



Cahier du bois-énergie n°91

Complémentarité entre bois-énergie et autres énergies thermiques renouvelables et de récupération

Chaudière bois / gaz du réseau de chaleur du Chemin Vert à Boulogne-sur-Mer. Dalkia

La moitié de l'énergie consommée en France est utilisée pour produire de la chaleur. Elle est aujourd'hui majoritairement produite par des énergies carbonées et importées. La produire à partir d'énergie renouvelable et de récupération, que ce soit chez les particuliers, les industriels ou pour alimenter des réseaux de chaleur urbains, permet de répondre aux enjeux de souveraineté énergétique (en valorisant des ressources locales) et de décarbonation de notre mix. Bois-énergie, biogaz, géothermie, solaire thermique... La part des énergies renouvelables est en croissance régulière depuis de nombreuses années. Néanmoins des efforts importants restent à poursuivre pour atteindre l'objectif fixé par la loi de 38 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale de chaleur en 2030. Depuis sa mise en place en 2009, le Fonds chaleur est le principal outil pour accompagner financièrement les collectivités et les entreprises pour la généralisation de la chaleur renouvelable. Les approches multi-ENR y sont encouragées pour que chaque projet trouve la chaleur la plus adaptée à son besoin et à la disponibilité locale. Ainsi, la chaleur produite à partir de solaire thermique et de géothermie peut être adaptée aux applications basse température comme l'eau chaude sanitaire et le chauffage, tandis que la biomasse énergie permet d'atteindre des températures plus importantes par exemple dans l'industrie. Pour chaque projet, les collectivités et les entreprises doivent systématiquement s'interroger sur le meilleur bouquet énergétique renouvelable et de récupération avec des solutions adaptées aux besoins et ressources propres de chaque territoire. Ce numéro des Cahiers du bois-énergie s'attachera à vous fournir les principaux éléments

à considérer lors d'un projet multi-ENR, avec des exemples de projets articulant la biomasse avec d'autres énergies.

Bonne lecture !

Émilie MACHEFAUX

Cheffe du Service chaleur renouvelable
et de la Cellule bois biosourcés et biocarburants de l'Ademe

> Édito par Émilie MACHEFAUX (Cheffe du service Chaleur renouvelable de l'Ademe)	p.15
> ENR'Choix, un outil d'accompagnement des acteurs dans leur stratégie énergétique	p.16
> La complémentarité des énergies renouvelables et de récupération : une réalité qui requiert des compétences spécifiques	p.17
> Bois et énergie de récupération : l'exemple des réseaux de chaleur de Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais)	p.18
> Bois et solaire thermique : l'exemple du réseau de chaleur de Juvignac (Hérault)	p.19
> Bois et solaire : l'exemple du lycée Honoré d'Estienne d'Orves de Carquefou (Loire-Atlantique)	p.21

Les Cahiers du bois-énergie, co-édités par Biomasse Normandie et le Comité interprofessionnel du bois-énergie (CIBE), sont publiés avec le soutien de l'Ademe (direction bioéconomie et énergies renouvelables - service chaleur renouvelable) et du Bois International, sous la responsabilité éditoriale de Biomasse Normandie. Ce Cahier a été préparé par Stéphane COUSIN (consultant bois-énergie), Paul ANTOINE et Marie GUILLET (Biomasse Normandie), Mathieu FLEURY et Clarisse FISCHER (CIBE). Nous remercions Gaëtan REMOND (Inddigo), le personnel de Dalkia, Guillaume VRAUX et Thierry RAMI (ENGIE Solutions) et Jérémie SAUVAGE (lycée Honoré d'Estienne d'Orves de Carquefou) pour leur collaboration. Mise en page par la rédaction du Bois International.



ENR'Choix, un outil d'accompagnement des acteurs dans leur stratégie énergétique

ENR'Choix est un outil conçu par la direction régionale Île-de-France de l'Ademe disponible sur l'ensemble du territoire national (www.enrchoix.idf.ademe.fr). L'idée d'un tel outil a germé à l'automne 2012, à la suite de l'étude des potentiels des différentes énergies renouvelables et de récupération (ENR&R) lors de la réalisation du schéma régional climat air énergie (SRCAE) d'Île-de-France. Elle s'est ensuite trouvée renforcée par la nécessité de prioriser l'utilisation des ressources ENR&R afin de parvenir aux objectifs fixés par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte d'août 2015 (dite loi TECV).

À l'échelle des projets : réduire, mutualiser, prioriser

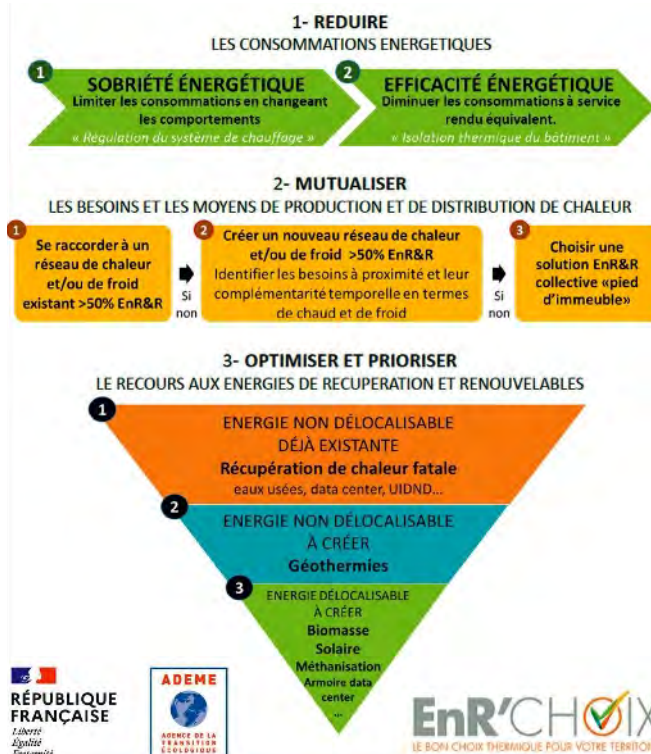
ENR'Choix permet à l'Ademe d'accompagner les gestionnaires de patrimoine et porteurs de projets, publics comme privés, dans leur stratégie énergétique en tenant compte des potentiels de leur territoire et des priorités définies dans le SRCAE. La démarche comporte trois étapes principales : réduire les consommations énergétiques, mutualiser les moyens de production et distribution de chaleur et froid, prioriser et optimiser le recours aux ENR&R.

Dans un premier temps, deux types d'actions sont à mener pour réduire les besoins. La sobriété énergétique permet la suppression ou la limitation des consommations d'énergie superflues par simple amélioration de l'usage et de l'exploitation des bâtiments. L'efficacité énergétique, par son action sur les équipements énergétiques et l'enveloppe des bâtiments, aboutit à une diminution de la consommation d'énergie tout en maintenant un niveau de service équivalent.

Ensuite, il est important de se demander dans quelle mesure les besoins thermiques peuvent être satisfaits par la mutualisation des équipements de production et distribution de chaleur ou de froid. En effet, la mise en commun de profils et niveaux de consommation variés permet l'optimisation globale des systèmes de production et facilite l'augmentation de la part des ENR&R dans le bouquet énergétique en substitution des énergies fossiles actuellement utilisées.

Enfin, la priorisation des ENR&R vise à identifier et hiérarchiser les sources disponibles et évaluer leur capacité à satisfaire les besoins du projet. Pour cela, il est pertinent d'aborder les ENR&R selon l'ordre suivant :

- sources non délocalisables car liées à des activités existantes (chaleur fatale actuellement non valorisée et pouvant être récupérée sur les process industriels, les eaux usées...);



Démarche ENR'Choix. (source : Ademe).

- sources non délocalisables car situées dans le sous-sol (géothermie profonde ou de surface) ;
- sources délocalisables car situées au-dessus de la surface du sol (biomasse, solaire) ou liées à des activités à créer.

À l'échelle des territoires : garantir un développement cohérent et harmonieux

Les collectivités territoriales font face à la nécessité d'agir pour le bien-être de tous les citoyens et se retrouvent de fait les acteurs fondamentaux de la mise en œuvre de la dynamique de développement durable. De nombreuses démarches sont entreprises en interne, allant du diagnostic de sites à la formalisation de plans d'actions, en passant par la mise en place de systèmes de management environnemental. D'autres initiatives et outils, à destination des entreprises, des

zones d'activités ou des particuliers sont également mis en œuvre. Bien souvent, ces dispositifs interagissent entre eux et sont portés par une dynamique globale. L'évolution du contexte législatif agit dans ce sens en renforçant l'action des collectivités : agenda 21, schémas régionaux climat air énergie (SRCAE), plans climat air énergie territoriaux (PCAET)...

Les réflexions transversales, les conduites intercommunales et les synergies entre toutes les parties prenantes, acteurs publics et privés, sont nécessaires pour contribuer à avoir une vision partagée et cohérente de l'avenir des territoires. L'outil ENR'Choix y contribue en fournissant une base commune pour le développement des ENR&R.

✓ Interview

Trois questions
à Gaëtan REMOND

directeur associé du département
Bâtiment, énergies et climat
chez Inddigo

La complémentarité des énergies renouvelables et de récupération : une réalité qui requiert des compétences spécifiques.

Le Cahier du bois-énergie : *Quel regard portez-vous sur les diverses possibilités d'utilisation des énergies renouvelables et de récupération ou ENR&R ?*

Gaëtan REMOND : *Chez Inddigo, cabinet de conseil et ingénierie en développement durable, nous sommes convaincus de la nécessaire relocalisation des productions énergétiques et de leur intégration aux projets de territoires, de quartiers et de bâtiments via la planification et les schémas énergétiques, les réseaux de chaleur, la maîtrise de l'énergie et l'intégration de sources*

renouvelables. Il nous apparaît évident qu'il ne faut pas opposer ces dernières entre elles mais qu'il convient de les mixer dès que cela est possible. En effet, la complémentarité entre les énergies renouvelables et de récupération est de trois ordres. Environnemental tout d'abord, avec une décarbonation allant croissant avec le taux d'ENR&R dans le mix énergétique. D'ordre technique également, avec la possibilité de satisfaire des besoins énergétiques variés en termes de plage de puissance (de quelques kW à plusieurs dizaines de MW), de niveau de température (du froid à plusieurs centaines de °C) et de saisonnalité. D'ordre économique enfin, avec l'optimisation des coûts d'investissement et de fonctionnement des projets, une plus grande stabilisation du coût final de la chaleur et du froid, le bénéfice du Fonds chaleur de l'Ademe et, pour les réseaux de chaleur, de la TVA à taux réduit grâce à un taux d'ENR&R élevé, la création d'emplois directs et indirects ainsi que la création et le maintien de valeur sur les territoires et en France.

CBE : *Pourriez-vous citer quelques exemples de complémentarité entre ENR&R ?*

GR : *Prenons le cas d'un réseau dimensionné et construit pour être alimenté par de la chaleur issue d'un aquifère profond. Lorsqu'il est amené à se développer par la suite, son taux d'ENR&R va diminuer puisque le potentiel géothermique n'est pas variable et qu'un autre forage n'est vraisemblablement pas envisageable car trop proche de celui qui est actif. L'installation d'une chaudière biomasse permet alors d'étendre le réseau sans dégrader le taux d'ENR&R. Dans le même esprit, lorsqu'un réseau valorise de la chaleur de récupération à un niveau moindre qu'escompté, du fait par exemple d'un data center qui n'est pas suffisamment monté en régime ou bien d'une variation à la baisse du débit ou de la température de la chaleur fatale, la mise en place d'une chaudière biomasse permet de relever le taux d'ENR&R. Une autre situation intéressante est la complémentarité entre bois et solaire, en particulier lorsque ce dernier est capable d'assurer la production d'eau chaude sanitaire l'été. Le taux d'ENR&R peut être maintenu tout en arrêtant la chaudière bois, ce qui permet de réaliser sereinement la maintenance de celle-ci. Une précision au passage : qui dit solaire dit stockage thermique car la consommation de chaleur ne se fait pas nécessairement au rythme de sa production par les panneaux. L'argument du coût d'investissement supplémentaire pour le ballon d'hydro-accumulation est parfois utilisé pour ne pas retenir la solution solaire. Une vision plus intéressante est de considérer le ballon comme un élément central de l'installation permettant non seulement d'utiliser l'énergie solaire mais également d'optimiser le fonctionnement de la chaudière bois (surtout pour les petites puissances) voire de permettre la valorisation de chaleur de récupération intermittente. Dans tous les cas, la bonne conception des projets impliquant plusieurs ENR&R nécessite de faire appel à des bureaux d'études qualifiés pour chacune de celles qui sont concernées afin de bien prendre en compte leurs spécificités.*

CBE : *Quels sont les principaux points de vigilance à bien appréhender pour combiner harmonieusement les ENR&R ?*

GR : *Un des points clés pour le bon fonctionnement des installations multi ENR&R est la gestion des régimes de température, tant au niveau de la production de chaleur que de sa consommation. La géothermie profonde ou de surface, le solaire, la chaleur de récupération sur eaux usées ou sur fumées de fours, la biomasse présentent des gammes de température variées dont les interactions doivent être maîtrisées, la stratification dans les ballons d'hydro-accumulation doit être effective et les réseaux secondaires doivent être gérés de telle sorte que la température retour du réseau primaire soit compatible avec les contraintes de production de chaleur. Pour le solaire, il est à noter qu'il est possible d'obtenir des hautes températures grâce à certaines technologies de panneaux ou par concentration du rayonnement. Un autre point de vigilance concerne l'atteinte d'un taux d'ENR&R de 100 %, objectif fixé dans de nombreux schémas directeurs de gros réseaux de chaleur à l'horizon 2050. Pour que ce soit vraiment le cas, l'électricité consommée par les pompes à chaleur géothermiques ou par celles permettant la récupération de chaleur fatale devra être renouvelable, de même que celle nécessaire au fonctionnement de l'ensemble des équipements de production et distribution de la chaleur. L'installation de panneaux solaires photovoltaïques sur site pourra y contribuer.*



Bois et énergie de récupération : l'exemple des réseaux de chaleur de Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais) (1)

Premier port de pêche français et troisième ville du Pas-de-Calais avec près de 41 000 habitants, Boulogne-sur-Mer dispose de deux réseaux de chaleur : le premier alimente les quartiers du plateau du Chemin Vert situé sur une colline à environ 70 m d'altitude et le second dessert des bâtiments résidentiels et tertiaires situés à proximité de la Liane, le fleuve qui traverse la ville.

Une impulsion donnée par les opérations récentes de rénovation urbaine

En 2004, la commune de Boulogne-sur-Mer engage un vaste programme de renouvellement urbain en lien avec l'Agence nationale pour la rénovation urbaine (ANRU) sur le quartier Transition au Chemin Vert. En 2014, un nouveau programme est signé dans le cadre de l'ANRU II pour les quartiers Triennal et Aiglou, toujours au Chemin Vert.

C'est dans ce contexte de forte restructuration et d'évolution de son parc de logements que le bailleur social Habitat du Littoral fait réaliser une étude de faisabilité qui conclut, en 2009, à la pertinence de relier les petits réseaux existants du Triennal et de l'Aiglou et fonctionnant alors au gaz, de les étendre

et de créer une chaufferie bois. Cette étude porte également sur un autre secteur situé en contrebas, le long de la Liane, et montre l'intérêt de la création d'un réseau de chaleur alimenté pour partie par de l'énergie issue de la station d'épuration.

Au vu de ces résultats, la ville de Boulogne-sur-Mer décide en 2011 d'assurer le portage de l'ensemble du dossier et lance un appel d'offres pour la délégation de service public relative à la création et l'exploitation des réseaux de chaleur des quartiers du Chemin vert et de la Liane, remporté par Dalkia.

Deux réseaux gérés dans le cadre d'une seule concession de service public

Mis en service en 2014, le réseau de la Liane est alimenté par une chaufferie centrale au gaz naturel (deux chaudières de 5 MW et une de 2 MW) ainsi que, depuis fin 2015, par des équipements de récupération de chaleur sur les eaux traitées et les fumées du four d'incinération des boues de la station d'épuration voisine : la température des eaux est abaissée de 12 °C à 7 °C par trois pompes à chaleur de 750 kW chacune et celle des fumées de 530 °C en amont du système



Chaudière bois (3,5 MW) du réseau de chaleur du Chemin Vert à Boulogne-sur-Mer. *Dalkia*



Pompes à chaleur permettant la récupération d'énergie sur les eaux traitées de la station d'épuration – réseau de chaleur de la Liane à Boulogne-sur-Mer. *Dalkia*

de filtration à 120 °C en sortie de cheminée grâce à trois échangeurs d'une puissance totale de 1,13 MW. Injectée dans une boucle d'eau à basse température (65 °C/45 °C) reliant la station d'épuration à la chaufferie centrale, l'énergie récupérée permet de réchauffer le retour du réseau primaire et ainsi de limiter le recours au gaz naturel.

La production de chaleur du réseau du Chemin Vert, inauguré en 2016, est assurée par une chaufferie centrale comportant une chaudière bois de 3,5 MW (marque Weiss), trois chaudières gaz d'une puissance cumulée de 10 MW et un moteur de cogénération au gaz de 1 MW (utilisé en mode dispatchable). Les deux chaufferies au gaz qui alimentaient auparavant les quartiers sont maintenues en secours. En outre, un condenseur de 300 kW a été mis en service en 2021 sur une branche du réseau à basse température afin de récupérer l'énergie contenue dans les fumées de la chaudière bois.

Les deux installations ont bénéficié d'un soutien du Fonds chaleur géré par l'Ademe, à hauteur de 2 M€ pour le réseau de la Liane (sur un investissement initial de plus de 6 M€) et de 1,5 M€ pour celui du Chemin Vert (sur un total de 4,7 M€).

L'interconnexion des réseaux pour maximiser le recours aux ENR&R

D'une longueur totale de 12 km, les réseaux fournissent aujourd'hui 40 GWh de chaleur à 75 abonnés. En 2020, la chaleur récupérée ou produite à partir d'énergies renouvelables a représenté 59 % de la chaleur injectée sur les réseaux : 29 % pour le bois (de l'ordre de 5 000 tonnes de plaquettes forestières

consommées), 14 % pour la récupération sur les fours, 8 % pour les pompes à chaleur sur les eaux traitées (déduction faite de leur consommation d'électricité, le coefficient de performance – COP – étant de 2,52), auxquels s'ajoutent 8 % de gaz vert grâce à l'achat de garanties d'origine.

Ce résultat global masque toutefois des évolutions différentes entre les deux réseaux. Celui du Chemin Vert maintient jusqu'à présent son niveau de fourniture de chaleur mais ce dernier est voué à baisser à l'avenir du fait de la restructuration en cours des quartiers (le corollaire intéressant sera la possibilité d'alimenter plus de bâtiments en basse température, autorisant une plus importante récupération de chaleur sur les fumées de la chaudière bois). A l'inverse, le réseau de la Liane se développe fortement alors que le potentiel de récupération d'énergie sur la station d'épuration est limité.

Pour conserver un taux élevé d'ENR&R, l'interconnexion des deux réseaux a été décidée par Dalkia (les travaux démarreront en 2023 et la mise en service est prévue en janvier 2025). Elle permettra notamment de maximiser la production de chaleur à partir de bois, y compris l'été puisque le réseau de la Liane alimente Nausicaa, le plus grand aquarium d'Europe, pour le maintien en température des bassins, en complément des pompes à chaleur installées sur site pour la récupération d'énergie sur les circuits d'eau. L'objectif visé est de fournir, en 2028, 40 GWh de chaleur produite à 70 % par les ENR&R : 40 % pour le bois, 16 % pour les pompes à chaleur (10 % en station d'épuration et 6 % à Nausicaa, déduction faite de l'électricité consommée) et 14 % pour les fumées du four d'incinération de boues.

(1) Article réalisé sur la base d'un entretien avec Dalkia.

Bois et solaire thermique : l'exemple du réseau de chaleur de Juvignac (Hérault) (1)

Commune joutant Montpellier, Juvignac compte 12 000 habitants et dispose depuis 2013 d'un réseau de chaleur bois / solaire desservant l'écoquartier des Constellations.

Des énergies renouvelables pour un écoquartier

En 2011, sous l'impulsion de la ville de Juvignac, GGL Groupe, aménageur de la ZAC des Constellations, confie à Engie Solutions la construction, le financement et l'exploitation d'un réseau de chaleur utilisant des énergies renouvelables afin de satisfaire les besoins thermiques de 1 300 logements représentant une superficie totale de 77 000 m² et pouvant accueillir de l'ordre de 4 500 personnes. Construits entre 2013 et 2016, ils sont conçus de manière à avoir une consommation annuelle de 70 kWh/m² pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ; dans les faits, celle-ci est en moyenne de 80 kWh/m² entre

2016 et 2020. Long de 1,6 km et desservant aujourd'hui 26 sous-stations, le réseau est alimenté depuis 2013 par une chaufferie centrale comportant une chaudière bois de 1,2 MW (marque Compte R.) équipée d'un électrofiltre pour le dépoussiérage des fumées, deux chaudières gaz de 1 MW et deux ballons d'hydro-accumulation de 12 m³ de capacité unitaire.

En 2016, cet ensemble est complété par 336 m² de panneaux solaires plans haute performance (fabriqués par Clipsol), d'une puissance totale de 235 kW, installés sur la toiture terrasse de la chaufferie. Initialement, le parking adjacent devait également être équipé d'environ 600 m² de capteurs solaires à tubes sous vide supportés par des ombrières, mais ce projet a dû être abandonné du fait d'un risque jugé trop important pour les usagers du parking en cas de bris de verre.



Chaufferie bois / gaz du réseau de chaleur de Juvignac (avant la pose des panneaux solaires). Engie Solutions

L'installation a bénéficié d'un soutien du Fonds Chaleur de 850 k€ pour un investissement total de 4 M€, dont 130 k€ pour la fourniture, la pose et le raccordement des panneaux solaires.

Complémentarité du bois et du solaire

La chaudière bois consomme de l'ordre de 1 800 à 2 000 t/an d'un mélange de plaquettes forestières (60 %) et plaquettes de scieries (40 %) fourni par Soven, la filiale d'approvisionnement de Engie Solutions. La chaufferie étant située en zone fortement urbanisée, le silo de stockage de 150 m³ a dû être totalement enterré : le combustible, livré par bennes à fond mouvant de 90 m³, est déversé dans des trappes carrossables.

Avec une orientation de 30° sud-ouest et une inclinaison de 30°,

les panneaux solaires produisent en moyenne 225 MWh/an et assurent le réchauffage du retour du réseau primaire, en amont de la chaudière bois, de la chaudière gaz ou des ballons d'hydro-accumulation selon les besoins. Le réseau de chaleur dispose d'un régime de température de 75 °C/65 °C. Il fonctionne avec un mixte bois / solaire / gaz de septembre à juin et seulement solaire / gaz en juillet et août. En période froide, le bois et le solaire se complètent idéalement. En mi-saison, un suivi plus fin est nécessaire car la chaudière bois peut avoir des difficultés à se maintenir en fonctionnement lorsqu'il y a production d'énergie solaire et que les consommations sur le réseau sont faibles. En moyenne, les 6 000 MWh/an de chaleur distribuée par le réseau sont produits à 76 % par le bois, 4 % par le solaire et 20 % par le gaz.

Deux points clés pour optimiser le fonctionnement

Deux éléments sont mis en exergue pour optimiser le fonctionnement et améliorer la performance, tant énergétique qu'économique.

Le premier point concerne la bonne évacuation de la chaleur produite par les capteurs solaires en été, au risque sinon de dégrader ces derniers : il est très important que l'écart de température envisagé entre le départ et le retour du réseau primaire (le « *delta T* ») soit effectif. Cela pose donc la question du respect des régimes de température prévus pour les réseaux secondaires des bâtiments desservis. Le contrat signé entre Engie Solutions et l'aménageur de la ZAC des Constellations stipule que ce dernier a l'obligation de répercuter les contraintes en la matière sur les promoteurs immobiliers, ce qu'il fait. En règle générale, les bureaux d'études ont bien conçu les installations de chauffage et eau chaude sanitaire. Mais les arbitrages effectués par les promoteurs en vue de limiter



Panneaux solaires sur le toit de la chaufferie bois / gaz du réseau de chaleur de Juvignac. Engie Solutions

les coûts d'investissement le sont rarement en faveur de la performance énergétique. Les exploitants des réseaux secondaires (souvent Engie Solutions) font alors de leur mieux pour optimiser le régime de température mais sont tributaires des possibilités offertes par les équipements installés.

Le second enseignement concerne la chaudière bois. En phase de montée en puissance du réseau de chaleur (quand tous les usagers ne sont pas encore raccordés) ainsi qu'en demi-saison, la maximisation du taux de couverture des besoins par les énergies renouvelables peut entrer en compétition avec le fonctionnement optimisé de la chaudière bois. Il est alors essentiel de veiller à respecter le taux de charge minimum défini par le constructeur, car en-deçà de celui-ci la combustion du bois ne s'effectue

pas dans de bonnes conditions, des polluants sont émis et l'électrofiltre peut s'encrasser à cause des goudrons.

La société Engie Solutions, globalement satisfaite de l'installation bois / solaire sur le réseau de chaleur de Juvignac, a également réalisé deux autres réseaux de chaleur bois / solaire en Occitanie et en assure l'exploitation : à Balma dans la banlieue toulousaine (une chaudière bois de 2,5 MW et 458 m² de capteurs solaires sous vide) et au Cirad à Montpellier (une chaudière bois de 550 kW et 108 m² de capteurs solaires sous vide).

(1) Article réalisé sur la base d'un entretien avec Guillaume VRAUX, directeur adjoint de la communication chez Engie Solutions, et Thierry RAMI, responsable du service technique chez Engie Solutions Occitanie.

Bois et solaire : l'exemple du lycée Honoré d'Estienne d'Orves de Carquefou (Loire-Atlantique) (1)

Construit et financé par la Région des Pays-de-la-Loire, le lycée Honoré d'Estienne d'Orves de Carquefou a ouvert ses portes en septembre 2017. Il accueille chaque année 900 élèves de la seconde à la terminale générale et technologique.

Un bâtiment à énergie positive

Le lycée Honoré d'Estienne d'Orves est un bâtiment à énergie positive (Bepos) bénéficiant de la certification Haute Qualité Environnementale HQE. D'une surface de plus de 11 500 m², il dispose d'une structure en béton isolée par l'extérieur avec bardage métallique et bois et de deux énergies renouvelables y sont utilisées : le solaire et le bois.

La particularité du site est de faire appel à trois technologies solaires différentes : la toiture terrasse de l'internat porte environ 500 m² de panneaux photovoltaïques classiques, le hall d'entrée est coiffé d'une verrière photovoltaïque de 150 m² et les autres toitures terrasses de l'établissement accueillent 1 037 m² de panneaux hybrides (fabriqués par DualSun) se composant de cellules photovoltaïques disposées sur un capteur solaire thermique. Ce dernier dispositif permet ainsi de valoriser l'énergie solaire pour le chauffage tout en refroidissant les cellules photovoltaïques, améliorant ainsi



Chaudière à granulés de bois (300 kW) avec un de ses ballons tampons (en gris, à l'arrière), la benne à cendres et les ballons tampons de la pompe à chaleur pour l'eau chaude sanitaire (en orange). Lycée Honoré d'Estienne d'Orves de Carquefou



le rendement électrique. Le système de production d'énergie est complété par une chaudière à granulés de bois de 300 kW (marque Herz) dotée d'un silo de stockage maçonné d'une capacité de 30 tonnes, correspondant à la consommation annuelle moyenne.

Le bois utilisé en appoint du solaire

Le chauffage est assuré prioritairement par les panneaux hybrides qui alimentent un ballon d'hydro-accumulation de 60 m³ fonctionnant selon un régime de température de 17 °C/12 °C afin de servir de source froide à deux pompes à chaleur de 100 kW de puissance unitaire. Ces dernières remontent la température de l'eau qui est stockée dans deux ballons de 60 m³ chacun selon un régime de 45 °C/30 °C.

Lorsque l'ensoleillement est insuffisant et ne permet pas la récupération d'énergie solaire, les pompes à chaleur sont mises à l'arrêt et la relève est prise par la chaudière bois, à laquelle deux ballons tampon de 2 000 l chacun ont été adjoints afin d'optimiser les cycles de fonctionnement.

Le réseau de chauffage du lycée dessert, avec un régime de 45 °C/32 °C, un plancher chauffant pour le hall d'entrée, des batteries chaudes sur les émetteurs terminaux de la ventilation pour les salles de

classe et des radiateurs (panneaux rayonnants) pour les autres locaux. Depuis l'ouverture du lycée, les installations ont fourni en moyenne 250 MWh/an pour le chauffage des locaux avec un mix constaté sur les trois dernières années d'environ 50 % solaire et 50 % bois et un coefficient de performance (COP) des pompes à chaleur de 2,65.

La production d'eau chaude sanitaire se fait quant à elle toute l'année par acheminement de la chaleur issue d'une partie des panneaux solaires hybrides vers deux pompes à chaleur de 11 kW chacune associées à deux ballons tampons de 2 500 l. L'électricité produite par les capteurs photovoltaïques est vendue à Enercoop (puissance concernée : de l'ordre de 220 kW) ou autoconsommée (30 kW) pour couvrir l'équivalent des besoins des pompes à chaleur. Les panneaux hybrides présentent un rendement supérieur aux capteurs classiques car ils sont refroidis par l'eau du ballon d'hydro-accumulation de 60 m³ auquel ils sont reliés, y compris l'été alors que les pompes à chaleur pour le chauffage sont à l'arrêt : en journée, le ballon permet alors de limiter la température des panneaux à 40-45 °C au maximum et, la nuit, les capteurs rediffusent la chaleur emmagasinée dans le ballon de manière à faire redescendre la température de celui-ci à 20 °C environ.

Une installation qui donne satisfaction malgré des débuts difficiles

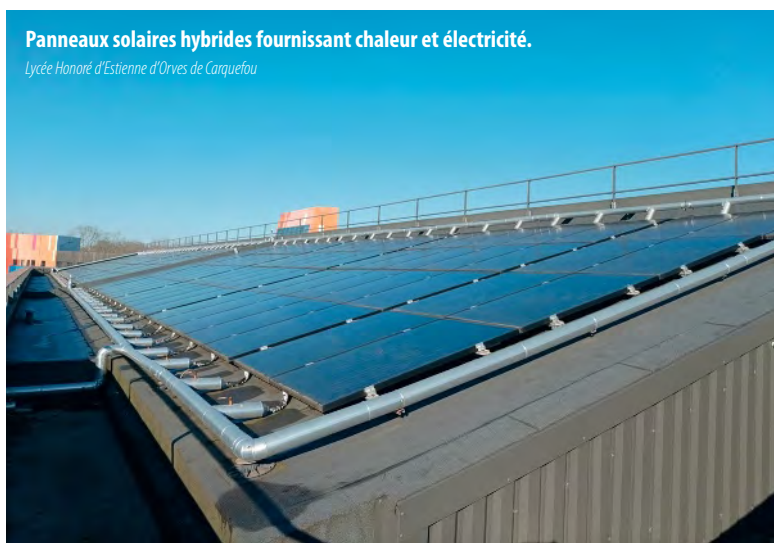
Sur ce type d'installation mixant les énergies renouvelables, une des principales difficultés réside dans l'articulation d'équipements disposant de régimes de température différents : celui des pompes à chaleur associées aux capteurs solaires est de 45 °C/30 °C alors que celui de la chaudière à granulés est de 80 °C/60 °C. Cet écueil a été résolu en dissociant les deux systèmes : quand les pompes à chaleur fonctionnent, la chaudière est à l'arrêt et inversement. C'est grâce à cette solution que la Région a pu réaliser ce lycée à énergie positive. Toutefois, les coûts d'investissement associés sont élevés et il est à noter que,

depuis lors, quand la conception des lycées dans les Pays-de-la-Loire intègre le bois-énergie, il n'est pas couplé au solaire. L'installation de Carquefou est la seconde en France à disposer de panneaux hybrides et la plus importante en termes de surface. Elle peut donc être considérée comme un prototype, avec les difficultés de mise au point inhérentes. Il a ainsi fallu deux ans pour que l'installation solaire soit validée sur l'aspect fluides, en trouvant en particulier des solutions pour assurer une

pression adaptée et une bonne irrigation de l'ensemble des capteurs en glycol malgré les différences de hauteur entre les toitures et les nombreux piquages sur de grandes longueurs.

La phase de montée en puissance de la fréquentation du lycée (300 élèves la première année, 600 la deuxième et 900 depuis) a également été source de difficultés en matière de chauffage. En effet, la centrale de traitement d'air permet de récupérer des calories apportées notamment par la présence humaine mais, du fait du nombre limité d'élèves les deux premières années, il manquait jusqu'à 2 °C dans les locaux, même avec la chaudière bois fonctionnant à pleine puissance.

La direction du lycée et le service maintenance sont aujourd'hui satisfaits du fonctionnement de l'installation bois / solaire. Ils attirent toutefois l'attention, d'une part, sur le fait que plus un dispositif est compliqué, plus il requiert de surveillance et, d'autre part, sur la nécessaire compétence globale d'électricien, de chauffagiste et de frigoriste du personnel d'exploitation, ce qui est assez rare.



Panneaux solaires hybrides fournissant chaleur et électricité.

Lycée Honoré d'Estienne d'Orves de Carquefou

(1) Article réalisé sur la base d'un entretien avec Jérémie SAUVAGE, responsable de la maintenance au lycée Honoré d'Estienne d'Orves de Carquefou.