

# LA CHAUFFERIE BOIS DU LYCÉE SAINT-CHARLES À ATHIS-MONS



Athis-Mons (91)

## LES POINTS FORTS

- ✓ Utilisation d'une énergie locale et renouvelable, créatrice d'emplois.
- ✓ Réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- ✓ Économie d'énergie fossile.
- ✓ Maîtrise durable des charges de chauffage.

Désirant maîtriser ses charges de chauffage et recourir à une énergie propre et moins soumise aux aléas de prix que le sont les énergies fossiles, le lycée Saint-Charles a opté pour une chaufferie centrale au bois. Entièrement automatisée et distribuant l'énergie aux différents bâtiments du lycée via un réseau de chaleur nouvellement créé, l'installation consomme du bois d'élagage déchiqueté (sous forme de "plaquettes"). Elle couvre 80 % des besoins annuels de chauffage et d'eau chaude sanitaire du lycée. Une chaufferie gaz fournit le complément (20 %). En amont de cette réalisation, le lycée n'a pas oublié de réaliser les indispensables travaux d'économie d'énergie. Situé sur un site classé, cet établissement d'enseignement privé accueille 2 200 élèves. Il intègre un internat et un restaurant scolaire (2 000 repas par jour). La surface chauffée est de 24 000 m<sup>2</sup>. Le site était initialement chauffé par trois chaufferies séparées équipées de chaudières fioul âgées de 20 à 40 ans et de chaudières électriques d'une quinzaine d'années. En 2002, l'établissement a bénéficié du soutien technique et financier de l'ARENE et de la délégation régionale de l'ADEME, pour réaliser une étude de faisabilité concernant le remplacement des chaudières fioul/électriques par un système énergétique plus performant.



Chaufferie bois (au premier plan) et chaufferie gaz (au second plan).

L'étude a convaincu le maître d'ouvrage de l'intérêt du projet bois énergie : *"c'est la solution la plus écologique et la plus économique en coût global sur 20 ans"* a conclu M. Renaud, gestionnaire de l'établissement.

Les travaux ont commencé en avril 2005, soit 3 ans après le lancement de l'étude de faisabilité, pour se terminer en novembre 2005. L'investissement total est de 2,45 millions d'euros dont 1,36 est imputable à la chaufferie bois. Le nouveau système de chauffage permet de diviser par deux les coûts d'exploitation (P1+P2+P3) par rapport à la situation initiale fioul actualisée en

valeur 2006 (voir tableau 3, page 3).

Le temps de retour de l'opération est de 11 ans en tenant compte des subventions (ADEME, conseil régional, conseil général). Si l'on ne considère que le "surcoût d'investissement bois", le temps de retour, intégrant les subventions, est de 5 ans.

Outre son avantage économique, la nouvelle installation présente un bilan environnemental très positif :

- Économie d'énergie en amont du projet et substitution du fioul par le bois permettant d'économiser 237 tep d'énergie fossile et 120 tep d'électricité par an.

## LES INTERVENANTS

**Maître d'ouvrage :** Établissement scolaire Saint-Charles (M. Renaud) - 2, rue G. Anthonioz de Gaulle  
91200 Athis-Mons - Tél. : 01 60 48 71 00 / 71 09

**Bureau d'études AMO :** Cabinet Philippe Vail  
93360 Neuilly-Plaisance - Tél. : 01 43 00 24 19

**Fournisseur chaudière bois :** Schmid France  
68840 Pulversheim - Tél. : 03 89 28 50 82

**Architecte bâtiment :** Agence Dusseau  
92320 Chatillon - Tél. : 01 55 58 00 34

**Conception-travaux-exploitation :** ELYO IdF  
93300 Aubervilliers - Tél. : 01 48 11 43 00

La réalisation de cette opération a été accompagnée par l'Arene.

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre d'un facteur 5 par rapport à la situation initiale soit 820 tonnes de CO<sub>2</sub> évitées par an ou l'équivalent des émissions de 560 voitures roulant 10 000 km/an.
- Suppression de 1,7 tonnes d'émissions de SO<sub>2</sub> soit l'équivalent de la suppression de 5 600 véhicules diesel parcourant 10 000 km/an.

### Des économies d'énergie

L'étude a d'abord mis en évidence un potentiel d'économie d'énergie de 15 % de la consommation totale. Des travaux d'amélioration d'un montant total de 130 000 euros, ont été programmés sur plusieurs années. Ils portent sur les points suivants :

- désembouage et équilibrage des réseaux,
- séparation et régulation des circuits de chauffage,
- remplacement des productions d'eau chaude sanitaire des internats,
- programmation et régulation des températures de consigne (GTC-GTB),
- isolation des combles, changement des joints des portes et fenêtres.

### L'approvisionnement en bois

La chaufferie bois nécessite la mobilisation d'environ 1 200 tonnes de bois propre (plaquettes) par an. La première étape du projet a donc été d'identifier les fournisseurs potentiels de combustible et de s'assurer de garanties sur la qualité, la quantité et la pérennité de l'approvisionnement. Pour optimiser les coûts d'approvisionnement en combustible et être en cohérence avec l'émergence d'une filière bois énergie régionale le choix du maître d'ouvrage s'est porté sur du bois d'élagage d'origine locale à 35 % d'humidité en moyenne (allant de 20 à 45 %) pour un PCI moyen de 3 000 kWh par tonne. "C'est une ressource propre, abondante et facilement mobilisable en Ile-de-France", précise M.Renaud.

Un contrat entre le lycée, l'exploitant et les fournisseurs garantit :

- une fourniture de bois régulière et pérenne,
- un prix de l'énergie livrée à la chaufferie,
- l'évacuation des cendres.

Les livraisons se font par camions semi-remorque de 18 m de long et de 90 m<sup>3</sup>. Une voie et une aire de manœuvre indépendante ont été créées spécialement pour les recevoir. Le silo de stockage enterré présente un volume utile de 200 m<sup>3</sup> et permet une autonomie de fonctionnement de 5 jours à pleine puissance.

Les technologies ont été choisies pour être adaptées à un combustible relativement humide (jusqu'à 45 %) :

- une chaudière à foyer humide,
- une ventilation naturelle complétée d'une ventilation mécanique contrôlée du silo de stockage afin de prévenir les risques éventuels de condensation.

### Dimensionnement

De façon à optimiser le fonctionnement de la chaudière bois, la puissance installée en bois, ne représente qu'environ un tiers de la puissance nominale appelée à la température de base en hiver (-7 °C). "Ce dimensionnement nous permet de solliciter la chaudière bois sur une grande partie de la saison de chauffe et le plus proche possible du régime nominal de la chaudière, contribuant ainsi à substituer une part importante de gaz par du bois", explique Philippe Vail, directeur du bureau d'études en charge de l'étude du projet. L'appoint et le secours sont assurés par la chaufferie gaz, grâce à une cascade hydraulique automatique.

Les chaudières électriques existantes ont été conservées pour la production d'ECS en été.

À Saint-Charles, la puissance retenue pour la chaudière bois est de 1 200 kW, ce qui permet au bois de couvrir au minimum 80 % des besoins annuels du réseau. La chaufferie gaz a été dimensionnée pour fonctionner en secours total le cas échéant : 3 945 kW répartis sur trois chaudières (deux chaudières d'appoint de 1 230 kW et 790 kW et une chaudière de secours de 1 925 kW).



Livraison du bois en silo.

© Arene / P. Salvi

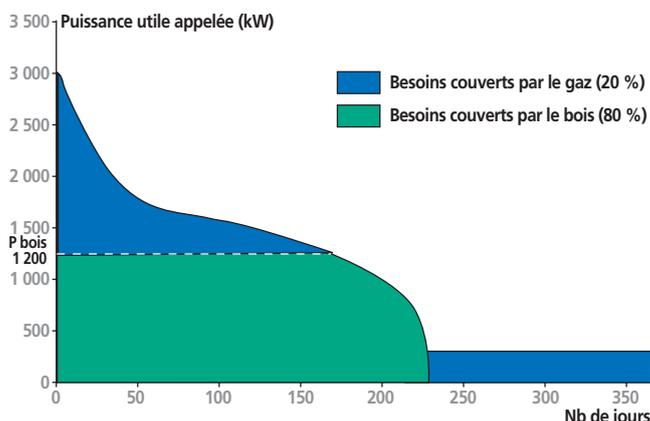
### Le système de chauffage

Par choix architectural et afin de respecter les recommandations des bâtiments de France, il a été décidé de construire deux chaufferies, une pour chaque combustible. Elles sont situées près du gymnase préexistant à l'écart des zones de cheminement des élèves.

Les deux chaufferies sont connectées au réseau de chaleur par l'intermédiaire d'une bouteille de mélange. Au primaire, les chaudières (bois et gaz) maintiennent la température de l'eau à 95 °C. Depuis la bouteille de mélange, deux pompes de 30 kW chacune font circuler l'eau dans le réseau de chaleur. Elles sont à débit variable, le débit étant régulé en fonction de la température de retour de l'eau chaude, ce qui permet de générer environ 40 % d'économies sur les consommations d'électricité.

### Alimentation automatique du combustible

En fonction des besoins de chaleur, des échelles à racleurs disposées au fond du silo font tomber le bois déchiqueté sur la chaîne de transport assurant la liaison entre le silo et la chaudière. L'introduction dans le foyer de



Courbe monotone des besoins.



La chaudière bois (1,2 MW).

© Arene / P. Salvi

la chaudière est assurée par un poussoir hydraulique situé en contrebas d'un sas d'alimentation. Le sas est équipé d'une guillotine et d'un système d'arrosage de sécurité.

### Le décairage

Le décairage de la chaudière est entièrement automatique (par voie sèche). Les cendres (foyer, dépoussiéreur, échangeur) sont acheminées dans un seul et même bac. Il faut noter que cette chaudière est équipée d'un ramonage pneumatique automatique des tubes de fumées (échangeur de chaleur) qui permet d'éviter des ramonages manuels fréquents. Un dépoussiérage manuel des tubes de fumée est cependant indispensable tous les 3 mois pour conserver un rendement d'échange élevé. En amont de la cheminée, les fumées sont dépoussiérées par un

dispositif de type multicyclones de façon à respecter la réglementation en matière de rejet dans l'atmosphère (<150 mg/Nm<sup>3</sup>).

### La conduite et la maintenance

La conduite et la maintenance des installations de production et distribution (jusqu'aux sous-stations) sont confiées à l'entreprise Elyo. Cela consiste à un passage quotidien d'un agent pour contrôler le bon fonctionnement de la chaufferie bois, à vérifier la qualité du bois lors des livraisons et à assurer les opérations d'entretien trimestrielles (nettoyage du foyer, ramonage manuel de l'échangeur...). L'exploitant s'engage sur une consommation maximale de chaleur (relevée au compteur) pour la fourniture des besoins annuels du lycée et est intéressé financièrement aux économies d'énergies.



© Saint-Charles / A. Renaud

Bouteille de mélange.

Tableau 1 : Synthèse des données techniques

Le réseau de chaleur	
Besoins thermiques	4 000 MWh / an
Taux de couverture bois	80 %
Longueur du réseau	2 x 700 mètres linéaires
Nombre de sous-stations	7
Débit	250 m <sup>3</sup> /h
Régime de température	95/80 °C
Les chaudières	
Chaudière bois	Marque : Schmid, Modèle UTSR. Puissance : 1,2 MW. Foyer à grille mobile inclinée. Chaudière à triple parcours de fumées.
Chaudières gaz	3 chaudières Wiessmann à haut rendement ; puissance totale : 3,945 MW.
Le combustible	
Type de combustible	Bois d'élagage
Humidité	20 à 45 %
Pouvoir Calorifique Inférieur moyen	3000 kWh/tonne
Prix du bois livré en chaufferie	25 à 40 € TTC/tonne selon le PCI
Volume de stockage utile	200 m <sup>3</sup>
Autonomie à la température extérieure de base en hiver (-7 °C)	5 jours à pleine puissance
Consommation annuelle de bois	1 200 tonnes par an
Estimation de la production de cendre	20 tonnes /an

Tranchées réseau de chaleur.



© Arene / P. Salvi

Tableau 2 : Données économiques

Coût de l'opération	€ TTC	
<b>Voirie</b> (voirie, aire de manoeuvre)	290 000	12 %
<b>Génie civil - VRD</b> (gros œuvre chaufferies, silo et réseaux divers)	630 000	26 %
<b>Équipement chaufferie bois</b> (trappes silo, échelles racleurs, chaudière, multicyclone, extracteur, cheminée...)	400 000	16 %
<b>Équipement chaufferie gaz</b> (alimentation gaz, générateurs gaz, cheminées)	330 000	13 %
<b>Réseau de chaleur</b> (tranchées, tuyauterie, calorifugeage...)	360 000	15 %
<b>Raccordement et création de 7 sous-stations</b>	110 000	4 %
<b>Travaux divers</b> (neutralisation des cuves fioul et enlèvement)	80 000	3 %
<b>Études et assurances</b> (études de faisabilité, de conception, des sols, d'exécution, BET contrôle, contrôleur SPS, concours architectes, maîtrise d'œuvre, assurance dommage ouvrage)	250 000	10 %
<b>Total opération</b>	2 450 000	
Financement de l'opération		TTC
ADEME	462 000	19 %
Conseil régional d'Ile-de-France	358 000	15 %
Conseil général de l'Essonne	156 000	6 %
Emprunt bancaire	1 474 000	60 %
<b>Total</b>	2 450 000	

Tableau 3 : Comparatif des coûts d'exploitation (P1+P2+P3) en valeur 2006

€ TTC/an	Solution bois/gaz	Solution fioul + électricité
P1 (coût de l'énergie)	71 000	280 000
P2 (conduite / entretien)	58 000	20 000
P3 (renouvellement matériel)	32 000	11 000
<b>Total</b>	161 000	311 000
<b>Économies d'exploitation</b>	150 000	
Annuités d'emprunt sur 15 ans	128 000	
<b>Économies nettes annuelles</b>	22 000	

### Le bois énergie, une énergie abondante en Ile-de-France

La ressource régionale de bois énergie est importante mais elle est encore aujourd'hui sous-exploitée. Les études réalisées par l'ARENE en lien avec l'ADEME et d'autres acteurs de la filière ont permis d'identifier trois types de détenteurs de matières premières ligneuses susceptibles d'entrer dans l'organisation de structures d'approvisionnement de bois combustible propre pour les chaufferies collectives :

- **Les entreprises d'élagage d'arbres d'alignement et de parcs** : le bois d'élagage pouvant être valorisé sous forme de bois énergie a été évalué à plus de 100 000 tonnes par an.
- **Les réparateurs de palettes et les centres de tri des DIB** (déchets industriels banals) : le gisement de plaquettes de bois propre (exclusion faite des bois souillés) issues de palettes, caquettes et chutes diverses est de 200 000 tonnes par an dont une partie est déjà valorisée auprès de panneautiers.
- **Les entreprises sylvicoles** : l'Office national des forêts (ONF) et des coopératives privées proposent de la plaquette forestière pour la filière bois énergie avec une forte garantie de pérennité de la ressource. Le gisement mobilisable à moyen ou long terme est évalué à 450 000 t de bois/an, soit environ 150 000 tep/an.

Le gisement total de bois mobilisable en Ile-de-France à des fins de valorisation énergétique est donc de l'ordre de 700 000 t/an, soit environ 250 000 tep correspondant à l'énergie nécessaire au chauffage d'environ 300 000 logements.

### Programme régional "bois-énergie, biomasse et développement local"

Le conseil régional Ile-de-France a adopté en mai 2006, le "Plan régional pour la maîtrise de l'énergie, le développement des énergies locales et renouvelables, et la réduction de l'effet de serre dans l'habitat et le tertiaire sur la période 2006-2010".

La mesure 7 de ce plan concerne le développement de la filière bois énergie pour lequel l'ARENE joue le rôle de facilitateur et d'accompagnateur.

La Région et l'ADEME Ile-de-France apportent leur soutien au développement d'une filière pérenne au travers de la structuration de l'approvisionnement et de l'utilisation du bois en chaufferies collectives et automatisées.

Une subvention est attribuée aux maîtres d'ouvrage (hors particuliers) pour les études de faisabilité (40 % du coût HT par la Région et jusqu'à 25 % par l'ADEME) et pour les investissements concernant les chaufferies bois (30 % du coût HT par la Région et jusqu'à 20 % du surcoût par rapport à une solution traditionnelle par l'ADEME) ou le conditionnement, stockage des biocombustibles (25 % du coût HT par la Région et complément par l'ADEME).

## CONTACTS

### ARENE

94 bis, avenue de Suffren - 75015 Paris  
Philippe Salvi  
Tél : 01 53 85 61 75  
[p.salvi@areneidf.org](mailto:p.salvi@areneidf.org)

### Conseil régional Ile-de-France

Direction de l'environnement  
35, boulevard des Invalides - 75007 Paris  
Paul Cassin/ François Lacour  
Tél. : 01 53 85 56 26  
[www.iledefrance.fr](http://www.iledefrance.fr)

### ADEME

Délégation régionale Ile-de-France  
6-8, rue Jean-Jaurès  
92807 Puteaux Cedex  
Noémie Fradet  
Tél. : 01 49 01 45 47  
<http://ile-de-france.ademe.fr>

### Énergies durables en Ile-de-France (EDIF)

Tél. : 01 42 09 66 75  
[www.edif.asso.fr](http://www.edif.asso.fr)

### Conseil général de l'Essonne

Direction du patrimoine - Cellule Énergie  
Hôtel du département  
Bd de France - 91012 Evry Cedex  
Audrey Scoffoni  
Tél. : 01 60 91 95 34 / 91 92  
[ascoffoni@cg91.fr](mailto:ascoffoni@cg91.fr)

### Comité de liaison des énergies renouvelables

Tél. : 01 55 86 80 00  
[www.cler.org](http://www.cler.org)

## POUR EN SAVOIR PLUS

- ITEBE - Institut des Bioénergies  
Tél. : 03 84 47 81 00  
[www.itebe.org](http://www.itebe.org)
- Biomasse Normandie  
Tél. : 02 31 34 24 88  
[www.biomasse-normandie.org](http://www.biomasse-normandie.org)
- Guide d'accompagnement au montage de projets bois énergie (et autres outils), ADEME ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)).
- Annuaire des acteurs du Bois énergie  
[www.itebe.org](http://www.itebe.org)
- Fiche ARENE, *Du bois d'élagage pour le chauffage*, juillet 2003.



DÉLÉGATION RÉGIONALE ÎLE-DE-FRANCE

Cette fiche a été rédigée à la demande de l'ARENE  
par EDIF (Emmanuel Poussard)  
et finalisée par Philippe Salvi (ARENE) et Noémie Fradet (ADEME)  
Coordination éditoriale : Muriel Labrousse, assistée de Pascale Gorges (ARENE)