

SYNTHÈSE DE 30 AUDITS DE CHAUFFERIES BOIS GÉRÉES EN RÉGIE EN PAYS DE LA LOIRE

Octobre 2016

Étude réalisée par Alliance Soleil, EDEL et le CRER
pour le compte de l'ADEME, Direction Régionale des Pays de la Loire



Remerciements

Nous, le groupement constitué d'Alliance Soleil (mandataire du groupement), EDEL et le CRER, tenons à remercier l'ADEME des Pays de la Loire pour nous avoir confié cette mission très pertinente, qui nous le croyons, va permettre d'améliorer l'exploitation et la gestion des chaufferies bois gérées en régie que nous avons auditées, mais aussi permettre d'améliorer les futurs projets.

Nous tenons également à remercier l'ensemble des maîtres d'ouvrages et les conducteurs de chaufferie rencontrés, pour le temps qu'ils nous ont consacré et pour le partage d'expériences toujours très enrichissant.

Finalement, nous tenons à remercier l'ensemble des Relais Bois-Energie (RBE) des Pays de la Loire pour le partage de leur expérience et pour leur relecture pertinente des rapports d'audits réalisés.

ADEME - Pays de la Loire

5, bd Vincent Gâche - CS 90302

44 203 Nantes Cedex 2

www.paysdelaloire.ademe.fr

Coordination technique : Cédric Garnier - ADEME Pays de la Loire

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

Définitions – abréviations – glossaire	4
I. OBJECTIFS ET CONTEXTE DE L'ETUDE	5
II. METHODOLOGIE DES AUDITS	5
1. Caractéristiques des sites audités	5
2. Méthodologie des audits	6
3. Tableau de synthèse des sites audités	7
III. PRINCIPAUX CONSTATS	8
1. L'avis recueilli auprès des maîtres d'ouvrages et des chauffeurs	8
1.1 Les maîtres d'ouvrages	8
1.2 Les chauffeurs	8
2. Dimensionnement des installations	9
2.1. Remarques générales	9
2.2. Pathologies de conception	10
2.3. Bonnes pratiques de conception	11
3. Mise en œuvre	11
4. Réception et mise au point	12
5. Exploitation	13
5.1. Généralités	13
5.2. Formations à la conduite d'une chaufferie bois	14
5.3. Gestion des produits de combustion / cendres	14
5.4. Pathologies récurrentes	14
5.5. Bonnes pratiques d'exploitation	14
6. Synthèse des bilans énergétiques	16
6.1. Taux de couverture des consommations énergétiques par le bois	16
6.2. Rendement énergétique des chaudières bois	17
6.3. Performances des réseaux de chaleur	18
6.4. Synthèse des bonnes pratiques	18
7. Synthèse des bilans économiques	18
7.1. Coûts de l'énergie bois	18
7.2. Coûts d'investissement des opérations	19
7.3. Rentabilité des installations	20
IV. SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS POUR DE FUTURS PROJETS	21
1. Etudes de faisabilité	21
2. Conception et Mise en œuvre	21
3. Réception des installations	22
4. Exploitation et suivi énergétique	23

Définitions – abréviations – glossaire

Besoins chauffage ($Q_{\text{chauffage}}$)	Quantité d'énergie nécessaire pour assurer une température réglementaire dans le bâtiment [kWh]
Besoins ECS (Q_{ECS})	Quantité d'énergie nécessaire pour la production d'Eau Chaude Sanitaire Q_{ECS} : volume eau chaude puisé (ramenée à 60°C) x ΔT x capacité thermique [kWh]
Cendres sous foyer	Résidus de combustion tombant dans un cendrier situé sous la CHB ; ils sont extraits par voie sèche ou humide
Cendres volantes	Particules de filtration des fumées émanant des systèmes de dépoussiérage
CHB	Chaudière bois
Densité thermique réseau	Energie utile livrée aux bâtiments / ml de tranchées réseau chaleur [MWh/ml]
ECS / EFS	Eau Chaude Sanitaire / Eau Froide Sanitaire
E_{bois}	Énergie utile fournie par la CHB (sortie chaudière) [kWh]
E_{app}	Énergie utile fournie par la ou les chaudières d'appoint (sorties chaudières) [kWh]
H (taux d'humidité)	Taux d'humidité brut du combustible : masse d'eau contenue / masse totale [%]
MES	Mise En Service
P1	Charges d'exploitation pour la fourniture du ou des combustibles
P'1	Charges d'exploitation pour la fourniture de l'électricité des auxiliaires
P2	Charges d'exploitation pour la maintenance courante (préventive, corrective et dépannage)
P3	Charges d'exploitation pour le gros entretien et renouvellement
P4	Charges d'exploitation pour l'amortissement de l'investissement
P_{CHB} , P_{nominale} , P_{totale}	Puissance chaudière bois, puissance nominale, puissance totale
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur [kWh/kg ou kWh/m ³]. Pour le bois, $PCI = PCI_0 \times (100 - H)/100 - 0,006786 \times H$ [kWh/kg]
PCS	Pouvoir Calorifique Supérieur [kWh/kg ou kWh/m ³]
Q_{app}	Consommation d'énergie d'appoint : (quantité de combustible [kg ou m ³]) x PCI [kWh PCI] ou (quantité de combustible [kg ou m ³]) x PCS [kWh PCS]
Q_{bois}	Consommation d'énergie bois : (quantité de combustible [kg]) x PCI [kWh PCI]
RC	Réseau de chaleur
Rendement production CHB	$E_{\text{bois}} / Q_{\text{bois}}$ [%]
Rendement production CH d'appoint	$E_{\text{app}} / Q_{\text{app}}$ [%]
Rendement global d'exploitation	$(Q_{\text{chauffage}} + Q_{\text{ECS}}) / (Q_{\text{app}} + Q_{\text{bois}})$ [%]
Réseau de chaleur (sens juridique)	Installation comprenant une chaufferie fournissant de la chaleur à plusieurs clients, dont l'un au moins n'est pas le propriétaire, par l'intermédiaire de canalisations de transport de chaleur
Sous-station	Installation relais entre une chaufferie centrale et les bâtiments qu'elle dessert en énergie
Taux de couverture	$E_{\text{bois}} / (Q_{\text{chauffage}} + Q_{\text{ECS}})$ [%]
Taux de couverture Bois des consommations	$Q_{\text{bois}} / (Q_{\text{bois}} + Q_{\text{app}})$ [%]
Volume utile du silo	Volume qui sera réellement utilisé dans le silo de stockage. Il permet de définir en partie l'autonomie. [m ³]

I. Objectifs et contexte de l'étude

Préambule du cahier des charges de notre mission : « *En règle générale, pour les projets de chaufferie bois, les maîtres d'ouvrage ont, quasiment tous, bénéficié d'un accompagnement lors de la phase de développement de leurs projets, que ce soit lors de la phase d'aides à la décision (notes d'opportunité et études de faisabilité) ou lors de la phase travaux (assistance à maîtrise d'ouvrage et/ou maîtrise d'œuvre).*

Par contre, lors de la phase opérationnelle d'utilisation des équipements, les collectivités qui gèrent les chaufferies bois avec ou sans réseau de chaleur, manquent souvent de compétences ainsi que des procédures et d'indicateurs de suivi d'exploitation. Elles ne font que très rarement appel à des compétences externes pour les accompagner et les guider dans cette phase de suivi.

Elles s'assurent du « bon » fonctionnement des installations sans pour autant toujours rechercher des optimisations techniques et économiques, effectuer des suivis technico-économiques ou des veilles réglementaires. Or ces tâches sont indispensables pour avoir des équipements fonctionnant dans des conditions optimisées et performantes »

C'est dans ce contexte que l'ADEME Pays de la Loire nous a confié cette mission. Elle consistait à réaliser un audit de fonctionnement de 30 installations actuellement en service en Pays de la Loire, permettant :

1. de dresser un bilan du fonctionnement de chaque installation et de proposer des améliorations/optimisations.
2. de proposer :
 - des outils de suivi et de pilotage de ces installations qui pourront selon les cas rencontrés être utilisés directement par les maîtres d'ouvrage ou indirectement en faisant appel à un prestataire spécialisé.
 - Ces outils devront être pertinents et suffisants afin d'améliorer l'exploitation et la gestion de ces équipements gérés en régie.
3. de capitaliser tous ces retours d'expériences (REX) et de diffuser une synthèse des audits présentant les bonnes pratiques d'exploitation rencontrées.

II. Méthodologie des audits

1. Caractéristiques des sites audités

30 sites ont été sélectionnés par l'ADEME et les Relais Bois Energie sur des critères de :

- répartition géographique.
- répartition de puissance de chaudières bois (<100 kW, 100 à 300 kW, > 300 kW)
- répartition d'installations avec ou sans réseau de chaleur (<200 kW, 200 à 500 kW, > 500 kW)
- typologie des usages (centre aquatique, établissements d'accueil, etc.)
- typologie des combustibles (plaquettes et granulés).

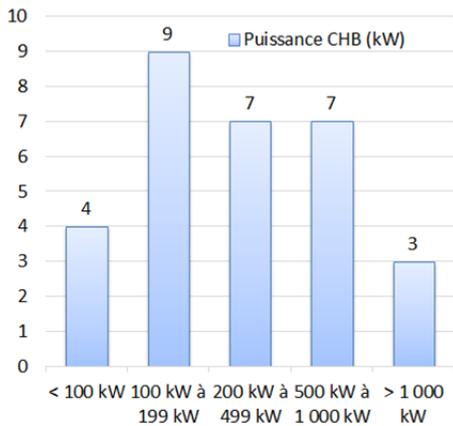
Les installations n'ont pas toutes été accompagnées par l'ADEME et/ou les Relais Bois Energie. Il n'y a pas eu de critère de sélection concernant l'état de fonctionnement et les performances du site. La chaufferie devait, *a minima*, fonctionner durant l'audit.

Les chaufferies sont toutes gérées en régie. La conduite et la gestion des chaufferies sont donc de la responsabilité du maître d'ouvrage. En général, il s'agit d'un service municipal, avec du personnel à statut communal et un budget particulier. Elles sont parfois exploitées par des techniciens dédiés (missionnés par la commune, la collectivité), ou bien par des techniciens tous corps d'état (agent de maintenance d'un EHPAD par exemple). Il peut également y avoir une délégation de l'exploitation/maintenance en contractualisant avec une entreprise spécialisée (2 cas sur les 30 sites audités).

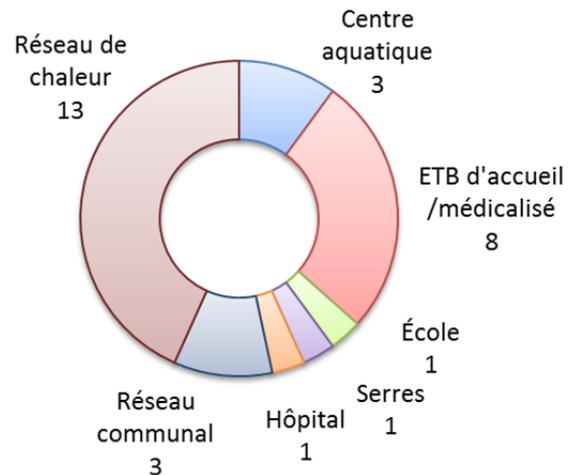
Sur l'ensemble des installations auditées, 16 chaufferies alimentent des réseaux de distribution de chaleur (13 réseaux de chaleur et 3 réseaux communaux). Ces réseaux alimentent en général les bâtiments suivants : mairie, écoles, piscine, logements sociaux et maisons de santé/EHPAD. Les 14 autres sites sont

des chaufferies dédiées à un établissement/bâtiment. 4 sites utilisent du granulé pour leur approvisionnement, les autres de la plaquette bois (forestière ou bocagère).

Les fabricants des chaudières biomasse auditées sont au nombre de 10, mais 4 d'entre eux représentent les deux tiers des sites (par ordre alphabétique) : Compte.R, Fröling, Hargassner et Weiss.



Répartition de puissance nominale des chaufferies biomasse auditées (en kW chaudière(s) biomasse)



Répartition des usages de la chaleur fournie par la chaudière biomasse

2. Méthodologie des audits

Chaque audit a été conduit par au moins deux personnes du groupement. Les 4 premières visites d'audits ont été réalisées par l'ensemble du groupement (Alliance Soleil, CRER, EDEL). En général, un membre des Relais Bois Energie (RBE) a pu se rendre disponible au moins une partie de la journée de visite sur site.

Chaque audit a été conduit en phase d'exploitation de la chaufferie bois, selon la méthodologie suivante :

- **Collecte des données (par courriel, téléphone, courrier...)**
- **Visite sur site en période de chauffe**
 - o Réunion en chaufferie avec le maître d'ouvrage et le conducteur de la chaufferie (avec un questionnaire pour chacun d'entre eux) avec présence fréquente d'un RBE.
 - o Relevé des matériels et du schéma hydraulique
 - o Relevé des compteurs d'énergie
 - o Examen des documents sur site (étude de faisabilité, cahier de chaufferie, DOE, bons de livraisons de combustibles, factures, contrats)
 - o Visite des sous-stations alimentées par le RC si existant
- **Analyses de l'ensemble des données**
 - o Nouvelle collecte de données suite à la visite de sites (relance téléphonique, mail, etc.)
 - o Nouvelles analyses des données
- **Rédaction d'un rapport provisoire**
- **Relecture et compléments éventuels des Relais Bois et/ou de l'ADEME, puis validation du rapport final**
- **Restitution des conclusions aux maîtres d'ouvrage par les Relais Bois Energie.**

Chaque rapport d'audit comprend les sections suivantes :

- o Présentation du site
- o Avis sur l'exploitation du site (vu par le maître d'ouvrage/conducteur de chaufferie)
- o Analyse technique (schéma hydraulique, dimensionnement, synoptique des problèmes techniques)
- o Illustration de problèmes techniques clés
- o Particularités des installations
- o Performances énergétiques
- o Analyse économique
- o Liste des bonnes pratiques et des pathologies
- o Conclusion et recommandations
- o Annexes

3. Tableau de synthèse des sites audités

La liste des sites audités est classée ci-dessous par taille croissante de la puissance nominale de la chaufferie biomasse.

Commune	Dépt	Puissance CHB (kW)	Mise en service	Combustible	Avec appoint	Réseau de chaleur
Quelaines Saint Gault	53	30	2004	Plaquettes	Non	Non
Saint Macaire du bois	49	56	2011	Granulés	Non	Oui
La Meilleraie Tillay	85	70	2011	Plaquettes	Oui	Non
Sillé le Guillaume	72	85	2011	Plaquettes	Oui	Oui
Poiroux	85	100	2011	Plaquettes	Oui	Non
La Grignonais	44	102	2012	Plaquettes	Oui	Oui
Sainte Florence	85	109	2011	Granulés	Non	Non
Saint Denis d'Anjou	53	130	2010	Plaquettes	Non	Oui
Craon	53	150	2011	Plaquettes	Non	Oui
Le Mans	72	150	2007	Plaquettes	Oui	Non
Liré	49	182	2009	Plaquettes	Oui	Oui
Grandchamp des Fontaines	44	199	2010	Plaquettes	Oui	Non
Saint Hilaire des Loges	85	199	2012	Plaquettes	Oui	Non
Nort sur Erdre	44	220	2010	Plaquettes	Oui	Non
Andrézé	49	220	2008	Plaquettes	Oui	Oui
Tuffé	72	220	2010	Plaquettes	Oui	Oui
Roézé sur Sarthe	72	224	2010	Granulés	Non	Oui
Basse Goulaine	44	350	2013	Granulés	Oui	Non
La Mothe Achard	85	350	2014	Plaquettes	Oui	Non
Mayenne	53	420	2009	Plaquettes	Oui	Non
Gorron	53	500	2010	Plaquettes	Oui	Oui
La Flèche	72	500	2009	Plaquettes	Oui	Non
Le Poiré sur Vie	85	540	2012	Plaquettes	Oui	Oui
Château Gontier	53	560	2006	Plaquettes	Oui	Oui
La Milesse	72	600	2004	Plaquettes	Non	Oui
Saint Julien de Concelles	44	700	2012	Plaquettes	Oui	Oui
Angers	49	800	2003	Plaquettes	Oui	Non
Cholet	49	1 200	2011	Plaquettes	Oui	Oui
Saint Nazaire	44	3 200	2013	Plaquettes	Oui	Non
Saumur	49	3 300	2008	Plaquettes	Oui	Oui

III. Principaux constats

1. L'avis recueilli auprès des maîtres d'ouvrages et des chauffeurs

Les enquêtes menées auprès des maîtres d'ouvrage et des conducteurs de chaufferie ont permis de dégager les enseignements suivants :

1.1 Les maîtres d'ouvrages

Les principales motivations relevées pour la mise en place d'une chaufferie bois sont les suivantes :

- Démarche environnementale
- Economies financières
- Volonté de développer une filière bois locale. Certains ont réussi à s'approvisionner avec un combustible de qualité provenant de leur commune ou des communes voisines (bois d'élagage, entretien des haies, etc.). Dans plusieurs cas, cette démarche a été confrontée à un combustible de qualité insuffisante pour le type de chaudière (taux d'humidité trop élevé notamment, taux de fines ou queues de déchetage, etc.). Les solutions ont alors été d'améliorer la filière locale ou de s'approvisionner via un autre fournisseur de combustibles.

80 % des maîtres d'ouvrage sont satisfaits de leur chaufferie bois. Les 20 % moins satisfaits ont connus (ou connaissent encore) des problèmes techniques pas encore résolus.

Plus de 50 % d'entre eux estiment que le bon fonctionnement de la chaufferie est fortement lié à la motivation et la montée en compétence des chauffeurs.

Pour l'ensemble des maîtres d'ouvrages interrogés, le confort de chauffage dans les bâtiments est atteint.

La majorité évoque un temps de maintenance et un coût de remplacement des pièces d'usure nettement plus important que pour une chaufferie gaz ou fioul.

La majorité est consciente que la qualité du combustible est déterminante et doit correspondre à la qualité acceptée par la chaudière bois (CHB). Cependant, certains se tournent vers un bois de qualité moindre en raison de son coût moins élevé (bois non criblé par exemple) au risque de provoquer des pannes voire des casses de la CHB et du système de convoyage.

Environ 20 % d'entre eux affirment que la CHB permet de réaliser des économies financières. Plus de 60 % ne savent pas si des économies sont réellement réalisées grâce à la chaufferie bois, majoritairement par absence de bilan technico-économique, mais également parce que les bâtiments sont neufs ou ont été rénovés.

15 % des maîtres d'ouvrages sont inquiets des futures réparations et remplacements de pièces (voûte réfractaire, vis sans fin, etc.), car cela représente des coûts relativement importants (charges liées au « P3 »), sous-estimés, voir occultés lors des études préliminaires.

1.2 Les chauffeurs

80% des chauffeurs sont satisfaits du fonctionnement de leur chaufferie bois.

Ils évoquent un temps de maintenance nettement plus important que pour une chaufferie gaz ou fioul. Cependant, ce n'est pas une contrainte pour tous, certains considèrent que la conduite d'une chaufferie bois est plus valorisante que la conduite d'une chaufferie traditionnelle. La plupart ont appris « sur le tas » à conduire leur installation, sans formation initiale.

La motivation des chauffeurs est un facteur clé pour le bon fonctionnement d'une chaufferie bois.

Les chauffeurs qui ont suivi une formation Atlanbois et qui participent aux échanges organisés par les RBE ont apprécié et apprécient ces actions. Cependant, quasiment tous les chauffeurs souhaiteraient un complément de formation technique poussée sur leur machine (ex. paramétrages, valeurs garde-fous).

Les chauffeurs estiment en effet qu'avec une formation réalisée par le fabricant, plus complète et sur site, dès la mise en service, le temps de prise en main de la chaufferie pour un fonctionnement correct (voire optimal) serait nettement raccourci. Leur manque de formation initiale a été quelque peu compensé par les SAV téléphoniques des fabricants, qu'ils jugent très satisfaisants.

La grande majorité des chauffeurs ont compris (plus ou moins rapidement par manque de formation) que la qualité du bois pour leur CHB est très importante pour son bon fonctionnement.

- 75 % d'entre eux connaissent la qualité du bois acceptée par la CHB et la jugent au moins au visuel lors des livraisons.
- 50 % des chauffeurs effectuent des mesures du taux d'humidité à chaque livraison (micro-ondes, sonde hydrométrique ou étuve).

L'évacuation des cendres et sa pénibilité sont récurrentes dans les propos recueillis (cendriers trop petits, ou trop lourds, sans roulette, etc.). Ils demandent à ce que des solutions soient trouvées pour limiter les poussières liées à l'évacuation des cendres et pour évacuer / transporter les cendres.

Pour les installations qui n'en possèdent pas déjà, l'ajout d'une alerte à distance lors d'un défaut en chaufferie est l'une des améliorations proposées par les chauffeurs.

Certains chauffeurs regrettent de ne pas avoir été impliqués dans le projet dès le départ, lors des études préalables et de la mise en œuvre. Ils ont hérité d'une CHB... ils auraient bien aimé en être les « co-parents ».

Les chauffeurs regrettent également qu'il n'y ait pas de documents d'analyse fonctionnelle¹ expliquant notamment les conditions de fonctionnement des chaudières d'appoint (gaz ou fuel). Aucune analyse fonctionnelle n'est présente en chaufferie, sauf pour une chaufferie où l'analyse fonctionnelle peut être déduite assez facilement avec lecture des écrans GTC.

2. Dimensionnement des installations

Les études de faisabilité et de conception ont été systématiquement demandées. Mais seuls 18 projets ont fait l'objet d'une « étude de faisabilité » préalable et détaillée, soit 60% des sites audités. Les autres projets se sont montés avec de simples comparatifs énergétiques (5 cas sur les 30), sur la base des notes d'opportunité (2), voire sans aucune étude préalable (5). Les auditeurs n'ont pas reçu d'études de conception.

Les tableaux de comparaison (comparatif énergétique) entre les énergies ont été établis en estimant le P3 (charges de gros entretiens et renouvellements) sur seulement 13 projets sur 30, soit 43% des sites audités (dont les projets avec note d'opportunité d'Atlanbois). Parmi les 18 études de faisabilité consultées, seulement 4 d'entre elles n'avaient pas intégré le P3, s'agissant d'études plutôt anciennes (entre 2004 et 2008).

Cela permet de rappeler, s'il le faut, que le montage d'un projet doit faire l'objet d'une véritable étude de faisabilité, avec une section économique bien développée.

2.1. Remarques générales

Les études de faisabilité ont permis de lancer des opérations en motivant le maître d'ouvrage, notamment en montrant que la future CHB allait couvrir l'essentiel des consommations énergétiques. D'ailleurs, les audits ont montré que les taux de couverture par le bois prévus en étude de faisabilité reflétaient plutôt bien la réalité.

Par contre, nous avons observé que les besoins énergétiques et les consommations énergétiques ne sont pas différenciés (ou alors trop rarement). Les chiffres annoncés sont insuffisamment argumentés ou justifiés, sauf exception (5 sites sur 30).

¹ Analyse fonctionnel : document synthétique de 1 ou pages précisant les conditions de marche/arrêt des CHB ou gaz, pompes, vannes trois voies, etc.

S'il existe un réseau de chaleur, il n'y a pas non plus, dans les études, les évaluations des pertes du réseau et de la densité énergétique. Ce n'était peut-être pas requis dans les cahiers des charges des études, mais cela conduit à des bilans erronés.

Les rendements énergétiques des chaudières bois ou d'appoint ont été surévalués dans les études de faisabilité (rendement pris proche des conditions nominales et non un rendement moyen annuel)

Les puissances des CHB ont été assez souvent surdimensionnées au niveau des études de faisabilité par manque d'analyse des courbes de charge (monotone des puissances appelées)... et ces mêmes valeurs de puissance sont en général celles retrouvées sur site, sans contre-vérifications par les exécutants. Le surdimensionnement engendre toujours des problèmes. Les CHB ne sont pas conçues pour fonctionner à trop faible régime (environ 25 % de la puissance nominale généralement).

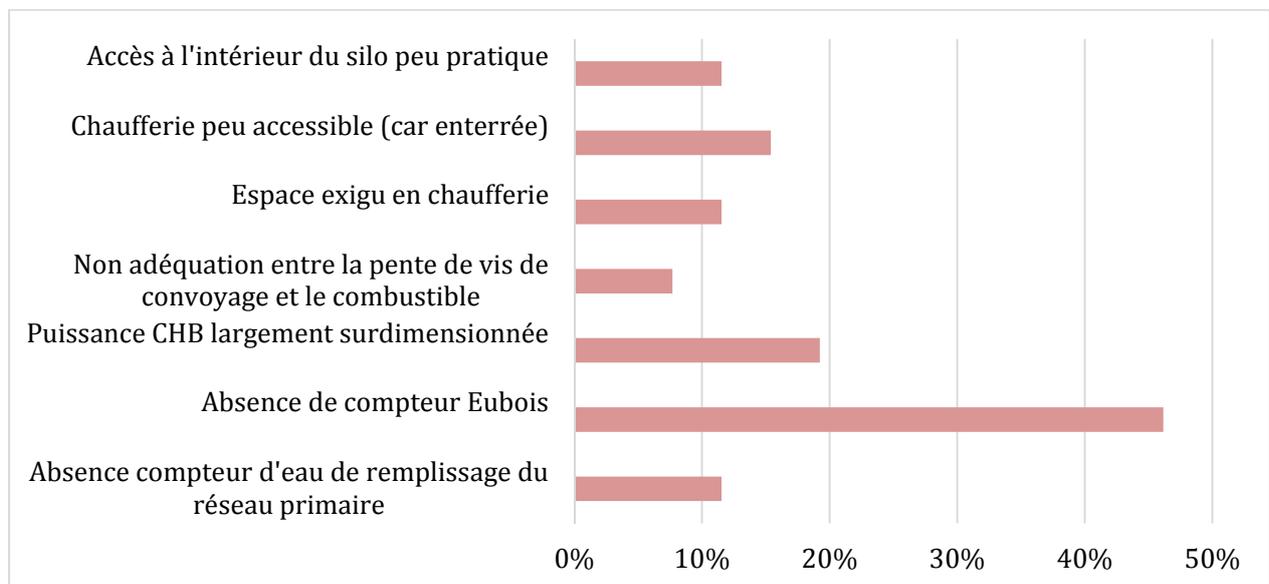
L'investissement prévisionnel des études préalables est souvent dépassé en phase travaux. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce constat :

- conception très différente du prévisionnel
- choix technique coûteux et/ou un traitement architectural demandé.
- sous-estimation des coûts d'investissement permettant de rendre attractive la solution bois.

De même, les coûts d'exploitation (maintenance, entretien) ne sont pas mentionnés ou nettement sous-estimés. Pourtant, il est vérifié que le bon fonctionnement d'une chaufferie bois nécessite un temps de maintenance (ex. visite quotidienne) nettement plus important que pour une chaufferie gaz/fioul, et des pièces mécaniques à remplacer (tout ou partie de la voûte réfractaire, vis sans fin).

2.2. Pathologies de conception

Les principales pathologies de conception impactant le fonctionnement, la maintenance ou le suivi de la chaufferie, relevées lors des audits sont les suivantes :



Pathologies de conception relevées parmi les sites audités

Outre ces pathologies, les audits ont montré que pour les quelques réseaux à faible inertie (par exemple pour le chauffage de serres agricoles) nécessitant un ballon hydro-accumulateur avec un volume très important pour s'adapter aux variations fréquentes de la température ambiante, n'étaient pas équipés de ces ballons. Ou ces derniers n'étaient pas, dans les cas rencontrés, correctement dimensionnés dans les études de faisabilité et même en conception. Ceci peut entraîner des surinvestissements considérables (20% de l'investissement total dans un cas rencontré).

L'accessibilité à l'intérieur du silo ou au niveau de la vis d'extracteur de silo n'est pas toujours prévue à la conception. Ceci complique la maintenance et la conduite de la chaufferie.

De nombreux bourrages ont été enregistrés sur les installations dotées de convoyeurs à vis fortement pentus (autour de 45° ou plus de 45°/horizontale) : les particules fines (ou « fines ») présentes dans le combustible restent accumulées en pied de vis. Ce défaut de conception, certes lié au taux de fines du combustible et donc à sa qualité, conduit parfois l'exploitant ou l'entreprise de travaux à créer des orifices en pied de vis pour évacuer les fines et éviter les bourrages.

Concernant les schémas hydrauliques (réseaux primaires entre les chaudières et la distribution de la chaleur vers les collecteurs principaux), il en existe une grande diversité. Nous en concluons :

- Un manque de schémas hydrauliques « types » sauf pour les installations où il n'y a pas de chaudières de relèves. Dans ces cas particuliers, le schéma est proposé par le fabricant de la chaudière bois.
- Pour toutes les autres installations, c'est-à-dire avec une ou deux chaudières de relève, que les concepteurs créent pour chaque site un schéma hydraulique particulier, s'adaptant au mieux à l'existant mais pas forcément adapté au fonctionnement optimal de la chaudière bois ou de la chaufferie collective en général. Les contraintes d'investissement peuvent peser également sur certains choix techniques, par exemple décision ou pas d'opter pour un ballon tampon de taille réduite ou suffisante.

Il apparaît assez clairement que la régulation pour la cascade des chaudières (relève de la CHB si panne ou arrêt techniques ou si demande de puissance additionnelle), l'hydro-accumulation thermique, le schéma hydraulique et/ou les conditions d'exploitation sont des points sous-estimés en étude de faisabilité, puis par la suite mal appréhendés en phase de conception.

2.3. Bonnes pratiques de conception

Dans la majorité des cas (56%), la production ECS décentralisée permet de couper le réseau de chaleur hors période de chauffage, et donc éliminer les pertes réseaux pendant cette période. Il s'agit en général d'un ballon mixte échangeur/résistance électrique ou bien d'un préparateur gaz autonome. En période de non-chauffage, les pertes réseau peuvent représenter plusieurs fois la consommation d'énergie strictement nécessaire aux besoins ECS.

Sur certaines installations, des moyens ont été mis en place pour limiter les pertes énergétiques, notamment dans le cas des réseaux de chaleur :

- présence de vannes 3 voies sur loi d'eau en chaufferie pour diminuer la température du réseau de chaleur (20% des sites), et
- décentralisation des productions d'ECS pour couper le réseau de chaleur en été.

Concernant l'alimentation de la chaudière, les orifices en pied de vis pour évacuer les fines ont été mis en place par certains fabricants pour palier à la non adéquation entre la pente de la vis de convoyage et le combustible : vis très inclinée (45°/H) et taux important de fines dans le combustible. Cela permet d'éviter les bourrages dans les vis de transferts. Certains chauffeurs ont également créés ces orifices eux-mêmes avec l'accord du fabricant. Il faut veiller à ce que les fines récoltées soient collectées pour éviter les poussières (nuisibles au refroidissement des moteurs électriques par exemple). Les orifices de pied de vis restent une « astuce de dernier recours » dans un accès confiné et sans accès.

3. Mise en œuvre

Globalement, la qualité de mise en œuvre (qualité d'exécution des ouvrages) est plutôt bonne.

Les principaux problèmes rencontrés sont liés à l'étanchéité du silo (23% des sites) ou son ouverture qui reste difficile. Il faut également citer les difficultés de suivi des performances, soit parce que la lecture des compteurs est difficile (ou non explicitée), ou parce que la GTC n'est pas fonctionnelle.

A noter : les problèmes d'étanchéité à l'eau de pluie/eau d'infiltration des silos peuvent relever de la conception. Les problèmes liés à l'eau de pluie sont, en général, résolus par des améliorations sur site. Les problèmes d'infiltration d'eau dans le silo ont été plus difficiles à résoudre et les solutions ne sont pas forcément pérennes (par exemple un caniveau de ruissellement en fond de silo protégé par plaques métalliques, peinture intérieure des silos, etc.).

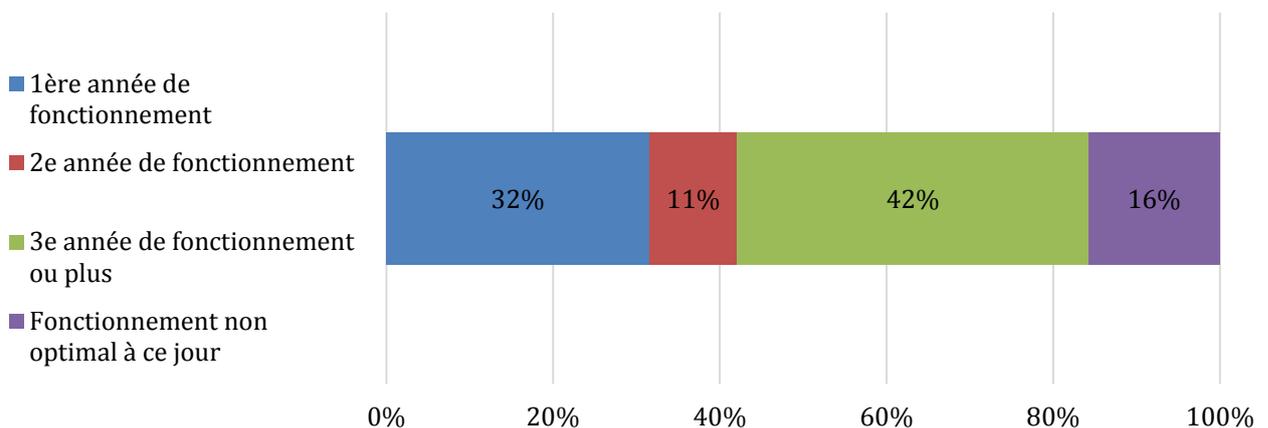
4. Réception et mise au point

Les réceptions des installations ne suivent généralement pas les règles de bonnes pratiques. Il n'y a pas, à notre connaissance et sur l'échantillon étudié, de résultats de tests de fonctionnement et/ou d'essais des chaudières bois.

Les réceptions semblent être de type statique : c'est-à-dire essentiellement des contrôles visuels concernant la fourniture des matériels (conformément au marché signé) et la qualité de mise en œuvre des équipements. Un site fait exception, avec un process de réception bien conduit grâce à l'exigence et la compétence de l'équipe technique du maître d'ouvrage (méthode typique dénommée « marche à blanc des installations » pour les sites techniques complexes).

La qualité des réceptions reste naturellement liée à la taille des projets, les plus importants engageant davantage de moyens et de contrôles.

Le temps minimum de mise au point technique nécessaire au fonctionnement correct des CHB, résultant de notre analyse, est au minimum d'une année de fonctionnement (pour 32% des sites, cf. schéma suivant), mais dans la plupart des cas, cette période de mise au point technique dépasse les 3 ans (jusqu'à 7 ans pour certaines). On entend par mise au point technique, une étape au-delà de laquelle, il n'y a plus de pannes fréquentes (bourrages, casses de vis de convoyage souvent liées à la qualité du combustible, etc.) et lorsque la CHB permet d'atteindre un taux satisfaisant de couverture des consommations énergétiques.



Temps moyen nécessaire constaté sur les audits pour obtenir un fonctionnement optimal de la chaufferie

Cette période correspond le plus souvent au temps d'apprentissage du chauffeur. Ce temps lui est nécessaire pour résoudre les problèmes techniques récurrents liés à la méconnaissance de la qualité du bois nécessaire, à la non-maitrise des paramètres de régulation de la CHB et de l'appoint et aux problèmes divers (infiltration d'eau dans le silo par les parois ou par la couverture, poussières en chaufferie, volume ou absence de ballons tampons ou hydro-accumulateurs, etc.).

Les mises au point pour le bon fonctionnement des CHB sont donc chronophages et coûteuses sur le plan énergétique (durant cette période, les consommations d'appoint sont plus importantes, liées aux arrêts de la CHB ou aux enclenchements précoces de l'appoint).

Le tout est supporté par le maître d'ouvrage et leurs chauffeurs, qui nous ont indiqué qu'ils se sentaient seuls, avec comme roue de secours, le SAV téléphonique du fabricant de la CHB. Pour les maîtres d'ouvrage, l'installateur et le BET se sont dégagés trop rapidement de leurs responsabilités.

5. Exploitation

5.1. Généralités

Qualité du bois : Sans surprise, les audits ont fait apparaître que la qualité du bois est essentielle pour un bon fonctionnement d'une chaufferie bois, en particulier lorsque le convoyage du bois vers la CHB est effectué via des vis sans fin. Un combustible homogène permet un meilleur rendement de la CHB, les réglages dépendant de la qualité du bois (notamment de son taux humidité).

La qualité du combustible ne pose pas ou peu de problèmes, dans les cas suivants :

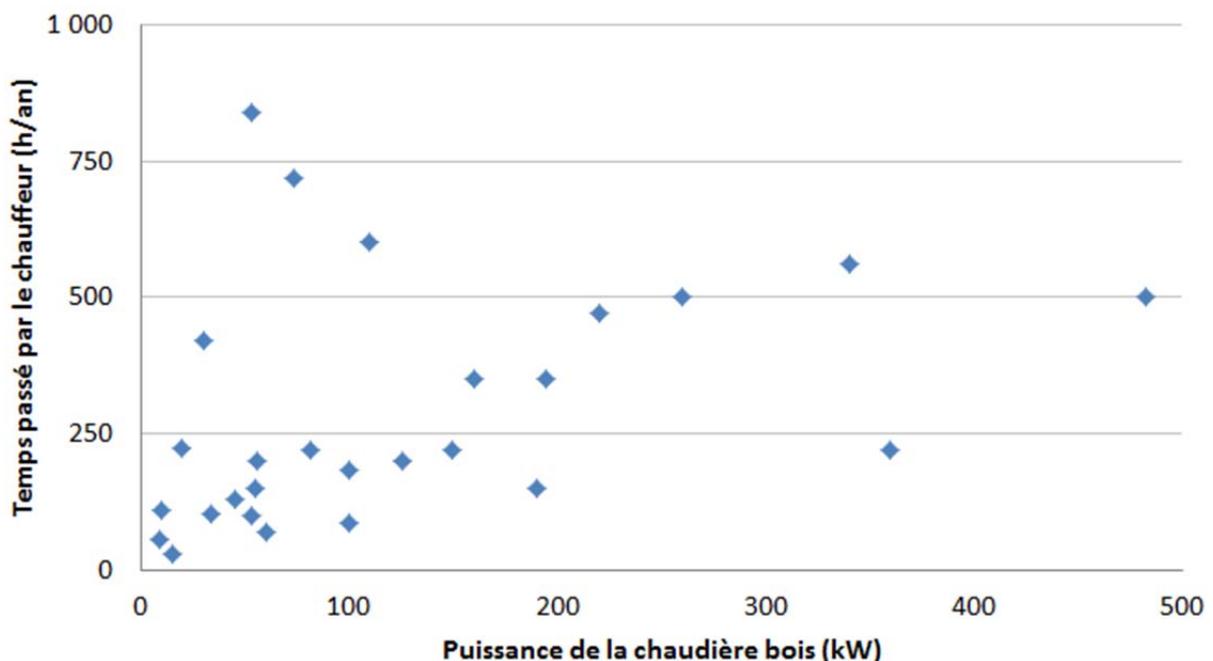
- Granulés (13% des sites audités)
- Chaufferies avec extracteurs de silo avec racleurs (28 % des sites)
- Chaudières de forte puissance (> 1MW environ).

Analyse fonctionnelle : L'analyse fonctionnelle des chaufferies bois, avec ou sans appoint, est très rarement connue ou alors n'est pas connue avec précision. Il n'y a que très peu de traces des logiques de fonctionnement. Les réglages courants et initiaux (à la mise en service) sont inconnus, non archivés. Il manque un document rédigé qui définit, d'une part, les logiques et conditions de fonctionnement, et d'autre part, les paramètres fixes et variables de la CHB et des chaudières d'appoint (de relève). Il s'en suit des modifications de réglages, justifiées ou non, sans connaissance précise des conséquences sur les équipements et les performances.

Les problèmes techniques sur les CHB n'ont pas été réglés correctement si l'ensemble des acteurs ne se sont pas retrouvés ensemble autour de la table avec chacun leurs responsabilités et compétences respectives.

Le fonctionnement correct d'une chaufferie bois, dans tous les cas de figure, nécessite un chauffeur motivé, bien formé, disponible et appuyé par le maître d'ouvrage.

Temps passé en chaufferie : entre 50 et 500 h/an pour les CHB comprises entre 30 kW et 840 kW, puis entre 500 et 1 700 h/an pour les CHB comprises entre 1 200 kW et 3 300 kW. Ces valeurs sont issues des interviews des chauffeurs, indiquant le temps approximatif passé pour chaque opération (visite de contrôle, livraisons de bois, vidage du cendrier, nettoyage CHB, etc.). Leur précision est donc relative et les résultats ne permettent pas de conclure sur des ratios indicatifs, comme le démontre le graphique ci-dessous pour les chaufferies de puissance inférieure à 500 kW.



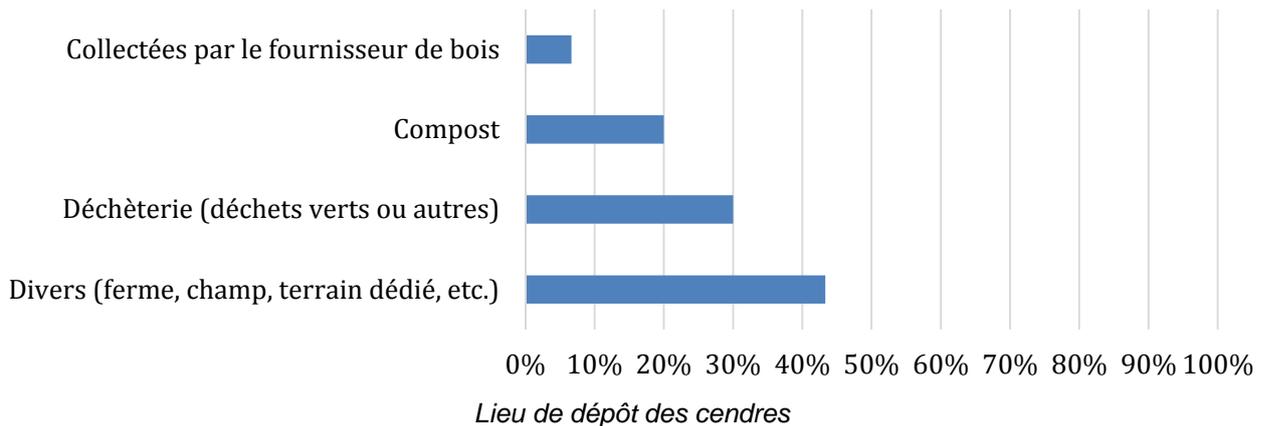
Evaluation du temps passé en chaufferie par les conducteurs

5.2. Formations à la conduite d'une chaufferie bois

37 % des chauffeurs ont assisté à la formation mise en place par Atlanbois. Seulement 33 % ont bénéficié d'une formation fabricant qui, pour la majorité, n'excédait pas une demi-journée. Aucun n'a bénéficié de ces deux formations à la fois. Les chauffeurs sont unanimes : la durée de formation par le fabricant sur site n'est pas suffisante pour maîtriser l'ensemble de la chaudière et pour connaître les paramètres à modifier, en cas de variation de la qualité du bois par exemple.

5.3. Gestion des produits de combustion / cendres

Le graphe ci-dessous présente le lieu de dépôt des cendres. Celui-ci varie en fonction de chaque chaufferie. Pour la majorité des chaufferies, les cendres sont déposées en déchèterie ou utilisées dans le compost de la commune.



5.4. Pathologies récurrentes

Les 2/3 des sites ont connu des problèmes de qualité du combustible, en inadéquation avec la chaudière, résolus ou en cours de résolution.

Environ 20 % des sites audités n'ont pas mis en place de cahier de chaufferie. Pour ceux qui en possèdent un, l'ensemble des informations importantes liées à la conduite/maintenance de la chaufferie ne sont pas toujours indiquées (date des pannes importantes, modifications des réglages, etc.).

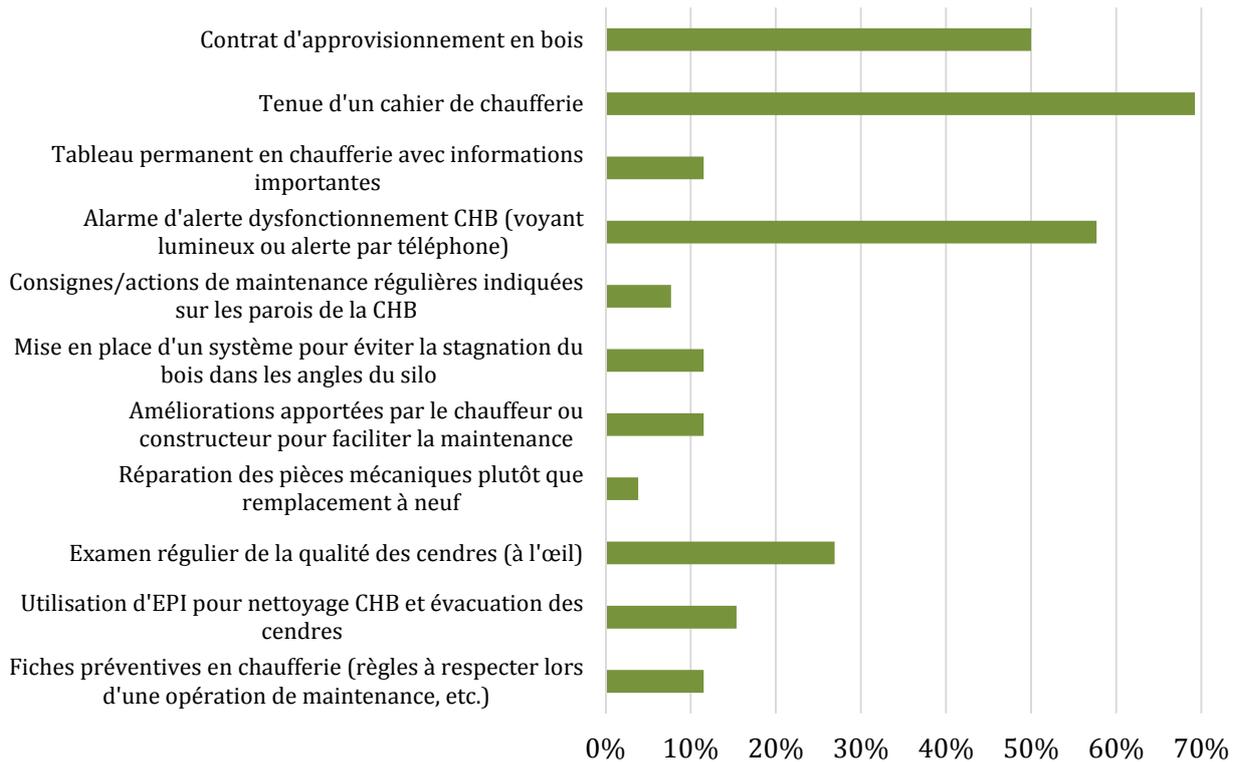
Les problèmes liés à la qualité du bois se traduisent par des arrêts fréquents et courts (bourrages, etc.), voire des casses de vis sans fin (arrêts plus longs, quelques jours à minima).

Parmi les autres pathologies à citer, nettement moins importantes, certains problèmes sont liés à une méconnaissance des réglages de la chaudière ou à la variation de qualité du combustible (ex : imbrûlés ou cendres incandescentes dans le cendrier) et peuvent conduire à des accidents (risque d'explosion si chaudières gaz à proximité).

Les fuites dans le réseau de chauffage/réseau de chaleur concernent environ 10 % des chaufferies. Des relevés réguliers du compteur d'eau de remplissage du réseau permettent de les détecter et d'y remédier rapidement.

5.5. Bonnes pratiques d'exploitation

Les bonnes pratiques d'exploitation sont diverses, les plus importantes sont présentées dans le graphe ci-dessous. La plupart sont étroitement liées aux chauffeurs : leur motivation et leurs compétences leur permettent d'améliorer la conduite et le suivi de leur chaufferie.



Bonnes pratiques d'exploitation relevées parmi les sites audités (en % des sites audités)

50% des sites ont un contrat d'approvisionnement en bois, d'une durée moyenne d'une année.

Par ce contrat, le fournisseur s'engage à livrer un combustible correspondant à ce qui est accepté par la chaudière. Le chauffeur peut ainsi refuser facilement une livraison lorsque le combustible n'est pas conforme à ce qui est indiqué dans le contrat.

Dans un des cas, le contrat d'exploitation spécifie des pénalités si le taux d'humidité est trop élevé. La mesure de l'humidité du combustible (quels que soient les moyens) à la livraison est une bonne pratique. Elle permet de vérifier si le combustible répond aux exigences du contrat d'approvisionnement et de déterminer son contenu énergétique. L'évaluation des performances de la chaudière et l'ensemble de l'installation sera ainsi facilitée.

L'achat du combustible à l'énergie (MWh) plutôt qu'au poids livré peut être pertinent, lorsque c'est possible, mais sous certaines conditions. En effet, ce type de contrat nécessite une mesure du taux d'humidité et sa conversion en kWh PCI à chaque livraison. Le fournisseur et l'acheteur doivent nécessairement se mettre d'accord sur la méthode d'échantillonnage et de mesure (ex. test au four à micro-ondes). Il faut également que la CHB accepte une assez grande variation d'humidité et des essences variables. Pour ces raisons, l'achat « au MWh livrés » est pratiqué plutôt sur les sites de forte puissance ($P_{CHB} > 1$ MW).

L'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI), pour le ramonage de la CHB et l'évacuation des cendres, notamment le port d'un masque filtrant, est fondamentale car les cendres sont volatiles et il est nécessaire d'éviter leur inhalation. Les chauffeurs à en être équipés à ce jour sont trop peu nombreux.

6. Synthèse des bilans énergétiques

Seulement la moitié (47%) des chaufferies sont équipées de compteurs d'énergie permettant de définir et de suivre l'énergie utile sortie chaudière bois (E_{ubois}), et un tiers (35%) d'entre eux sont non fonctionnels ou non relevés (ex : sonde de température manquante).

Les compteurs d'énergie, lorsqu'ils sont présents et fonctionnels, sont sous-utilisés (ex : aucun chauffeur n'avait exploité les compteurs pour évaluer le rendement des chaudières, ou connaître le débit de la chaudière, etc.). Ils sont rarement utilisés à leur potentiel maximum, malgré le fait qu'ils donnent, pour la plupart, les données suivantes : puissance instantanée et maximum, débit instantané et maximum et l'historique des bilans énergétiques mensuels (en général les 12 derniers mois). Pourtant, à l'aide des seules informations collectées sur sites (factures d'énergie bois et gaz/fuel, bons de livraisons) et relevées en chaufferie (compteurs d'énergie, compteur électrique, gaz, etc.), il a été possible de dresser l'ensemble des bilans présentés dans ce rapport.

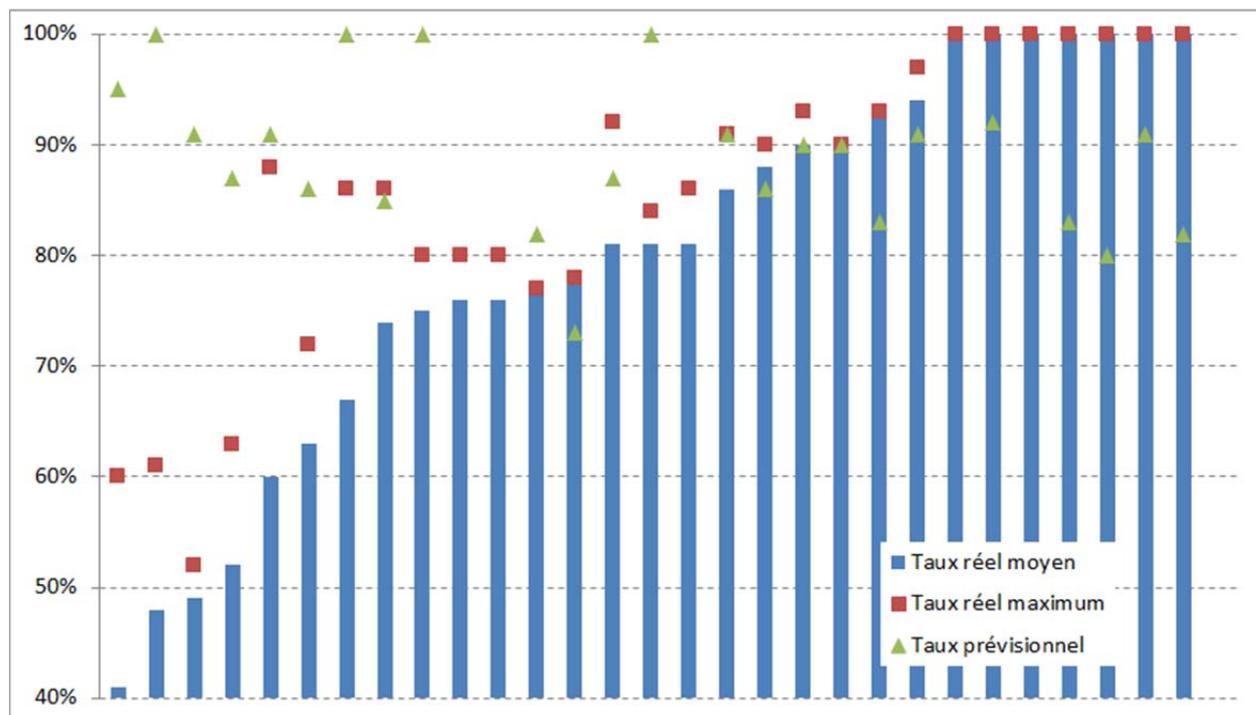
6.1. Taux de couverture des consommations énergétiques par le bois

Il s'agit ici de comparer les taux de couverture des consommations d'énergie prévus en étude d'opportunité ou de faisabilité avec la réalité. Ce ratio est défini ci-après :

Définitions :

<i>Taux de couverture moyen annuel des consommations d'énergie</i>	Energie bois / (Energie Bois + Energie Appoint)
<i>Prévu</i>	Selon étude de faisabilité, étude d'opportunité
<i>Réel</i>	Mesuré sur la plus longue période possible ayant des données exploitables (en général au moins deux ans, sauf 1 site sur 1 an) et jusqu'à 6 ans.

Ce ratio est le seul calculable en pratique, car il est basé sur les consommations énergétiques (factures des bons de livraison, factures énergétiques à l'appui).



Analyse des taux de couverture des consommations énergétiques par le bois : comparaison des valeurs prévisionnelles et réelles (moyennes et maximales). Note : les indicateurs ne sont pas tous connus sur l'ensemble des sites.

Les audits montrent que les chaufferies bois, dans la plupart des cas, respectent les prévisions des études de faisabilité sur les taux de couverture des consommations énergétiques. Les taux de couverture de 100% correspondent aux sites n'ayant pas de chaudière d'appoint installée.

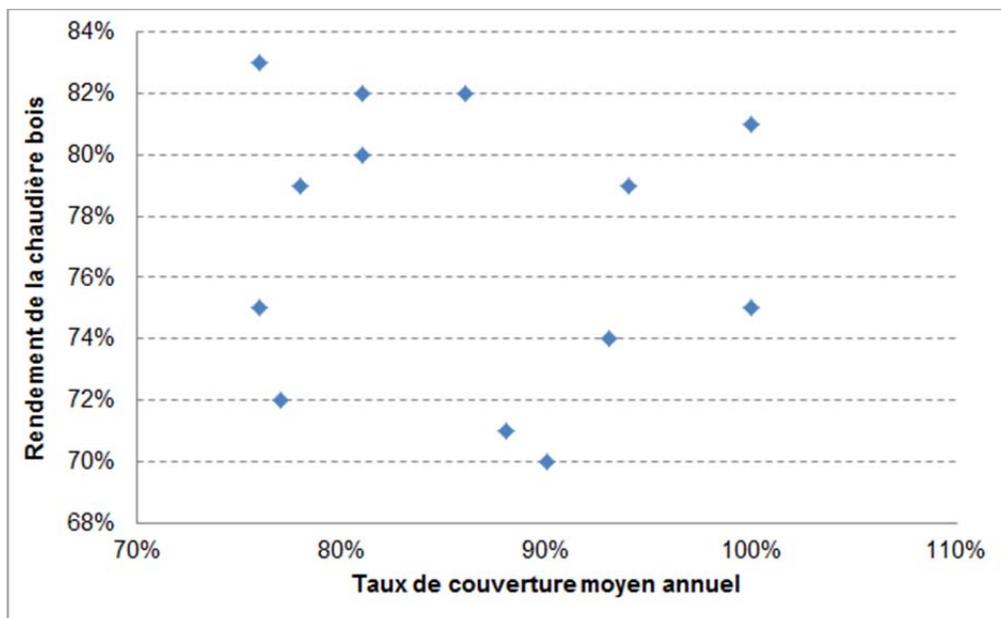
Le taux de couverture moyen a été calculé sur plusieurs années pour avoir un aperçu du fonctionnement des installations sur une période assez grande. Cependant, on observe parfois des variations notables entre les différentes années étudiées. Le graphique précédent illustre les écarts entre les meilleures années (*taux réel maximum*) et la moyenne sur plusieurs années par site (*taux réel moyen*). Les écarts observés peuvent être dus à plusieurs raisons : pannes ou incidents sur l'installation, délais de réparation, changement de qualité de combustible, conditions d'exploitation des installations, compétences du chauffeur, etc. Globalement, hors problèmes techniques, il a été remarqué une amélioration du taux de couverture des consommations au fil des années d'exploitation et d'appropriation de l'installation par le chauffeur.

A noter : le taux de couverture des besoins énergétiques n'est pas présenté, car les besoins ne sont que très rarement mesurables. En effet, les besoins énergétiques représentent l'énergie strictement nécessaire à chauffer un bâtiment, sans tenir compte du rendement de génération, de distribution et de régulation (pertes dans les fumées, pertes thermiques en chaufferie, panoplies hydrauliques, pertes thermiques dans le réseau de chaleur, etc.). Nous pouvons estimer la valeur des besoins énergétiques s'il y a présence de compteurs d'énergie immédiatement à l'entrée des bâtiments à chauffer. Ce cas de figure n'a pas été rencontré au cours des audits.

6.2. Rendement énergétique des chaudières bois

Le graphique suivant permet de comparer le rendement moyen annuel des chaudières bois auditées au taux de couverture moyen annuel.

Le rendement a pu être calculé uniquement pour les chaudières équipées d'un comptage fonctionnel, ce qui représente la moitié seulement des sites. Il s'agit du rapport entre l'énergie utile fournie par la chaudière (E_{ubois}), mesurée « sortie chaudière », sur l'énergie entrante dans la chaudière (déterminée par la quantité de bois consommée et son pouvoir calorifique, lui-même fonction du taux d'humidité). Ce calcul est une moyenne, mesurée sur une ou plusieurs années selon les données disponibles sur site.



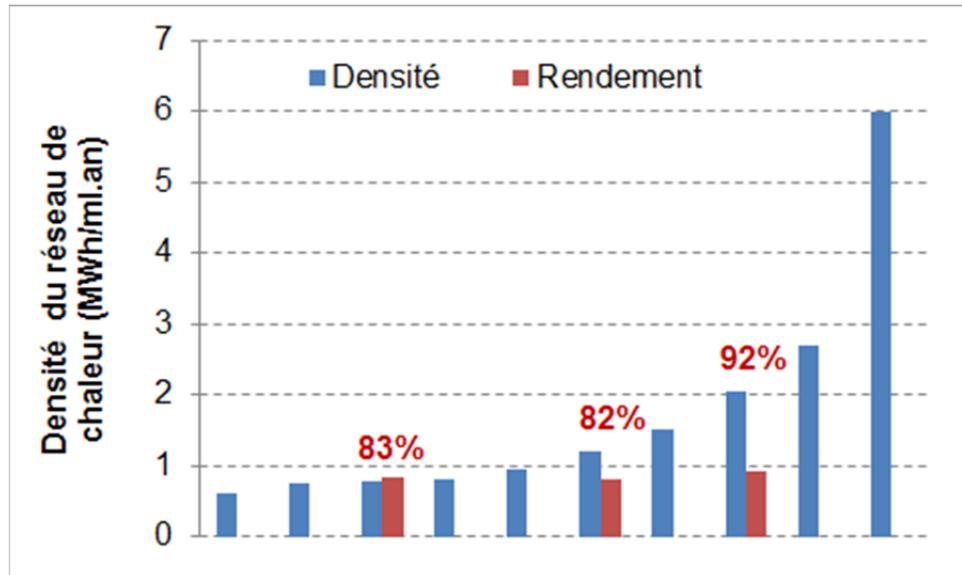
*Rendement moyen des chaudières bois auditées,
En fonction du taux de couverture des consommations énergétiques*

Le rendement moyen annuel est compris entre 70 et 83%. Ces valeurs de rendement sont plus faibles que celles utilisées habituellement dans les études de faisabilité, et indépendamment de la puissance ou du taux de couverture (indicateur de bon fonctionnement de la chaufferie).

6.3. Performances des réseaux de chaleur

La densité thermique des réseaux de chaleur n'a pu être déterminée que pour 63 % d'entre eux (soit 10 sites) en raison des compteurs manquants ou non fonctionnels. Parmi ces sites, 6 ont une densité thermique inférieure à 1,5 MWh/ml.an, valeur cible donnée par l'ADEME pour limiter les pertes thermiques et raisonner les projets. La plus forte densité relevée est de 6 MWh/ml.an.

Le rendement des réseaux de chaleur n'a pu être déterminé que pour 3 d'entre eux, avec des valeurs comprises entre 82 et 92%.



Evaluation du rendement et de la densité énergétique des réseaux de chaleur audités

6.4. Synthèse des bonnes pratiques

Les bonnes pratiques à relever concernent le comptage et son exploitation :

- 30% des sites relèvent le compteur d'énergie E_{bois} a minima 1 fois/mois. Il est à noter que ce comptage est obligatoire dans le cas d'attribution d'une aide financière de l'ADEME,
- 40% (seulement) des sites effectuent un suivi annuel des consommations de bois et d'énergie d'appoint. Pourtant le relevé des compteurs et leur exploitation permet un meilleur suivi et une optimisation du fonctionnement des installations.

7. Synthèse des bilans économiques

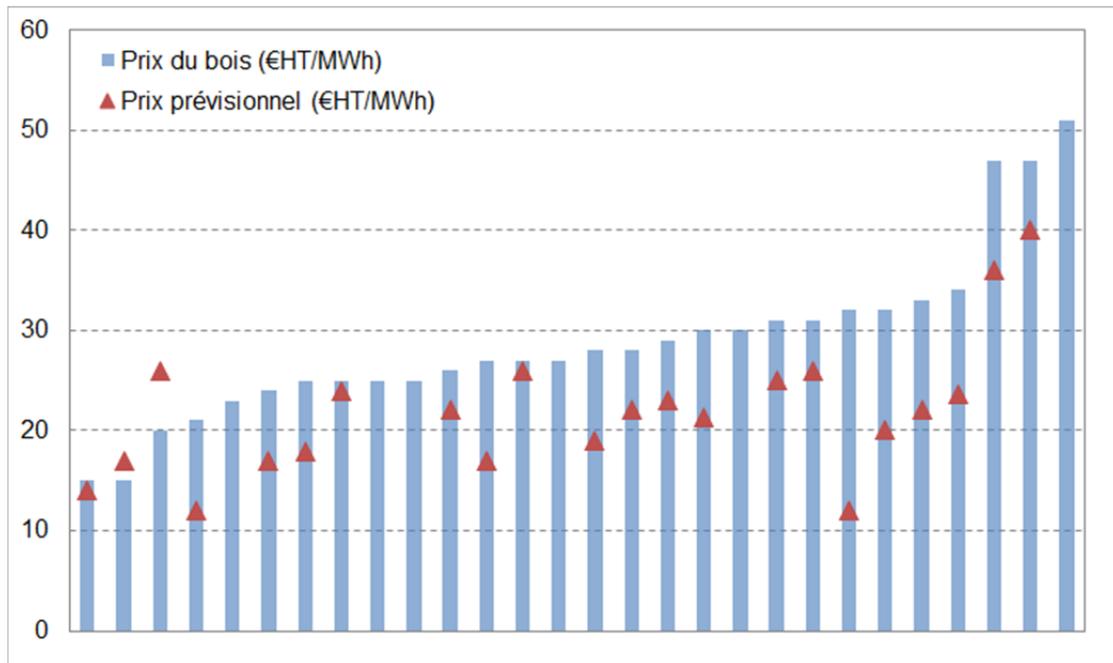
Les aspects économiques sont importants dans l'exploitation d'une chaufferie bois. En effet, les économies financières potentiellement réalisables sont l'une des motivations principales pour les maîtres d'ouvrages, ayant décidé d'investir dans un tel projet.

7.1. Coûts de l'énergie bois

Sur l'ensemble des sites, 4 utilisent des granulés, combustible plus cher au poids car de densité énergétique plus importante. Les 26 autres utilisent des plaquettes de bois, pour un prix variant entre 50 et 115 €/HT/tonne. Le bois est le moins cher pour les sites qui utilisent, en totalité ou en partie, du bois de leur commune ou des communes alentours, dans l'intention de développer une filière d'approvisionnement de proximité.

Le prix moyen prévisionnel, présenté lors des études préalables, était de 81€/HT/tonne, tous sites confondus. Le prix réel, constaté sur les hivers 2015 et 2016, est quant à lui de 110 €/HT/tonne. Ramené au contenu énergétique, seule valeur permettant de réellement comparer les combustibles entre eux, le prix moyen prévisionnel était de 24 €/HT/MWh, tous sites confondus. Le prix constaté est de 29€/HT/MWh. Ceci s'explique par le décalage dans le temps entre l'étude de faisabilité et la réalisation de l'opération, couplée à l'augmentation du prix du bois au cours des années passées.

Le prix moyen de l'énergie d'appoint s'élève quant à lui à 62€HT/MWh, et varie selon les sites entre 37 et 116€HT/MWh.



Prix moyen du combustible bois et comparaison au prévisionnel

7.2. Coûts d'investissement des opérations

Ces coûts comprennent l'ensemble des postes suivants :

- Equipements (Chaudières bois, convoyage bois, circuit hydraulique / raccordement aux installations existantes, fumisterie, y compris traitement des fumées, comptage)
- Génie civil (silo, etc.)
- Réseau de chaleur (le cas échéant)
- Sous-station
- Maitrise d'œuvre

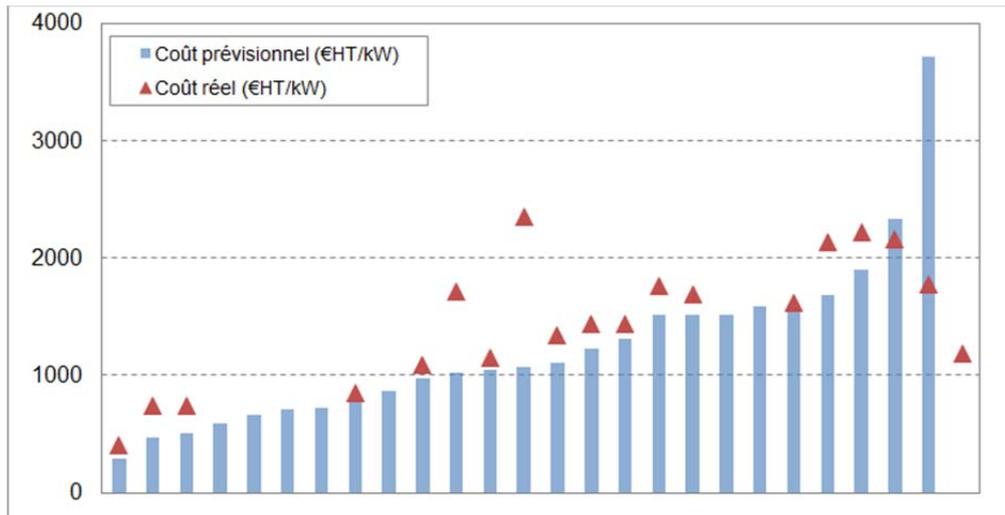
Etant donné la diversité des sites et de leurs caractéristiques, les chiffres et indicateurs présentés ne peuvent pas donner lieu à des généralités extrapolables à tout type de projet.

La description des investissements n'est pas toujours une donnée archivée et récupérable. L'investissement initial spécifique à la construction de la chaufferie bois et du réseau de chaleur, ainsi que les aides financières associées, ne sont pas connus pour environ 40 % des sites audités.

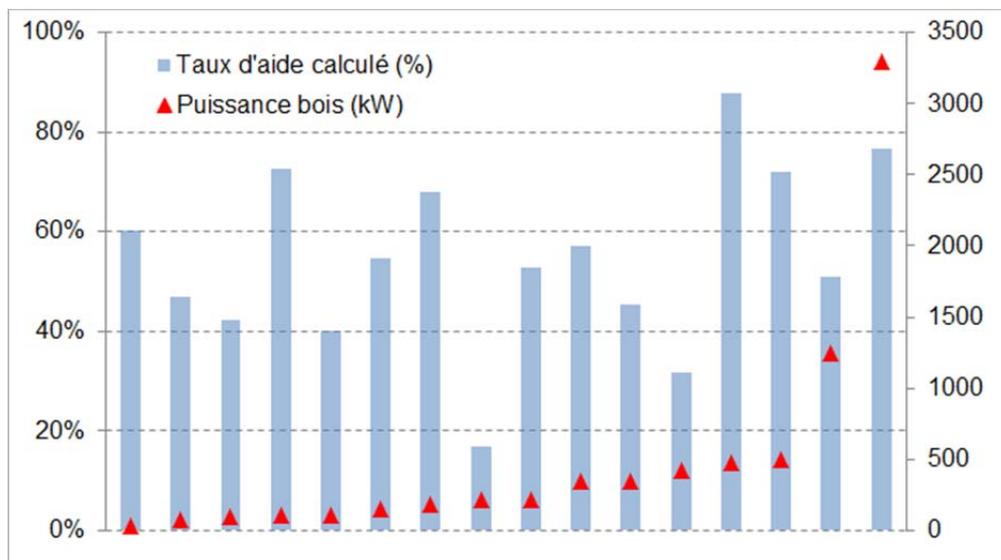
L'investissement moyen prévisionnel était de 1 225€/HT/kW (puissance de la chaudière bois installée), tous sites confondus. Le prix réel est légèrement supérieur avec 1 458€/HT/kW. La répartition de cet indicateur en fonction de la puissance bois installée ne donne pas de relation directe, mais un effet d'échelle est perceptible car les coûts moyens sont plus bas pour les grosses chaufferies (> 1 MW), de l'ordre de 700 €/HT/kW. Mais étant donné le faible échantillon sur cette étude, nous ne pouvons en conclure davantage.

Les aides financières représentent environ 47% des montants des investissements. Les subventions sont d'origines et de modalités diverses, parfois cumulées, et varient fortement selon le type de projet et sa date de réalisation. C'est pourquoi il n'y a pas de lien direct entre la taille, la typologie et l'ancienneté du projet avec son niveau d'aide publique.

Attention : le taux d'aide présenté peut, en fonction des données recueillies, ne pas s'appliquer sur le même périmètre des dépenses. Il convient donc de ne pas prendre ces taux comme des taux officiels et définitifs, mais comme des indicateurs.



Coûts des équipements, prévisionnels et constatés (€/kWh installé)



Taux de subventions calculés en fonction de la taille du projet

7.3. Rentabilité des installations

La rentabilité des projets peut être déterminée à partir des économies financières annuelles réalisées entre la solution bois (+ appoint), et la solution dite « de référence », qui serait installée si le projet de chaufferie bois n'avait pas été réalisée. Ce calcul peut être réalisé également en utilisant le coût global de la chaleur produite, incluant donc l'énergie et l'ensemble des charges, comparé à un coût « de référence ».

Sur cette étude, cette analyse n'a malheureusement pas pu être menée pour les raisons suivantes :

- L'investissement initial (et les aides financières associées) spécifique à la construction de la chaufferie bois (et du réseau de chaleur le cas échéant) ne sont pas connus pour environ un tiers des sites ;
- Concernant les charges de maintenance/exploitation, le temps passé par le chauffeur reste approximatif, tout comme son coût horaire. De plus, il est difficile d'estimer la différence de temps passé par le chauffeur entre la chaufferie existante et celle qui serait au gaz ou au fioul (pour la référence) ;
- Il est complexe d'effectuer une moyenne annuelle des dépannages/réparations alors que certaines chaufferies n'ont que 2 ou 3 ans, donc les pièces d'usures n'ont normalement pas été remplacées. Ici également, il est compliqué d'évaluer le surcoût des dépannages/réparations par rapport à une chaufferie gaz ou fioul.

IV. Synthèse des recommandations pour de futurs projets

En préliminaire, il ne faut pas perdre de vue que les audits conduits concernent des installations qui ont entre 2 et 13 ans (en moyenne : 7 ans) et que l'on est en droit d'espérer des résultats encore meilleurs sur des installations plus récentes, grâce à la montée en compétence des acteurs (Bureaux d'études, fournisseurs de combustibles, etc.). Les bureaux d'études ont une compétence croissante dans la réalisation d'études de faisabilité, dans la conception et la maîtrise d'œuvre des ouvrages avec chaufferie bois grâce à leurs retours d'expérience sur un nombre croissant de références, ou par leur spécialisation sur ce domaine qui conduit à des qualifications spécifiques et donc des niveaux d'expertise supplémentaires réclamés par les pouvoirs publics (type RGE pour « Reconnu Garant de l'Environnement »). Les fournisseurs apprennent également avec leurs clients à mettre en place les outils et bonnes pratiques pour répondre aux exigences de qualité et de quantité de leurs combustibles.

La conduite des 30 audits et leur synthèse nous permettent de proposer un certain nombre de recommandations visant à améliorer davantage la connaissance et la performance globale des chaufferies bois (conception, mise en œuvre et exploitation). Ces recommandations découlent largement des opinions exprimées par les chauffeurs et maîtres d'ouvrages interviewés pendant les audits, des relevés et analyses effectués et bien entendu de l'expérience des auteurs de ce rapport.

1. Etudes de faisabilité

Il semble nécessaire d'affiner le **cahier des charges** existant pour les études de faisabilité, notamment afin de mieux justifier et argumenter les hypothèses et conclusions techniques et financières (ex : besoins énergétiques basés sur factures ou comptages, rendements de production moyens annuels ou mensuels si fonctionnement estival, détermination des appels de puissance par l'élaboration d'une monotone, matériels, estimation le plus précis possible du P2 et P3, etc. Cette recommandation met en avant les cahiers des charges déjà disponibles dans la littérature.

Il semblerait utile que les principes des **schémas hydrauliques** à retenir (avec ou sans hydroaccumulation, etc.) soient proposés dès le stade de l'étude de faisabilité, avec une base **d'analyse fonctionnelle** (principe de la logique de fonctionnement : arrêt de la CHB en été, arrêt du réseau de chaleur sous quelles conditions, mode d'enclenchement des chaudières de relève). Ceci afin de mieux apprécier la réelle faisabilité technique, la fonctionnalité des installations et par voie de conséquence, leur pertinence technique et économique.

Les schémas hydrauliques des chaufferies bois auditées sont tous différents. Même si certains aspects sont propres aux différents chaudiéristes, il s'avère que les schémas hydrauliques sont à l'image de la créativité et de l'expérience du concepteur, ainsi que des contraintes techniques spécifiques à chaque projet (projet neuf, réhabilitation de chaufferie, etc.). Il n'y a pas de consensus apparent sur la configuration, sauf pour la vanne 3 Voies sur le retour chaudière (le fabricant l'imposant). La filière bois pourrait éventuellement s'inspirer de la filière solaire thermique qui a développé moins de 10 schémas hydrauliques solaires types (simples et éprouvés), qui permettent, notamment à l'ADEME, de valider ou non des aides financières aux investissements.

2. Conception et Mise en œuvre

Les règles de l'art existent déjà avec des préconisations du CIBE, de l'ADEME, etc. Il ne s'agit pas ici de rédiger un CCTP pour réussir une chaufferie bois (installation et exploitation), mais de mettre en exergue quelques points importants mis en évidence durant ces audits :

- Il est nécessaire de **raisonner le dimensionnement de la chaudière bois « au plus juste »**, car la tendance est à la réduction des consommations des bâtiments (avec les réglementations thermiques de plus en plus contraignantes et les efforts des collectivités pour économiser l'énergie), plutôt que le contraire. Le surdimensionnement conduit les chaudières à fonctionner en sous-capacité et avec de mauvais rendements ;
- En phase de conception, il est nécessaire **d'établir un programme** avec validation des puissances des chaudières proposées, du schéma hydraulique, de l'analyse fonctionnelle de la chaufferie, etc. Une **Assistance à Maîtrise d'Ouvrage** spécialisée peut être très pertinente (pour éviter notamment les surdimensionnements que la maîtrise d'œuvre pourrait prescrire) ;

- **Concernant les silos** : l'ouverture doit être facilitée pour réduire la pénibilité (galet ou roue sur rail, et non dans rail) et pour réduire le risque de chutes (préférer les silos à ouverture latérales, plutôt que de bas en haut par exemple) ;
- Il faut mettre en place des silos carrossables (très onéreux) seulement si c'est vraiment nécessaire (passage obligé et inévitable de véhicules). A noter qu'il existe un guide de référence pour la conception et l'utilisation des silos² ;
- Enfin, il convient d'améliorer des systèmes d'extraction de combustible des silos (questions de fiabilité) : racleurs versus vis + désileur rotatif ;
- **Éviter dans la mesure du possible les chaufferies en sous-sol** : entre autres, ceci rend problématique l'évacuation des cendres. Il faut par ailleurs optimiser les systèmes de stockage (cendrier) et d'évacuation de ces cendres ;
- Optimiser, de manière générale, les **accès pour les opérations de maintenance** ;
- Proposer des **interfaces claires et fonctionnelles** dans la régulation de la chaufferie pour faciliter leur lecture par les chauffeurs. Un chauffeur est perdu devant un automate sans écran d'affichage, même s'il a été formé ;
- **Généraliser les reports d'alarme** pour prévenir d'un défaut de la chaudière bois ;
- **Systématiser voire imposer la pose et l'exploitation des compteurs énergie** Eu_{bois} avec intégrateur et affichage, même en dehors des projets subventionnés pour lesquels cela est déjà obligatoire ;
- **Prévoir dans le CCTP la formation des chauffeurs par le fabricant** des chaudières préconisées.

3. Réception des installations

La qualité des réceptions des installations doit être nettement renforcée en décomposant la réception en au moins deux étapes :

1. **Réception statique** par la maîtrise d'œuvre (contrôle visuel de conformité et respect du cahier des charges techniques, rédaction de la première version de l'analyse fonctionnelle de l'ensemble de la chaufferie) → transfert de propriété avec PV de réception précis (avec réserve sur le bon fonctionnement et réserves éventuelles avec délai d'exécution) signés en présence de l'ensemble des acteurs (une réception doit être prononcée contradictoirement) ;
2. **Réception dynamique** par la maîtrise d'œuvre (avec levée des réserves, notamment sur le contrôle du bon fonctionnement) avec :
 - **Contrôle des performances énergétiques** (avec consignation des valeurs de consigne, débits, etc.) pendant la première année de fonctionnement, ou *a minima* la saison de chauffe (contrôle mensuel avec relevé des compteurs) ;
 - **Formation initiale** (au moins 2 jours complets) du personnel (chauffeur(s)) par le fabricant de la chaudière bois (session avec preuve de formation formalisée : émargement, nb de jours, etc.) ;
 - **Réception définitive avec levée des réserves**. Pour rappel, sur les réserves notées et non levées, aucune garantie n'est accordée par l'assureur de l'entrepreneur concerné en cas de sinistres/litiges, ce qui pénalise fortement le maître d'ouvrage.

La réception des travaux est un moment fort de la vie d'une chaufferie bois, puisqu'elle met fin à la surveillance générale de l'entrepreneur sur le chantier, en transmettant l'ouvrage au maître d'ouvrage. La date de réception définitive est le point de départ des garanties : parfait achèvement d'une durée d'1 an, garantie de bon fonctionnement d'une durée de 2 ans et garantie décennale d'une durée de 10 ans.

La qualité des réceptions sera nettement améliorée par l'utilisation d'un « carnet de santé » d'une installation bois énergie, réalisé en Pays de la Loire et existant par ailleurs, qui comprendra des fiches dédiées à la réception.

La qualité des réceptions dépend du process, certes, mais aussi du contrôle que doit réaliser le maître d'ouvrage tout au long du projet (de l'étude à sa réalisation). La confiance en la maîtrise d'œuvre n'exclut pas son contrôle.

² Plus d'informations sur www.fibois.com/bois-energie.html

4. Exploitation et suivi énergétique

Les chaudières bois sont des appareils très techniques, qui demandent une conduite pointue pour en tirer tous les bénéfices, surtout lorsqu'elles sont associées à des chaudières gaz ou fuel. Pour la conduite des chaufferies, de nombreuses bonnes pratiques ont été constatées lors de ces audits :

Pour le Maître d'Ouvrage

- Contractualiser précisément l'approvisionnement en bois (conditions, qualité, prix, etc.) ;
- Permettre au(x) chauffeurs de se former. La formation « générique » sur la conduite (ex. Atlanbois) peut être suivie de rencontres organisées entre chauffeurs d'un territoire. Il faut leur accorder le temps et les moyens nécessaires à ces événements ;
- Donner aux chauffeurs les moyens et les droits de refuser une livraison ;
- Pour les petites structures, toujours prévoir un agent d'entretien chargé de s'occuper de la chaufferie et ainsi libérer de cette tâche, les directeurs d'établissements.

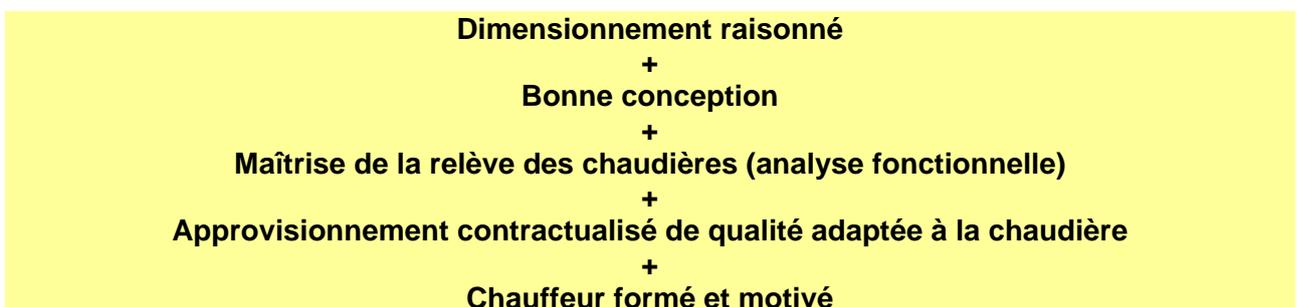
Pour le Fabricant

- Systématiser une formation technique des chauffeurs, plus longue et/ou à plusieurs reprises dans les débuts de la mise en service et sur le site de la chaufferie concernée, avec remise d'une analyse fonctionnelle ;
- Si cela n'a pas été fait en phase de réception, il faudrait sans doute intégrer dans la formation avec le fabricant, la reconnaissance de la qualité du bois (taux d'humidité, granulométrie, taux de fines) et l'adéquation de celle-ci à la chaudière. Les chauffeurs seront ainsi plus exigeants et donc à même, dès les premières livraisons, de refuser une livraison de combustible, pour éviter certains problèmes techniques (ex : bourrage, détérioration, voire casse des vis de convoyage).

Pour le Chauffeur

- Tracer/répertorier l'historique de la chaufferie, notamment pour anticiper un éventuel changement de chauffeur. La mise en place de la consignation des principaux paramètres doit être initiée (traces écrites / analyse fonctionnelle) ;
- Informer tous les chauffeurs de l'importance des relevés réguliers du compteur d'eau de remplissage du réseau primaire pour détecter les fuites (impact sur la durée de vie des CHB et du réseau de chaleur) ;
- Veiller au port du masque filtrant lors des manipulations des cendres/cendriers (impact sur la santé) ;
- Si besoin, demander une formation à l'exploitation des relevés de compteurs. En effet, posséder des instruments de mesures sans les ordres de grandeurs associés est inutile.
- Mettre en place des outils/indicateurs des valeurs de référence permettant de réagir aux lectures des compteurs. A titre d'exemple : Plage de puissance de la CHB marquée, étiquetée clairement à proximité du compteur d'énergie CHB ; Débit de pompe (lisible sur compteur d'énergie) à comparer au débit marqué sur la vanne de réglage, Affichage du taux d'oxygène dans les fumées avec valeur d'encadrement à proximité, etc.

En guise de conclusion générale, l'équation de la réussite d'exploitation serait la suivante :



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 I 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr