =				17.18				
Enthalpie 90 % -4 C (W/m3) =				0.82				
Volume à chauffer =	291 240.0	0.0	0.0	0.0	291 240.0	16.4	1.0	4 764 686
<b>Coefficient Kv apparent (kW/°) =</b>	<b>207.16</b>							
Puissance utile (W) =							(kW) =	24 950 520
Ratio de puissance au m² =	Ratio =	244.8 W/m²						<b>Serre de jour sans écran, t = 19 °C</b>
Serre totale 16°C - Culture de Tomates - Avec écran								
	Serre n°1 (m²)	Serre n°2 (m²)	Serre n°3 (m²)	Serre n°4 (m²)	Surface totale (m²)	Coéf. k (w/m²)	Delta t (°K)	Déperditions (W)
Température à maintenir (Nuit) =	16							
Température à maintenir (Jour) =	19							
Température extérieure de base =	-4							
Température moyenne du lieu =	13							
1/2 Largeur de la 1/2 chapelle =	1.6							
Hauteur sous chéneaux =	5.4							
Hauteur pignon =	5.3							
Longueur hypoténuse =	1.85							
Rapport Hyp/1/2 larg. =	1.16							
Longueur chapelle =	177.0							
Largeur de serre =	590.3							
Surface au sol =	101913.6				101 913.6	1.0	1.2	125 432
Surface de toiture =	117837.6				117 837.6	4.5	20.0	10 492 825
Surface latérale =	2814.0				2 814.0	3.9	20.0	221 047
Surface de pignon =	6560.2				6 560.2	3.9	20.0	515 322
<b>Coefficient Kc apparent (kW/°) =</b>	<b>567.7</b>				567.7			11 354 626
Volume serre =	566 299.9				566 299.9			
Taux de renouvellement d'air =	0.29							
Enthalpie 95 % 16°C (W/m3) =				14.46				
Enthalpie 90 % -4 C (W/m3) =				0.82				
Volume à chauffer =	161 800.0	0.0			161 800.0	13.6	1.0	2 206 952
<b>Coefficient Kv apparent (kW/°) =</b>	<b>110.3</b>							
Puissance utile (W) =							(kW) =	13 561 577
Ratio de puissance nuit au m² =	Ratio =	133.1 W/m²						<b>Serre de nuit avec écran, t = 16 °C</b>

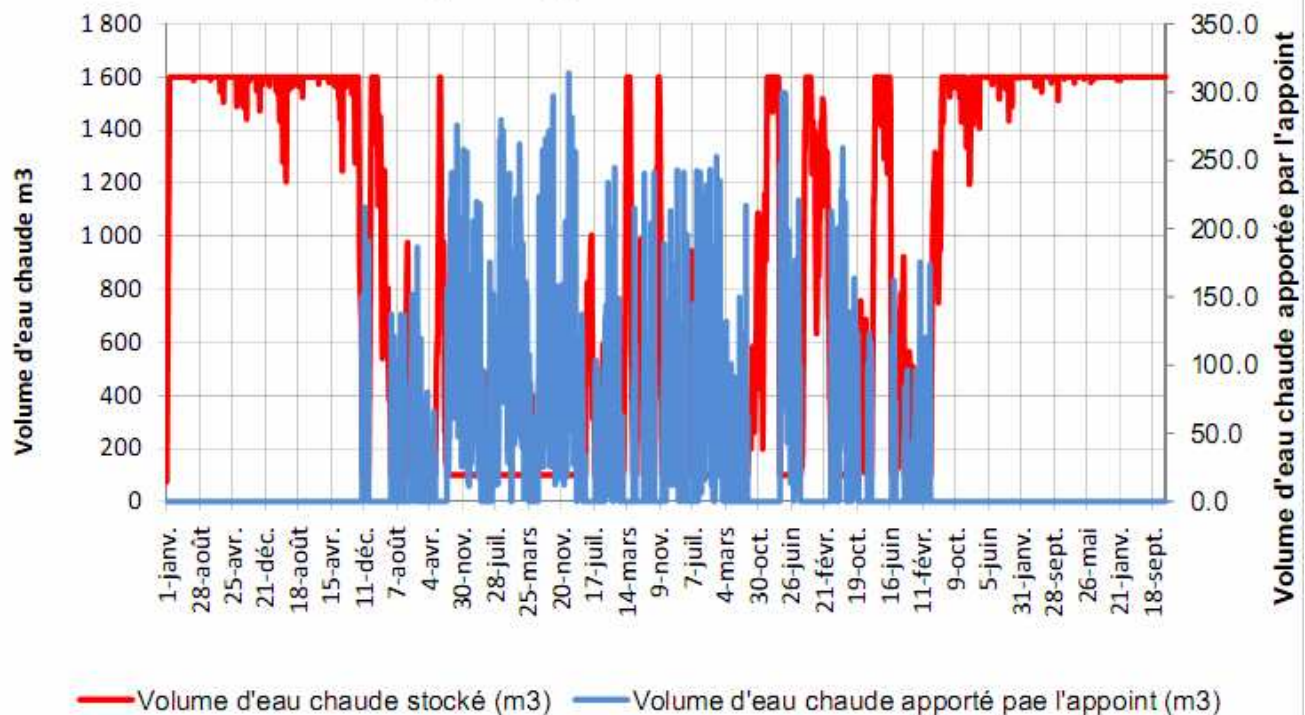
## Répartition des besoins :

SIMULATION POUR LA SAISON DE L'ENERGIE TOTALE ET DEL'ENERGIE D'APPOINT EN SERRES											
	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Totaux
Besoins nets (MWh) =	426.057	1 419.731	3 975.388	5 765.938	4 388.381	4 318.532	4 334.074	2 543.456	868.775	157.427	28 197.758
Apports Chaudière bois (MWh) =	426.057	1 291.413	2 833.643	2 816.778	2 860.402	2 645.168	3 952.932	2 543.456	868.775	157.427	20 396.050
Besoins complémentaires (MWh) =	0.000	128.318	1 141.745	2 949.159	1 527.979	1 673.365	381.142	0.000	0.000	0.000	7 801.708
Vérif =	426.057	1 419.731	3 975.388	5 765.938	4 388.381	4 318.532	4 334.074	2 543.456	868.775	157.427	28 197.758
% d'apport complémentaires (MWh) =	0.0%	9.0%	28.7%	51.1%	34.8%	38.7%	8.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.277
<b>BESOINS TOTAUX RAMENES EN CHAUFFERIE EN SITUATION ACTUELLE</b>											
Besoins totaux en chaufferie (MWh/PCI) =	426.855	1 422.391	3 982.836	5 776.740	4 396.602	4 326.623	4 342.194	2 548.221	870.402	157.722	28 250.587
Besoins totaux en chaufferie (MWh/PCS) =	469.541	1564.630	4381.120	6354.414	4836.262	4759.285	4776.413	2803.043	957.443	173.494	31 075.645
Equivalent Tep =	36.222	120.700	337.972	490.198	373.083	367.145	368.466	216.235	73.860	13.384	2 397.264
<b>BESOINS COUVERTS PAR LA CHAUDIERE BOIS RAMENES EN CHAUFFERIE</b>											
Apports bois théoriques (MWh) =	426.057	1 291.413	2 833.643	2 816.778	2 860.402	2 645.168	3 952.932	2 543.456	868.775	157.427	20 396.050
Apports bois ramenés en chaufferie (MWh) =	527.292	1598.263	3506.940	3486.069	3540.058	3273.682	4892.182	3147.803	1075.203	194.833	25 242.324
Equivalent Tep =	52.478	159.065	349.024	346.947	352.320	325.809	486.889	313.281	107.008	19.390	2 512.212
<b>BESOINS COMPLEMENTAIRES RAMENES EN CHAUFFERIE</b>											
Appoint/secours en chaufferie (MWh/PCI) =	0.000	128.558	1 143.885	2 954.685	1 530.841	1 676.500	381.856	0.000	0.000	0.000	7 816.325
Besoins nets en MWh/PCS =	0.000	141.414	1 258.273	3 250.153	1 683.925	1 844.150	420.042	0.000	0.000	0.000	8 597.957
Equivalent Tep =	0.000	10.909	97.067	250.726	129.903	142.263	32.403	0.000	0.000	0.000	663.271
<b>RESULTATS GENERAUX EN TEP ENTRAINES PAR L'INSTALLATION DE LA CHAUDIERE BOIS ENERGIE</b>											
Equivalent TEP Du bois energie =	52.478	159.065	349.024	346.947	352.320	325.809	486.889	313.281	107.008	19.390	2 512.212
Equivalent TEP complémentaires =	0.000	10.909	97.067	250.726	129.903	142.263	32.403	0.000	0.000	0.000	663.271
Equivalent total en TEP =	52.478	169.974	446.091	597.673	482.223	468.072	519.292	313.281	107.008	19.390	3 175.483
Equivalent TEP de la solution actuelle =	36.222	120.700	337.972	490.198	373.083	367.145	368.466	216.235	73.860	13.384	2 397.264
Variation de TEP =	-16.256	-49.274	-108.119	-107.475	-109.140	-100.927	-150.826	-97.047	-33.148	-6.007	-778.219
% de variation =	-44.88%	-40.82%	-31.99%	-21.92%	-29.25%	-27.49%	-40.93%	-44.88%	-44.88%	-44.88%	-0.325
<b>RESULTATS GENERAUX ENTRAINES EN TONNE DE CO2 PAR L'INSTALLATION DE LA CHAUDIERE BOIS ENERGIE</b>											
Equivalent CO2 Du bois energie =	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Equivalent CO2 complémentaires =	0.000	32.126	285.849	738.356	382.547	418.946	95.423	0.000	0.000	0.000	1 953.247
Equivalent total en CO2 (T) =	0.00	32.13	285.85	738.36	382.55	418.95	95.42	0.00	0.00	0.00	1 953.247
Equivalent CO2 de la solution proposée =	106.67	355.45	995.28	1 443.57	1 098.68	1 081.19	1 085.09	636.78	217.51	39.41	7 059.632
Diminution des rejets de CO2 (T) =	106.67	323.32	709.43	705.21	716.13	662.25	989.66	636.78	217.51	39.41	5 106.385
% d'économie =	100.00%	90.96%	71.28%	48.85%	65.18%	61.25%	91.21%	100.00%	100.00%	100.00%	0.723

## Besoins de chauffage par mois et par tranche de puissance :

	SAISON 80-81 de CHAUFFAGE de 10.191 HECTARES fonctionnement normal - Consigne (°C) = 19												Année
	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin			
Besoins en serre (kWh) =	426 057	1 419 731	3 975 388	5 765 938	4 388 381	4 318 532	4 334 074	2 543 466	868 775	157 427			28 197 758
Besoins en chaufferie/PCI (kWh/PCI) =	468 195	1 560 144	4 368 558	6 336 195	4 822 396	4 745 640	4 762 718	2 795 007	954 698	172 997			30 986 547
Conso (kWh/PCS) Fact GDF =	515 014	1 716 758	4 805 414	6 969 815	5 304 636	5 220 204	5 238 990	3 074 507	1 050 167	190 296			34 085 202
Conso (Tep) =	32 806.4	109 319.3	306 104.9	443 977.2	337 905.3	332 527.0	333 723.7	195 846.1	66 895.7	12 121.9			2 171 227
Conso. spécifiques nettes (kW/m²) =	4.2	13.9	39.0	56.6	43.1	42.4	42.5	25.0	8.5	1.5			276.7
B. Energie complémentaire gaz (MWh) =	0.0	128.3	1 141.7	2 949.2	1 528.0	1 673.4	381.1	0.0	0.0	0.0			7 801.7
0 à 30	170	259	128	41	123	103	150	270	317	80			1 641
30 à 60	34	134	294	219	276	236	266	233	80	17			1 789
60 à 90	8	29	171	270	214	238	160	86	9	0			1 185
90 à 120	1	17	64	130	83	79	59	33	3	0			469
120 à 150	0	5	26	44	19	17	46	5	0	0			162
150 à 180	0	0	8	35	7	10	20	0	0	0			80
180 à 210	0	0	0	5	2	0	5	0	0	0			12
210 à 240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
240 à 270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
Sup à 270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
	213	444	691	744	724	683	706	627	409	97			5 338

## Remplissage "OPEN-BUFFER"



## Coûts de la mobilisation du bois et production de bois déchiqueté.

**Moyenne réalisée sur 10 chantiers depuis 2005. Broyage en forêt, dans le département des Pyrénées-Orientales, typologies de terrain diverses.**

**REMARQUE !** Tous les coûts sont exprimés en €HT /tonne avec une humidité de 45 %.

→ **Le bois sur pied** présente un coût moyen compris entre 0 et 10 €/tonne.

→ **Le martelage.** Cad marquer à la bombe les arbres à abattre. Coût estimé à 5 € HT/ tonne.

→ **Les travaux d'abattage et façonnage.** Coûts moyen des travaux d'abattage estimés à **20 € HT/tonne.**

→ **Le débardage.** Les arbres seront déposés en bord de piste ou sur place de dépôt dans le même sens afin de faciliter la préhension de la grue du broyeur. Le débardage est estimé dans une fourchette basse entre **10 et 45 € HT/tonne.**

→ **Le broyage.** Le broyage en forêt doit être couplé à une prestation de transport de camion porteur poly-benne. Le broyeur déchiquette les arbres disposés dans le même sens en bord de piste dans une benne posée au sol. La rotation du porteur poly-benne est possible pendant le chantier de broyage (l'idéal étant de prévoir plusieurs bennes pour faire une rotation sans temps morts). La prestation de broyage en forêt comprend le déplacement de l'engin, le carburant, le conducteur et l'assurance. Les coûts moyens de broyage en forêt sont estimés à **18,5 € HT/tonne.**

→ **Le transport de la plaquette** depuis le site de broyage en forêt jusqu'à une plate-forme de stockage sera effectué en même temps que le chantier de broyage pour éviter les ruptures de charges. Les coûts moyens de transport de plaquette par camion poly benne de 30 m<sup>3</sup> sont estimés en moyenne à **13,50 € HT/tonne.**

→ **Le stockage.** Le coût du stockage de plaquette sur une plate-forme aérienne est estimé en moyenne à **6 € HT/tonne.** Ce coût prend en compte les charges de fonctionnement (frais divers : carburant, entretien + charges fixes : assurances, taxes, IS + travaux de mise en tas des plaquettes + chargement des camions) et l'amortissement des investissements (dalle stabilisée + bâche + chargeur...).

→ **La livraison de la plaquette** se fait par camion benne de 11 tonnes (30 m<sup>3</sup>). Le coût de ces prestations est de l'ordre de **15 € HT/ tonne.**

→ **L'encadrement** du chantier comprend le suivi technique et administratif. Ce poste est estimé en moyenne à **11 € HT/tonne.**

→ **Le contrôle qualité** prévoit les tests d'humidité à l'étuve et les tests de granulométrie en tamiseuse. Ce poste est estimé à **3 € HT/ tonne.**

Tableau récapitulatif	
Bois sur pied : achat au propriétaire	De 0 à 10 € HT/tonne H45
Abattage	20 € HT/tonne H45
Débardage	Entre 10 et 45 € HT/tonne H45
Broyage en forêt	18,50 € HT/tonne H45
Transport de plaquette	13,50 € HT/tonne H45
Stockage	6 € HT/tonne H45
Livraison de plaquette	15 € HT/tonne H45
Encadrement du chantier	11 € HT/tonne H45
Contrôle qualité	3 € HT /tonne H45
<b>TOTAL : entre 97 et 142 € HT /tonne H45</b>	

Pour information le coût du débusquage à cheval est estimé à 18 € HT/ tonne.



## La plaquette forestière

Les plaquettes forestières sont le résultat du déchetage de sous produits forestiers comprenant dans la majorité des cas « bois+écorces+feuilles/aiguilles » :

rémanents de coupe et houppiers laissés sur site après exploitation, des bois de petits diamètres issus de dépressage ou d'éclaircies non commercialisables et qui n'ont, pour l'heure, aucune autre valorisation commerciale, des bois dépréciés (bois secs, brûlés, tordus, ...)

Les Plaquettes Forestières sont généralement calibrées et peuvent ainsi passer sur des installations dont les systèmes de convoyage sont composés de vis sans fin. Leurs dimensions dépendent de l'engin qui réalise le déchetage et des grilles de calibrage qu'il utilise. Sur les Pyrénées-Orientales, la granulométrie moyenne de ce type de plaquettes est généralement autour de **30 x 5 mm**.



Plaquette Forestière (BE66)

La plupart du temps, les périodes de mobilisation de cette plaquette sont les périodes d'exploitation en forêt, soit, d'Avril à Septembre selon les climatologies des massifs forestiers concernés, pour une fourniture plutôt centrée sur la période Septembre à Mai. Il existe donc généralement une période de stockage entre la production et l'utilisation qui permet au bois de se ré essuyer et d'avoir une humidité sur brut inférieure à 35%. En région méditerranéenne, on peut envisager exploiter sur toute l'année voire même préférentiellement en hiver (période hors sève => moins d'humidité dans le bois et pas de risque de départ de feu dû à l'exploitation).

Le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) de ce type de combustible oscille donc entre **2 800 et 3 900 kWh/tonne**, selon l'essence et l'humidité.

Le taux de cendre dans des chaudières automatiques à plaquettes varie, selon la proportion de feuilles ou d'aiguilles entre **1,5 et 3%**. Les analyses de cendres réalisées par Bois Energie 66 sur des combustibles de types Plaquette Forestière, donnent les résultats moyens suivants (moyenne réalisée à partir de 7 analyses) :

en %										En mg/kg									
Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C	N	C/N	Cu	Mo	Zn	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Se
0,60	6,21	4,17	34,38	2,30	4,60	3,39	8,54	0,07	110	287	1,10	181	2,99	1,71	33,9	0,10	26,49	15,95	0,59
Seuils de la norme NF U 44-051				300			600	18	3	120	2	60	180	12					

De plus, le **pH moyen** des cendres de plaquettes forestières est de **11,8**. Ces résultats d'analyses montrent que les cendres de plaquettes issues d'exploitation forestières ou d'opérations de débroussaillage de bord de route peuvent tout à fait **être utilisées comme engrais en épandage agricole** ou espaces verts. Notamment pour les terres acides. L'apport de potassium (K<sub>2</sub>O) et de phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) est également un engrais naturel.

C'est d'ailleurs le cas pour bon nombre d'installations bois du département des Pyrénées-Orientales.

## Les combustibles issus des industries du bois

L'industrie du bois génère des sous-produits lors de chaque étape de transformation. Les entreprises de première transformation (scieries, entreprises d'emballage) sont les entreprises qui produisent la grande majorité des déchets et produits connexes. Ces produits peuvent être classés en 3 catégories susceptibles de devenir des combustibles de chaufferie sous condition d'être dans une granulométrie suffisamment fine :

les chutes très grossières (culots de grumes, bouts de tiges),  
les chutes courtes, (copeaux, sciures, ...)

les chutes longues (dosses, délignures, noyaux de déroulage, rebus de fabrication de cagettes...)

Les Plaquettes Industrielles sont le résultat du déchetage de la 3<sup>ème</sup> catégorie, soit l'ensemble des chutes diverses, constituées soit de « **bois** » (plaquette blanche) soit de « **bois+écorces** » (plaquette grise).

Attention : dans le cas du déchetage de casses de cagettes, on pourra avoir une proportion +/- importante de corps étranger (agrafes métalliques), selon l'équipement de déferrailage de l'engin de broyage. Ces agrafes se retrouveront dans les cendres, et seront donc un frein à leur valorisation.

Certaines industries sont équipées de broyeurs fixes. L'ensemble des chutes est alors récupérée sur des tapis qui les acheminent jusqu'au broyeur.



Plaquette grise issue d'entreprise d'emballage (BE66)

Ces Plaquettes Industrielles sont de tailles très variables selon le type d'équipement de broyeur et ne sont pas nécessairement **calibrées**. Leurs tailles moyennes peuvent aller de 10 x 10 x 5 mm à 150 x 50 x 30 mm. Elles nécessitent donc des chaudières adaptées au niveau des systèmes de convoyage et d'alimentation.

Dans certains cas, ces plaquettes sont acheminées aux utilisateurs sitôt produites, en flux tendu. L'humidité sur brut est donc élevée, puisque comprise entre **35% et 60%** ce qui nécessite l'utilisation de chaudières adaptées.

Le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) de ce type de combustible oscille donc entre **1 500 et 3 100 kWh/tonne**, selon l'essence et l'humidité.

Le taux de cendre varie, selon la proportion d'écorce entre **0,8 et 1,5%**.

Les analyses de cendres réalisées par Bois Energie 66 sur des combustibles de types Plaquettes Industrielles, donnent les résultats moyens suivants (*moyenne réalisée partir de 5 analyses*) :

en %										En mg/kg									
Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C	N	C/N	Cu	Mo	Zn	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Se
0,48	6,07	5,66	48,23	3,45	1,52	2,18	2,06	0,08	26	102	0,8	131	6,2	2,0	21	0,01	17	5	0,2
Seuils de la norme NF U 44-051				300			600	18	3	120	2	60	180	12					

Ces analyses montrent que les cendres de plaquettes industrielles peuvent être utilisées en épandage agricole ou espaces verts du moment qu'elles contiennent une quantité maximum de corps métalliques qui soit compatible avec cette utilisation.

NB : Ce gisement est dépendant de la bonne santé des industries du bois, et c'est donc le moins stable et celui qui a la plus petite garantie de pérennité d'approvisionnement dans le temps : si une entreprise vient à fermer, c'est une grosse partie du gisement qui disparaît (cf l'entreprise En Gorner, sur Prades (66) qui alimentait le Lycée Jean Lurçat).

La grande majorité de ces gisements est actuellement déjà valorisée sur les filières « papetière » (plaquette blanche) et « panneaux de particules » (plaquette grise) mais dans des lieux souvent éloignés. La fluctuation du marché papetier amène de nouvelles réflexions.

## Les combustibles issus des déchets de bois

Les Bois de rebuts non traités sont le résultat du déchetage de bois en fin de vie comprenant « bois » ou « bois + corps étrangers ». On y trouve 3 grandes catégories de bois susceptibles de devenir des combustibles de chaufferie sous condition d'être déchetées :

- les palettes broyées non traitées, caquettes non réutilisées
- les bois de déchetterie non traités,
- les bois de démolition non traités ou de DIB (déchet industriel banal)

Les objets en bois, une fois triés, peuvent soit être réparés puis réemployés, soit utilisés comme matière première (panneaux de particules) soit consommés comme combustibles dans des chaudières. Il est toutefois exceptionnel de pouvoir valoriser sur la filière énergétique les bois des 2 dernières catégories.

La chaîne de broyage est constituée d'un broyeur à marteau, d'un déferrailleur (en sortie de broyeur, avec une efficacité comprise entre 95% et 99%), et parfois même, d'un crible, voire même d'un dé-plastiqueur.

Ces bois broyés sont généralement de granulométrie moyennes à grandes (la longueur pouvant atteindre 400 à 500 mm). Ils présentent des pièces métalliques, des clous, voire même d'autres corps étrangers en infime quantité qui vont nécessiter des équipements spécifiques au niveau de l'installation bois. En effet, ces matériaux difficiles à éliminer totalement peuvent éventuellement poser des problèmes lors de la combustion et créer des mâchefers. Ce type de combustible ne peut être valorisé que sur des grosses chaudières avec foyer à grilles mobiles, à lit fluidisé et dans les usines d'incinération.



Palette broyée non traitée (BE66)

La plupart du temps, ces plaquettes sont acheminées aux utilisateurs sitôt produites, en flux tendu. L'humidité sur brut est faible, puisque comprise entre 15% et 30%.

Le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) de ce type de combustible oscille donc entre 3 000 et 4 300 kWh/tonne, selon l'essence et l'humidité.

Le taux de cendres varie, selon la proportion de corps étrangers entre 0,8 et 3%.

Les analyses de cendres réalisées par Bois Energie 66 sur des combustibles de types Palettes Broyées, donnent les résultats moyens suivants (moyenne réalisée partir de 4 analyses) :

en %										En mg/kg										
Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C	N	C/N	Cu	Mo	Zn	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Se	
	3,30	2,89	18,60			1,21	6,75	0,38	42	743	9,2	2330	44	9,0	405	0,36	112,5	680	1,8	
Seuils de la norme NF U 44-051				300			600	18	3	120	2	60	180	12						

Ces analyses montrent qu'en moyenne, les cendres de palettes broyées ou de bois de rebut non traités ne peuvent être directement utilisées en épandage agricole ou espaces verts.

A voir si leurs taux en métaux lourds sont inférieurs aux seuils de la norme NF U 44-095. Si oui, ces cendres peuvent entrer dans la composition de mélanges pour la réalisation d'un produit homogène utilisable en épandage agricole puisque respectant la norme NF U 44-051.

Dans le cas contraire, le seul débouché possible est la dépose en décharge ultime.

## Participants à la réunion de restitution du 29 avril 2010 :

- > Elodie Payen COFOR 34
- > Emilie Powage CTIFL
- > Ariane Grisey CTIFL
- > Gérard Voivret représentant Thierry Reverbel COFOGAR
- > Benjamin Gérin de Pomay (?) CG11
- > Vincent Cot CG11
- > Michel Guallar Pdt CA66
- > Serge Peyre CG66
- > Benoît Lecomte CRPF
- > Florian Prudhomme CRPF
- > Julien Morri Syndicat des Forestiers privés des PO
- > Nicolas Mansouri CA66
- > Jean François Jacquet CA66
- > Daniel Aze CG66
- > Pierre Dispan de Floran Ste Eneria
- > Benoit Jeannequin INRA
- > José Catala Inra
- > Patrick Tubert Ste Tubert
- > Valery Goy Pdt GDA Serristes
- > Guy Serres, Ingénieur Conseil
- > Thomas Sabatier, Bois Energie 66
- > Damien Gauvrit, CA 66

### Excusés :

Alain Montagut, BET Montagut  
Nathalie Trouselet, ADEME  
Pierre Estève, Pdt Bois Energie 66  
Philippe Neveu, DDTM  
Vincent Richard, CCI Lozère et Gard

## Bibliographie :

Le Défi de l'énergie dans les Serres Région Centre 2006  
Fiches pédagogiques FCBA-ENERBIO-Fondation TUCK sur les T(T)CR Eucalyptus-Peuplier-Acacia  
Energie Plus, hebdomadaire sur l'actualité de l'énergie : installations et prix.  
Documents suite à la rencontre technique « Energie en Serre » du 16 décembre 2009 organisée par le CTIFL de Balandran.