



ENQUÊTE

# Les réseaux de chaleur au bois

(rapport 2016 - données  
2014)

Série  
Technique

RCT 42

Décembre 2016

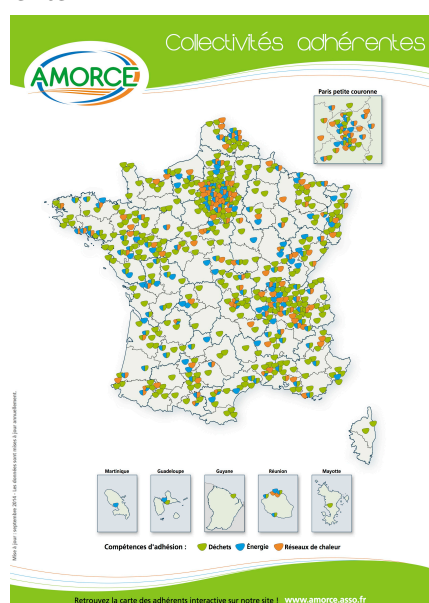


Réseaux  
de chaleur

## PRÉSENTATION D'AMORCE

Créée en 1987, AMORCE est l'association nationale des collectivités territoriales et des professionnels pour une gestion locale des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur. Au 1<sup>er</sup> janvier 2016, l'association regroupe **823 adhérents** dont plus de 550 collectivités rassemblant plus de 60 millions d'habitants, ainsi que près de 270 entreprises, fédérations professionnelles et associations.

Première association spécialisée de collectivités territoriales, toutes thématiques confondues, AMORCE est à l'origine de plusieurs mesures importantes qui ont permis d'accompagner les collectivités territoriales dans la mise en œuvre des politiques publiques environnementales sur leurs territoires. Tel fut le cas notamment du Fonds chaleur, de la TVA à taux réduit sur la chaleur renouvelable, de l'éligibilité des collectivités aux CEE (Certificat d'économie d'énergie) ou encore de l'obligation de rénovation de logements sociaux énergivores au moment de la vente.



AMORCE intervient dans **3 domaines d'actions : les déchets, l'énergie et les réseaux de chaleur** en accompagnant les collectivités territoriales dans les composantes des politiques publiques environnementales qu'elles veulent mettre en œuvre. AMORCE dispose d'une solide expertise sur :

- la technique
- l'impact sur l'environnement
- la réglementation
- l'économie (coûts, financements, fiscalité)
- les modes de gestion, les marchés
- l'organisation entre les structures et les différents niveaux de collectivités
- les politiques au niveau européen, national, territorial
- l'information, la concertation, le débat public

AMORCE constitue **un lieu unique de partage des connaissances et des expériences** entre collectivités territoriales et professionnels sur ces compétences. **Ce réseau d'élus et de techniciens** permet à chacun de disposer des informations les plus récentes et les plus pertinentes.

L'association représente également ses adhérents auprès des institutions françaises et européennes, afin de défendre leurs intérêts et leurs propositions. Nos équipes travaillent au sein des commissions à l'élaboration des réglementations environnementales de demain. Nos propositions sont très souvent reprises par les parlementaires.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement tous les élus, les techniciens et les gestionnaires de réseaux qui ont pris le temps de répondre à la présente enquête et ainsi de contribuer à ce travail.

## RÉALISATION ET RÉDACTION DE L'ENQUÊTE

Olivier GAMARD, AMORCE

**Relecture** : David LEICHER, Jessica RACITI, AMORCE



# SOMMAIRE

---

PRÉAMBULE .....	1
1. MÉTHODOLOGIE SUIVIE POUR LA RÉALISATION DE L'ENQUÊTE.....	2
1.1. Périmètre de l'enquête .....	2
1.2. Déroulement de l'enquête.....	2
1.3. Tableau récapitulatif des principales données de l'enquête .....	3
1.4. Informations de compréhension du rapport.....	3
2. ETAT DES LIEUX DES RESEAUX DE CHALEUR BOIS EN FRANCE .....	4
2.1. Le développement des réseaux de chaleur au bois.....	4
2.2. Représentativité de l'échantillon .....	6
2.3. Répartition des réseaux de chaleur au bois identifiés par AMORCE et de la ressource bois correspondante .....	6
2.4. Réseau de distribution au gaz naturel et réseau de distribution de chaleur .....	8
3. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES RÉSEAUX DE CHALEUR BOIS.....	9
3.1. Puissances installées et quantités de chaleur livrée.....	9
3.2. Taille des communes d'implantation des réseaux .....	9
3.3. Contexte de mise en œuvre des chaufferies bois.....	10
3.4. Les bâtiments alimentés .....	12
3.5. Mode de gestion des réseaux de chaleur.....	13
4. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES CHAUFFERIES BOIS .....	15
4.1. Dimensionnement.....	15
4.2. Température des réseaux .....	18
4.3. Densité thermique.....	19
4.4. Bouquet énergétique.....	21
4.5. Les fumées .....	23
4.6. Les cendres.....	26
5. ÉCONOMIE DES RÉSEAUX DE CHALEUR BOIS .....	27
5.1. Investissements .....	27
5.2. Prix de vente de la chaleur .....	28
5.3. Analyse des indices de révision.....	33
5.4. Subventions et aides à l'investissement.....	33
6. APPROVISIONNEMENT BOIS.....	36
6.1. Rappel juridique sur les régimes des installations classées de combustion .....	36
6.2. Type de combustible biomasse .....	37
6.3. Fournisseur de combustible biomasse.....	40
6.4. Indice de révision des contrats d'achat .....	42
6.5. Capacité de stockage .....	42
7. RETOURS D'EXPÉRIENCE .....	43
7.1. Difficultés rencontrées lors du montage du projet .....	43
7.2. Difficultés rencontrées dans le fonctionnement.....	44
8. LE DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX DE CHALEUR BOIS.....	46
8.1. Segmentation des réseaux de chaleur bois.....	46
8.2. Des stratégies différenciées .....	46
8.3. Rappel concernant l'obligation de réalisation d'un schéma directeur.....	48
Perspectives et conclusion.....	50

## PRÉAMBULE

---

Ce rapport est la synthèse des résultats d'une enquête menée en 2015 par AMORCE auprès de collectivités maîtres d'ouvrage de réseaux de chaleur au bois sur les données de l'année civile 2014 ou la saison de chauffe 2013/2014. Cette enquête est réalisée dans le cadre du Club des collectivités chaleur biomasse<sup>1</sup> (C3Biom), plateforme de travail qui a pour vocation de faciliter les échanges et retours d'expériences entre collectivités propriétaires de forêts publiques et/ou maîtres d'ouvrage de réseaux de chaleur au bois animée par AMORCE en partenariat avec l'ADEME.

L'objet de cette enquête est multiple :

- Faire un état des lieux des réseaux de chaleur français utilisant du bois énergie ;
- Caractériser au mieux les installations pour améliorer la connaissance de l'existant ;
- Permettre aux réseaux existants de se situer les uns par rapport aux autres ;
- Constituer une base de référence pour les maîtres d'ouvrages en phase de montage de projet.

Ce document est un recueil de données caractéristiques des installations réalisées depuis plus de 25 ans dans les réseaux de chaleur utilisant du bois énergie. L'objectif est de compiler les réponses recueillies et d'analyser les principales tendances. Les données antérieures à 2014 présentées dans ce document sont issues des enquêtes précédentes menées par AMORCE (y compris celles menées dans le cadre de la commission 5 « RC » du CIBE<sup>2</sup> « Etat des lieux et promotion des Réseaux de chaleur »).



Chaufferie bois de Chambéry - Bissy

© AMORCE

---

<sup>1</sup> Plus d'informations sur <http://www.amorce.asso.fr/fr/reseaux-de-chaleur/clubs/>.

<sup>2</sup> Comité interprofessionnel du bois énergie.

# 1. MÉTHODOLOGIE SUIVIE POUR LA RÉALISATION DE L'ENQUÊTE

---

## 1.1. Périmètre de l'enquête

La présente enquête porte sur les réseaux de chaleur répondant simultanément aux trois critères suivants :

- Un réseau au sens **juridique**<sup>3</sup> (réseau raccordant des bâtiments appartenant à au moins deux maîtres d'ouvrage distincts dont éventuellement le maître d'ouvrage du réseau par l'intermédiaire d'un canalisation de transport de chaleur empruntant au moins partiellement le domaine public)
- Le bois est utilisé comme combustible par une des chaudières au minimum ;
- Le réseau a été réalisé sous maîtrise d'ouvrage d'une collectivité (la gestion pouvant être assurée en régie ou en DSP).

Cette publication est basée sur les réponses à l'enquête biennale, effectuée auprès de collectivités maîtres d'ouvrage de réseaux de chaleur au bois et réalisée sur les données d'exploitation de l'année civile 2014 ou de la saison de chauffe 2013/2014.

## 1.2. Déroulement de l'enquête

Le questionnaire de l'enquête a pour but de couvrir les thématiques majeures liées aux réseaux de chaleur et de faire ressortir les particularités et caractéristiques de la filière. Ce questionnaire a été envoyé au printemps 2015 aux collectivités maîtres d'ouvrage de réseaux de chaleur au bois.

Sur les 188 réseaux qui ont répondu au questionnaire, un certain nombre n'était pas concerné par l'enquête en vue des caractéristiques de leurs installations (réseau privé, réseaux n'utilisant pas de bois) ou de par le manque de renseignements fournis. Les données de l'enquête ont été consolidées via une série de tests<sup>4</sup>. Des demandes de renseignements complémentaires ont permis de s'assurer de la fiabilité des données des **131 réseaux de chaleur au bois finalement retenus dans ce rapport**.

L'échantillon des 131 réseaux s'étend de 40 kW à plus de 60 MW bois. L'enquête prend en compte des chaudières mixtes (couplant le bois à d'autres combustibles). Enfin, une attention particulière est portée sur la variabilité des indices de rigueur climatique entre les années 2012 et 2014, pouvant amplifier les évolutions de certains indicateurs (prix de vente et mix énergétique en particulier).

---

<sup>3</sup> Bulletin officiel des impôts OI-TVA-30-20-20 du 30/12/2012.

<sup>4</sup> Tests de consolidation : temps de fonctionnement chaudière à puissance nominale, rendement et densité énergétique du réseau de chaleur, comparaison des résultats à des ratios types (PCI bois, coûts combustibles, etc.).

### 1.3. Tableau récapitulatif des principales données de l'enquête

	2014		2012 (rappel)	
Nombre de réseaux de chaleur bois enquêté	<b>131</b>		153	
Puissance des chaudières bois	total	<b>558 MW</b>	total	373 MW
	moyenne	<b>4,3 MW</b>	moyenne	2,9 MW
	médiane	<b>1 000 kW</b>	médiane	700 kW
Prix de vente moyen de la chaleur (sur 88 réseaux)	<b>73,4 €HT/MWh</b>		65,6 €HT/MWh	
Indice de rigueur climatique	<b>0,79</b>		1,01	
Consommation de bois	<b>720 000 tonnes</b>		450 000 tonnes	
Quantité de chaleur produite par les chaufferies bois	<b>1 861 GWh</b>		1 005 GWh	
Quantité de chaleur livrée par les réseaux de chaleur en sous-station	<b>3 988 GWh</b>		2 860 GWh	
Taux de couverture bois moyen pondéré	<b>35%</b>		35%	
Chiffre d'affaires des réseaux (sur 88 réseaux)	<b>270 millions € HT</b>		165 millions € HT	

### 1.4. Informations de compréhension du rapport

Dans la suite de ce rapport, nous parlons de « XX kW bois » lors de l'analyse par classe de puissance. Cela signifie que le réseau comprend une ou plusieurs chaufferies bois dont la puissance est de « XX kW ». Par ailleurs, le terme « réseaux enquêtés » signifie l'ensemble des réseaux (l'échantillon) ayant été utilisés lors de la construction du graphique ou du tableau considéré.

Le nombre de réseaux utilisés pour construire les graphiques est précisé sur chacun d'eux. La taille variable des échantillons s'explique par le fait que les réseaux ne sont pas tous concernés par l'ensemble du questionnaire. Elle révèle également parfois l'absence de réponse (dû la plupart du temps au manque d'information dont dispose la personne répondant à l'enquête).

## 2. ETAT DES LIEUX DES RESEAUX DE CHALEUR BOIS EN FRANCE

### 2.1. Le développement des réseaux de chaleur au bois

Le développement du bois-énergie au sein des réseaux de chaleur a été appuyé par différentes mesures gouvernementales.

La première, le « **Plan Bois Energie et Développement Local** », est initiée en **1994**. Elle a pour objectif de structurer le secteur via 13 régions lauréates et de favoriser le développement local. Cette mesure est à l'origine de nombreuses créations de réseaux de chaleur en milieu rural ou dans de petites villes, le plus généralement de puissance inférieure à 1500 kW bois.

Considéré comme une phase d'expérimentation, le Plan Bois Energie devient en **2000** le « **Programme Bois Energie de l'ADEME** ». La réorientation des aides à la Tonne équivalent pétrole (Tep) met cette fois-ci l'accent sur les gros programmes des villes moyennes. Cette mesure s'étend à l'ensemble du territoire national.

Le Programme Bois Energie laisse ensuite place en 2009 au **Fonds chaleur renouvelable** de l'ADEME (initié par le Club Chaleur renouvelable créé par AMORCE en 2000). Le Fonds chaleur s'applique aux installations produisant plus de 100 Tep par an<sup>5</sup>, favorisant ainsi le développement de réseaux de chaleur bois de tailles moyennes (puissance bois supérieure à 500 kW<sup>6</sup>). Les petites chaufferies peuvent désormais bénéficier de financement par l'ADEME lorsque les projets sont regroupés en grappe de plus de 100 tep. Ces règles de financement sont définies par les directions régionales de l'ADEME.

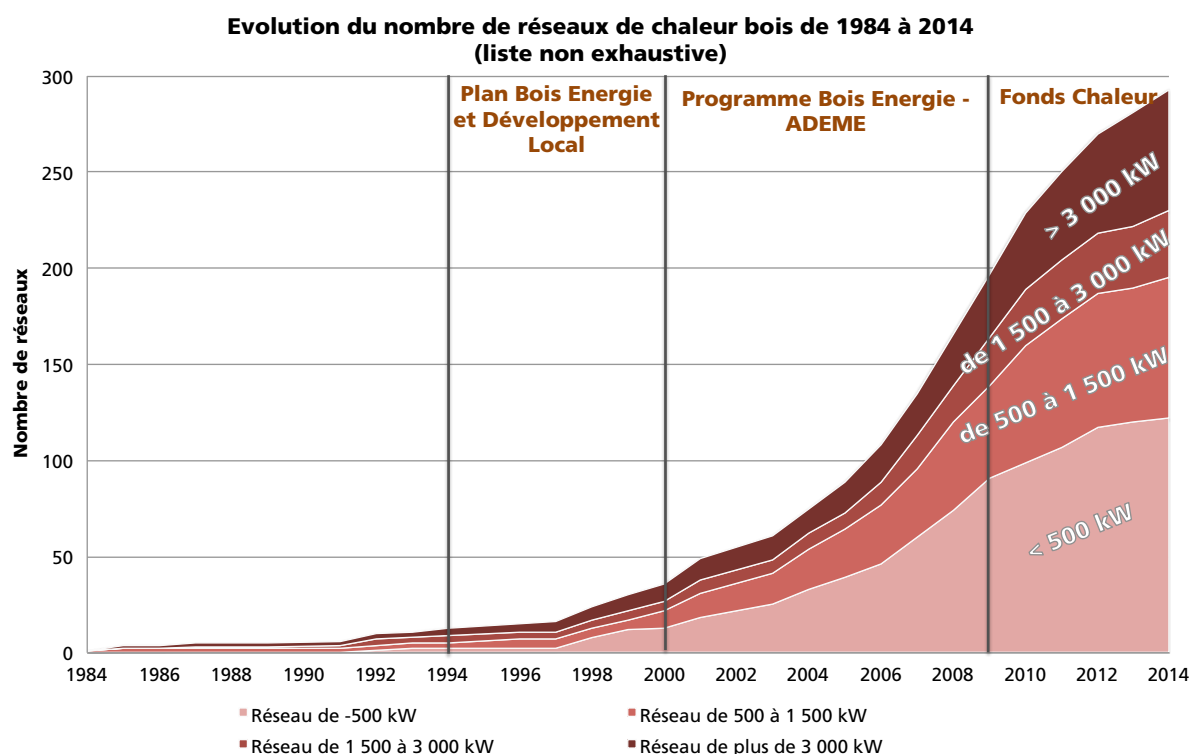


FIGURE 1. : EVOLUTION DU NOMBRE DE RESEAUX DE CHALEUR AU BOIS EN FRANCE (293 RESEAUX)

<sup>5</sup> Plus d'informations sur le Fonds chaleur : <http://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-reseaux-stockage/passer-a-l'action/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref>

<sup>6</sup> Pour une chaufferie fonctionnant en moyenne 2000 heures à équivalent puissance nominale.

Le graphique ci-dessus expose l'évolution du nombre de réseaux de chaleur bois par panel de puissance ainsi que les périodes relatives aux mesures gouvernementales mises en place pour stimuler la filière. La date prise en compte est celle de la mise en service des réseaux de chaleur bois ou de la mise en service de la chaufferie bois sur un réseau existant. L'ensemble des réseaux de chaleur identifiés lors des précédentes enquêtes réalisées par AMORCE (incluant ceux identifiés lors de l'enquête 2015 sur l'année 2014) est compris dans ce graphique lorsque leur date de mise en service est connue.

Ce graphique illustre la réelle corrélation entre la mise en place des dispositifs qui viennent d'être cités et le développement des réseaux de chaleur bois, avec un décalage de près de 2 ans nécessaires à la mise en place (et liés au temps minimum nécessaire entre l'obtention de la subvention et la mise en service de l'installation).

Le graphique suivant, basé sur les mêmes réseaux de chaleur que le précédent, représente cette fois-ci l'évolution de la puissance bois cumulée des réseaux de chaleur bois par panel de puissance. Assez logiquement, la tendance du graphique est inversée par rapport au précédent : les réseaux de chaleur bois de petites puissances sont très nombreux mais pèsent peu en puissance cumulée et vice versa. On note également que la puissance bois cumulée a pratiquement quadruplée entre 2006 et 2014. L'évolution la plus notable concerne les réseaux de chaleur de plus de 3 MW bois, qui représentent en 2014 près de 85% de la puissance cumulée sur l'ensemble de l'échantillon.

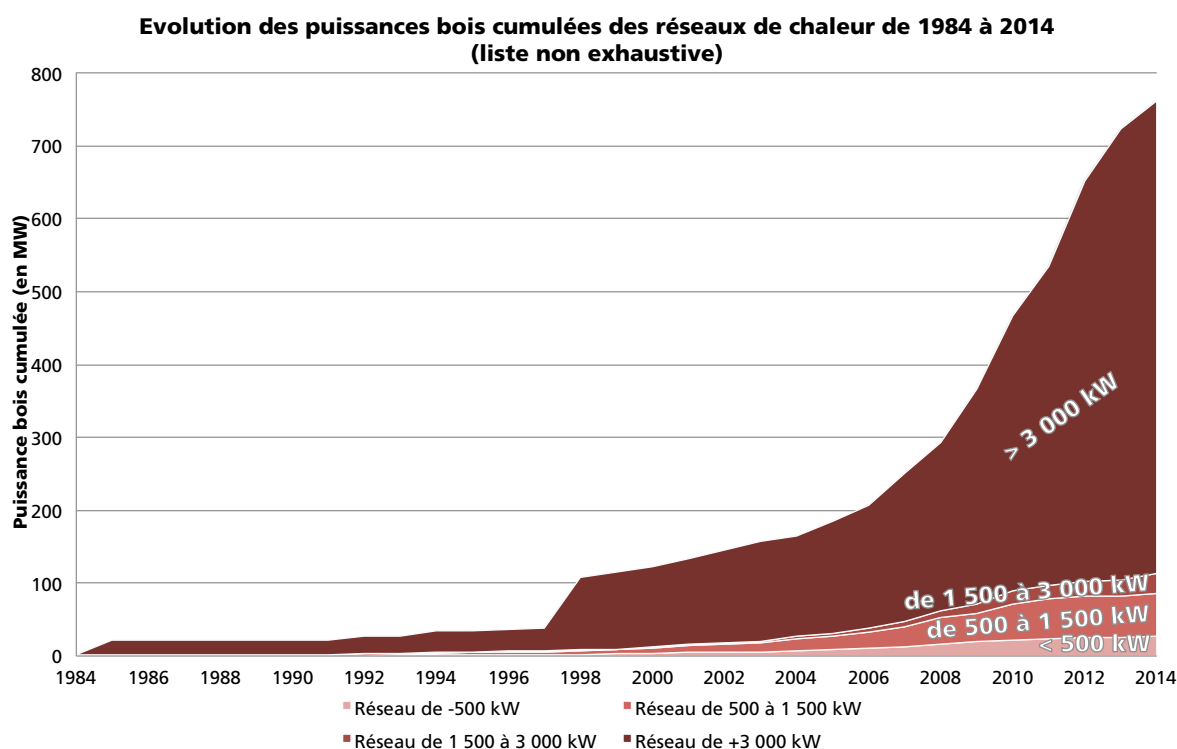


FIGURE 2. : EVOLUTION DE LA PUISSANCE BOIS CUMULEE DES RESEAUX DE CHALEUR AU BOIS EN FRANCE (293 RESEAUX)

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a fixé comme objectif la multiplication par 5 des énergies renouvelables et de récupération livrées par les réseaux de chaleur et de froid d'ici à 2030 par rapport à 2012 (« Facteur 5 »). La biomasse aura un rôle primordial à jouer pour l'atteinte de cet objectif : selon l'ADEME, la production de biomasse sur les réseaux de chaleur pourrait être multiplié par plus de 10 à cette échéance.



## 2.2. Représentativité de l'échantillon

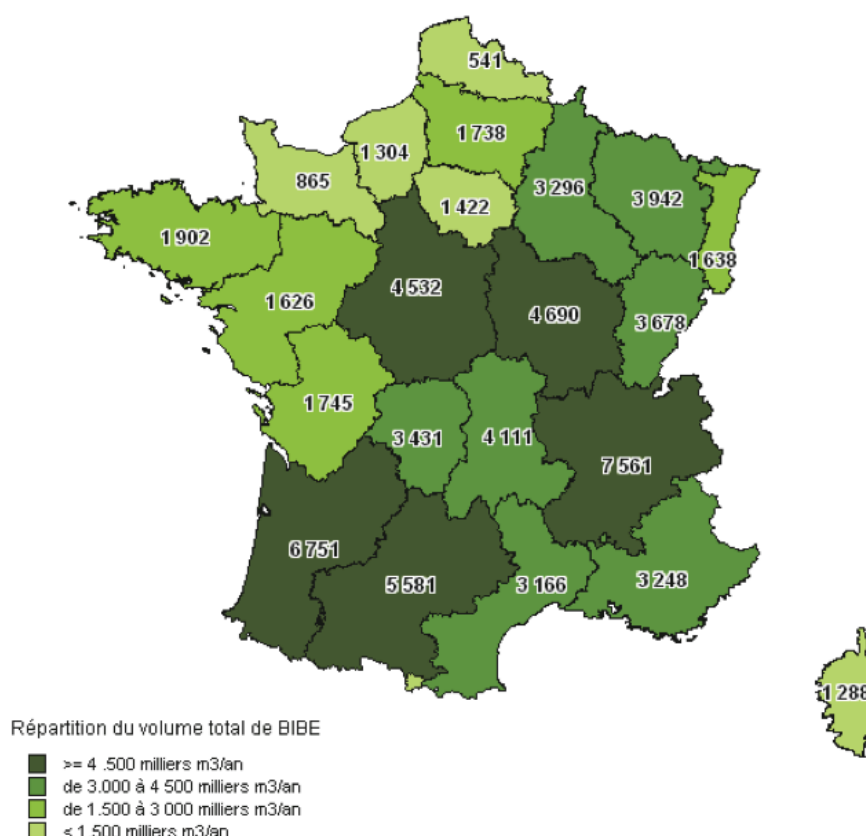
L'enquête annuelle des réseaux de chaleur et de froid menée par le SNCU<sup>7</sup> et AMORCE sous l'égide du SOeS<sup>8</sup> a enregistré en 2014 4 198 GWh bois consommé (entrée chaudière).

En comparaison, la présente enquête porte sur 131 réseaux de chaleur pour 2 179 GWh bois consommé, ce qui porte la **représentativité de notre échantillon à 52%** en terme de bois consommé par les réseaux de chaleur.

## 2.3. Répartition des réseaux de chaleur au bois identifiés par AMORCE et de la ressource bois correspondante

La carte ci-dessous recense les ressources régionales en Bois d'Industrie et Bois Energie (BIBE) sur le territoire français. D'importantes variations existent entre les régions : par exemple la région Nord Pas de Calais dispose de 12 fois moins de bois que la région Rhône-Alpes ou Aquitaine. À la vue de cette répartition hétérogène, il semble légitime de s'interroger sur l'influence de la ressource sur l'implantation des réseaux de chaleur au bois.

### Répartition du volume total de BIBE



Source : Étude ADEME-IFN-FCBA-SOLAGRO, 2009

FIGURE 3. : REPARTITION DU VOLUME TOTAL DE BOIS D'INDUSTRIE ET BOIS D'ENERGIE (BIBE)

<sup>7</sup> Syndicat national du chauffage urbain et de la climatisation urbaine.

<sup>8</sup> Services statistiques du Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer.

La carte ci-dessous indique l'emplacement de tous les réseaux de chaleur au bois identifiés par AMORCE au fil des différentes enquêtes.

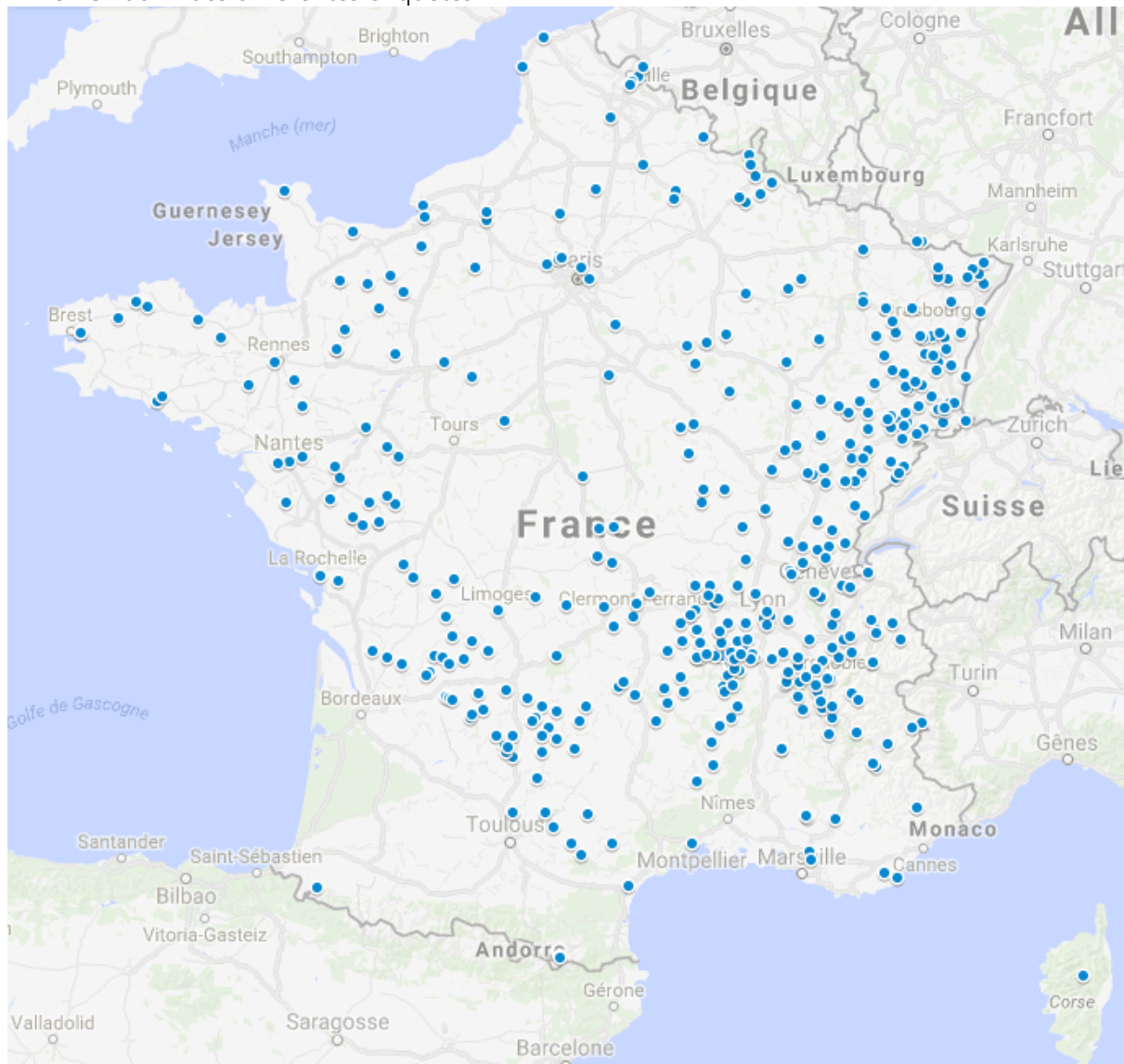


FIGURE 4. : ETAT 2014 DES RESEAUX DE CHALEUR AU BOIS (HORS PROJET CRE<sup>9</sup> ET BCIAT<sup>10</sup>)

Le Nord Pas de Calais, l'Île-de-France et la Normandie, bien que disposant de ressources bois limitées, ont développé des chaufferies bois avec réseau de chaleur. A l'inverse l'Aquitaine, 2<sup>ème</sup> gisement de BIBE (Bois d'Industrie et Bois d'Énergie) français est très faiblement équipée de chaufferies biomasse.

Les cartes 3 et 4 montrent néanmoins une relative corrélation entre la ressource et l'implantation des réseaux de chaleur au bois. Cette analyse illustre la nécessité d'une bonne structuration de l'approvisionnement dans toutes les régions afin d'optimiser l'utilisation par la mise en place d'échanges intra et interrégionaux. En effet, les régions où les réseaux de chaleur au bois sont nombreux sont celles ayant mis en place un accompagnement fort des projets. Cet accompagnement, réalisé par les acteurs locaux de l'énergie (ADEME, Agence régionale ou locale de l'énergie, Syndicat Départemental de l'Énergie, Association dédiée départementale ou locale, etc.), a permis de structurer et de développer de la filière dans ces régions.

<sup>9</sup> CRE : Commission de Régulation de l'Énergie

<sup>10</sup> BCIAT : Biomasse Chaleur, Industrie, Agriculture et Tertiaire

## 2.4. Réseau de distribution au gaz naturel et réseau de distribution de chaleur

La viabilité économique d'un projet de réseau de chaleur, qu'il utilise du bois ou non, dépend de l'énergie de référence disponible sur le territoire avec laquelle il est en concurrence. De plus, les aides financières mobilisables, en particulier le Fonds chaleur, sont calculées sur le tarif de l'énergie de référence afin d'obtenir un coût de chaleur bois à minima comparable à la référence fossile.

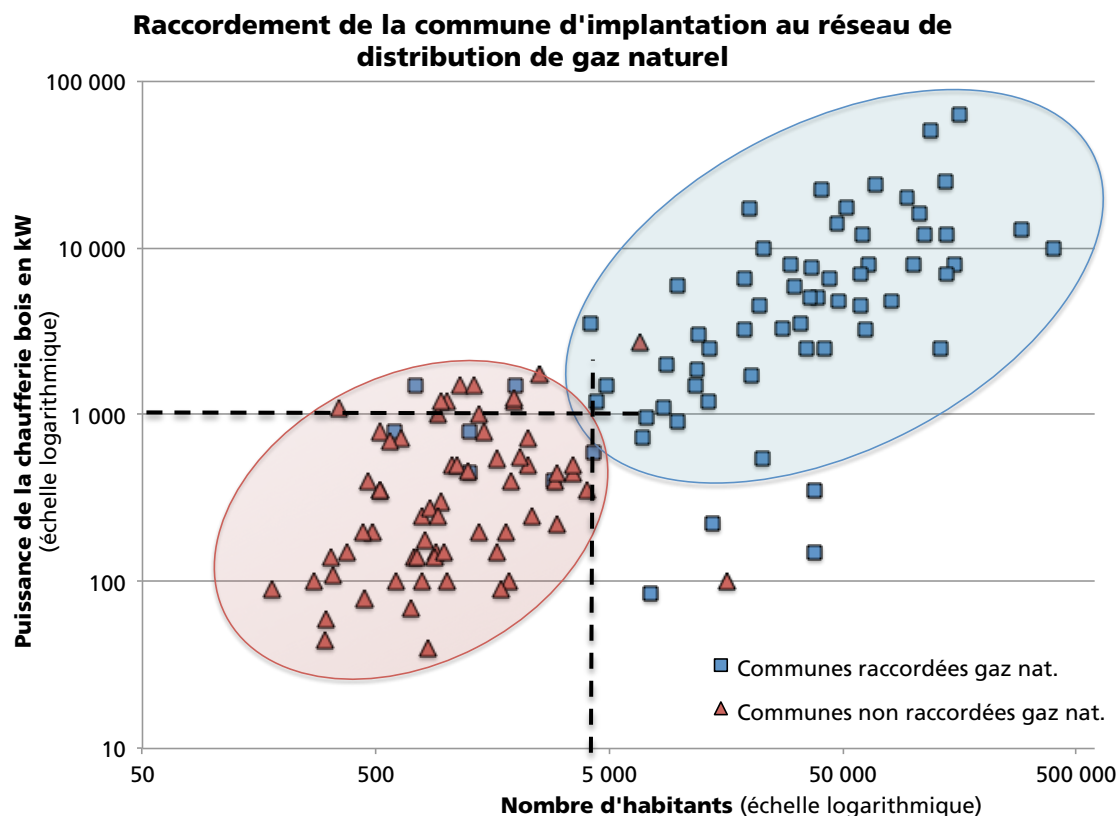


FIGURE 5. : RACCORDEMENT DE LA COMMUNE AU RESEAU DE DISTRIBUTION DE GAZ NATUREL (131 RESEAUX)

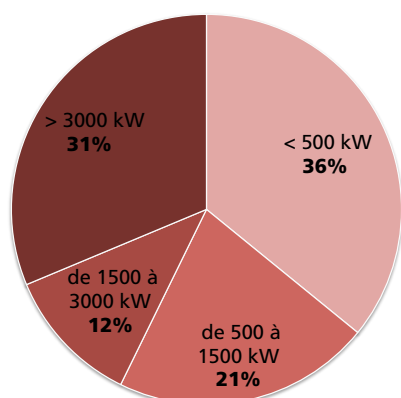
Le graphique ci-dessus fait état de la présence du réseau de distribution au gaz naturel des communes enquêtées. Globalement les communes non raccordées au gaz naturel se situent sous le seuil des 5 000 habitants et correspondent à des chaufferies de petites puissances (2 000 kW maximum). A l'inverse les chaufferies bois présentes sur des communes raccordées au gaz naturel regroupent une population plus importante et correspondent à des chaufferies majoritairement au-dessus de 1 MW. Au travers ce graphique se situe le seuil de compétitivité du bois énergie comparé au gaz naturel. Un projet bois énergie de petite puissance sera difficilement concurrentiel si sa commune d'implantation est raccordée au gaz naturel.

### 3. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES RÉSEAUX DE CHALEUR BOIS

#### 3.1. Puissances installées et quantités de chaleur livrée

Comme l'illustrent les graphiques ci-dessous, le nombre de réseaux de chaleur équipés d'installations biomasse de plus de 3 MW correspond à 30% du panel de l'enquête et à 96% des livraisons thermiques<sup>11</sup>. Les réseaux équipés de chaufferies bois de moins de 500 kW représentent quant à eux 38% de l'effectif pour 0,3% des livraisons thermiques. **Les résultats de cette enquête varient par conséquent fortement selon le critère retenu (puissance ou livraisons de chaleur).**

Répartition des réseaux en fonction de la puissance bois



Répartition des réseaux en fonction des livraisons de chaleur

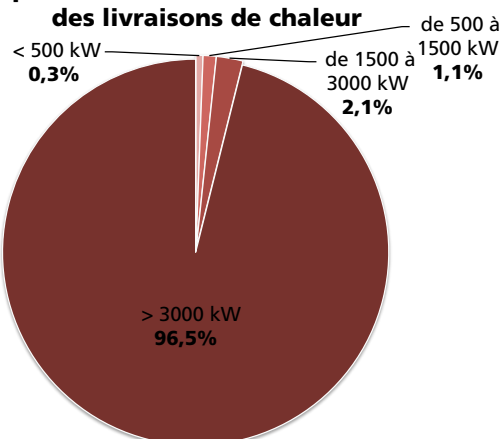
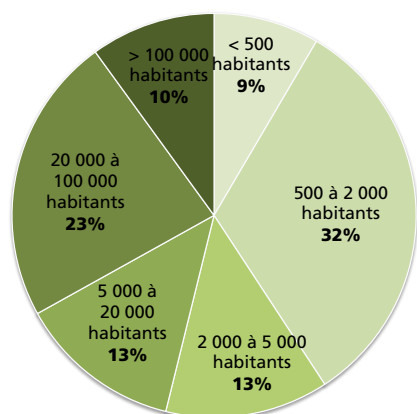


FIGURE 6. : REPARTITION DES RESEAUX EN FONCTION DE LA PUISSANCE BOIS ET DES LIVRAISONS DE CHALEUR (131 RESEAUX)

#### 3.2. Taille des communes d'implantation des réseaux

Répartition du nombre de réseaux de chaleur selon la taille de la commune d'implantation



Les réseaux de chaleur se sont développés sur les centres villes et les gros centres urbains : les communes de plus de 20 000 habitants représentent quantitativement 33% de l'échantillon de l'enquête<sup>12</sup>. Les grands équipements collectifs et tertiaires, gros consommateurs de chaleur, sont plutôt présents dans les communes de plus de 5 000 habitants. Pour autant, le développement des réseaux de chaleur au bois concerne principalement, en nombre, les villes de moins de 5 000 habitants (54% des réseaux enquêtés).

FIGURE 7. : REPARTITION DU NOMBRE DE RESEAUX DE CHALEUR SELON LA TAILLE DE LA COMMUNE D'IMPLANTATION (131 RESEAUX)

<sup>11</sup> En 2012 les réseaux de plus de 3 000 kW représentaient 23% du panel et 93% de l'énergie livrée.

<sup>12</sup> Les communes de plus de 20 000 habitants ne pesaient que 22% dans l'enquête précédente. L'augmentation de cette part s'explique en partie par la dynamique de verdissement des grands réseaux de chaleur urbains, mais également par la prise en compte de nouveaux réseaux dans l'enquête 2014 qui n'étaient pas présents en 2012.

### Répartition des puissances bois en fonction de la taille de la commune

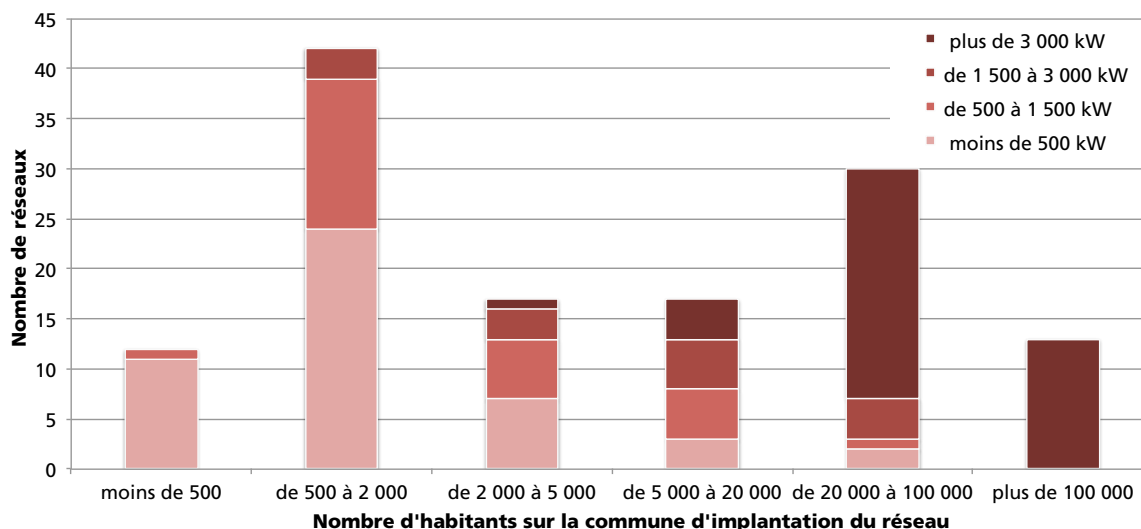
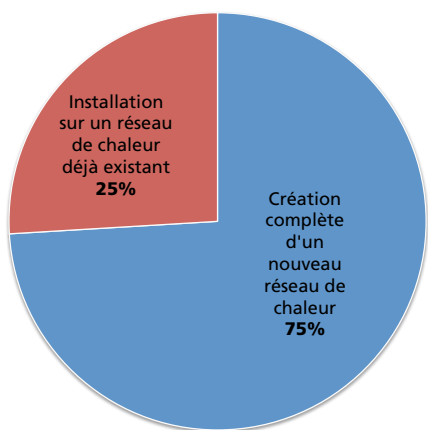


FIGURE 8. : REPARTITION DES PUISSANCES DE CHAUDIERE EN FONCTION DE LA TAILLE DE LA VILLE (132 RESEAUX)

On observe une corrélation entre la taille des communes et la puissance bois. Les communes de moins de 2 000 habitants disposent de chaufferies bois de 1,5 MW maximum. A l'inverse, la part des chaufferies bois de 3 MW et plus est majoritaire à partir de 20 000 habitants.

### 3.3. Contexte de mise en œuvre des chaufferies bois

#### Situation initiale lors de l'installation de la chaufferie bois



Une grande majorité des chaufferies bois mises en œuvre implique également la création d'un nouveau réseau de chaleur (75% des cas étudiés). La mise en place d'une chaufferie bois est souvent la clé d'entrée d'une réflexion concernant le déploiement d'un réseau de chaleur sur un territoire. La figure 10 ci-dessous montre cependant que la part du remplacement est majoritaire pour les chaufferies supérieures à 3 MW.

FIGURE 9. : SITUATION INITIALE LORS DE L'INSTALLATION DE LA CHAUFFERIE BOIS (131 RESEAUX)

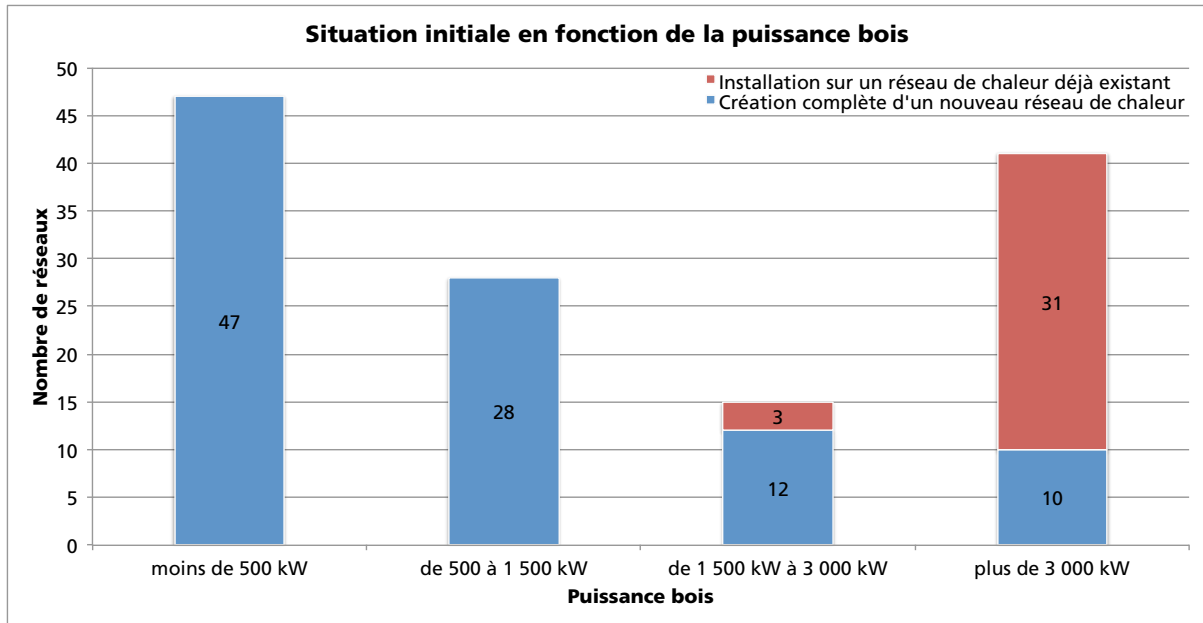


FIGURE 10. : SITUATION INITIALE EN FONCTION DE LA PUISSANCE BOIS (131 RESEAUX)

Les deux graphiques suivant précisent le contexte de mise en place des chaufferies bois, selon que le réseau soit existant ou neuf :

**Installation sur un réseau de chaleur existant**

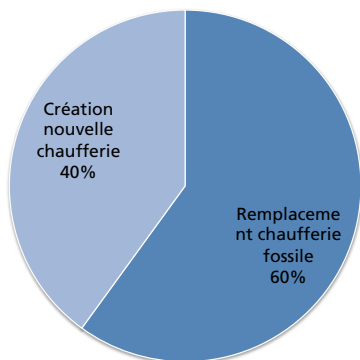


FIGURE 11.A : CAS 1 INSTALLATION SUR UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT (30 RESEAUX – 4 NON REPONSES)

**Création complète d'un réseau de chaleur  
Typologie des bâtiments raccordés**

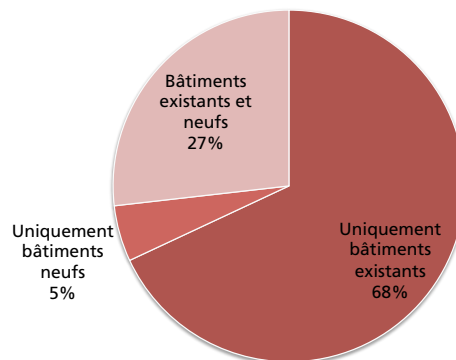


FIGURE 11.B : CAS 2 CREATION DE RESEAU (97 RESEAUX)

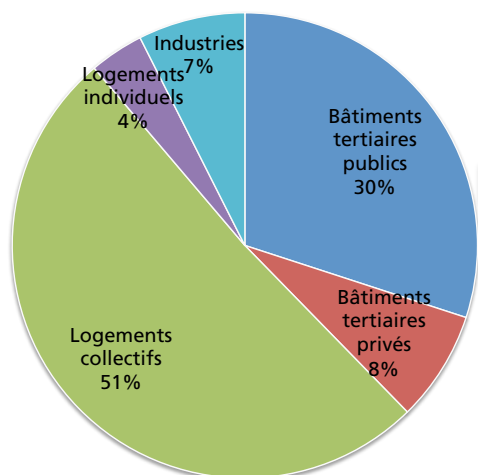
Dans le cas d'une installation sur un réseau de chaleur existant, il s'agit dans 60% des cas de création d'une nouvelle chaufferie qui complète généralement une chaufferie fossile existante. Les 40% restant concernent une substitution énergétique, d'une solution fossile vers une solution biomasse.

Dans le cas d'une installation sur un nouveau réseau de chaleur, près de 70% des cas concernent le raccordement de bâtiments existants uniquement (ou en très grande majorité), plus de 25% de bâtiments neufs et existants et seulement 5% de bâtiments neufs uniquement. AMORCE rappelle que la création de nouveaux bâtiments sur un secteur peut représenter l'opportunité de monter un projet de production de chaleur biomasse mais que ces projets doivent aussi, dans la mesure du possible, bénéficier à des bâtiments existants. L'atteinte du « Facteur 5 » devra en effet nécessairement passer par le raccordement de bâtiments existants, consommateurs d'énergie, plus que par le raccordement de nouveaux quartiers faiblement consommateurs.

### 3.4. Les bâtiments alimentés

Les gestionnaires de logements collectifs<sup>13</sup> et de bâtiments tertiaires publics constituent les principaux abonnés de développement des réseaux de chaleur bois puisqu'ils représentent plus de 80% des livraisons de chaleur sur ces réseaux, comme en attestent les deux graphiques ci-dessous.

**Typologie des bâtiments raccordés aux réseaux de chaleur bois (% livraisons)**



**Typologie des bâtiments tertiaires public (% livraisons bâtiments tertiaires publics)**

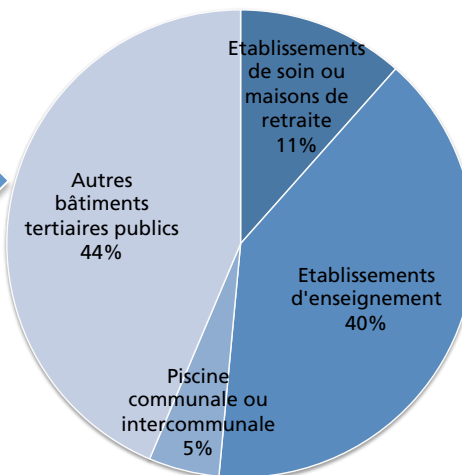


FIGURE 12.A : TYPOLOGIE DES BATIMENTS (80 RESEAUX)

FIGURE 12.B : CAS DES BATIMENTS TERTIAIRES (43 RESEAUX)<sup>14</sup>

Les profils de consommations sont très différents d'une typologie d'abonné à l'autre. Le réseau de chaleur permet de mutualiser des équipements et d'optimiser leur dimensionnement en tenant compte du foisonnement des besoins de chaleur entre abonnés. Ces variations de la demande sont dues à des intermittences très diverses entre un bâtiment de logements collectif chauffé à la même température tout l'hiver et un gymnase ou une salle des fêtes qui ne sont chauffés qu'en cas d'occupation. Le graphique ci-dessous illustre l'intermittence des besoins de chaleur des bâtiments en fonction de la période de l'année considérée.

Intermittence	Faible	Moyenne	Forte
Logement collectif	←	→	
Enseignement		(internat) ←	→
Bâtiments publics, tertiaires, commerces		←	→
Loisirs	(piscine)		(gymnase)
Hôpital, Maison de retraite	←	→	
Saison de chauffe	sept - juin	oct - mai	oct - mai
Variation diurnes	19 à 21 °c (24/24)	19°c (jour) 17°c (nuit)	19° (jour) 15°c (nuit+WE) 8°c (congés)

FIGURE 13. : INTERMITTENCE DES BESOINS DE CHALEUR DES BATIMENTS EN FONCTION DE LA PERIODE DE L'ANNEE CONSIDEREE – SOURCE : COMMISSION MOP DU CIBE.

<sup>13</sup> 12,5 millions de logements collectifs (en résidence principale) dont 3,7 millions de logements sociaux locatifs (au total 4,7 millions de logements sociaux, locatifs ou en foyer, dont 15% en logement individuel) en France. Sources : INSEE et Semaine HLM.

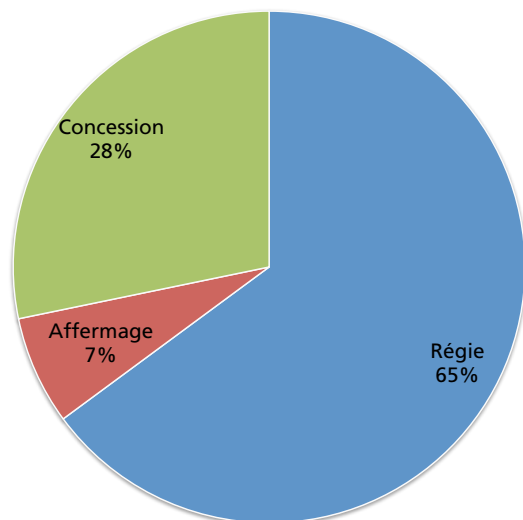
<sup>14</sup> En tout 79 bâtiments sur les 80 de l'échantillon pour la figure 13 ont répondu livrer leur chaleur à un ou plusieurs bâtiments publics, mais seulement 43 ont précisé la ventilation de ces livraisons (figure 14).

### 3.5. Mode de gestion des réseaux de chaleur

#### 3.5.1. Analyse globale

On distingue deux grands modes de gestion des réseaux de chaleur :

##### Mode de gestion des réseaux de chaleur bois



- La gestion directe, dite « en régie », dans laquelle la collectivité assure la totalité du service (financement, exploitation, facturation), éventuellement en s'appuyant sur des entreprises via des contrats d'exploitation ;

- La délégation de service public (DSP), où la collectivité confie la gestion du réseau à une entreprise spécialisée, soit dans le cadre d'une concession (l'entreprise délégataire prend alors en charge l'investissement initial qu'elle finance grâce à la vente d'énergie) soit dans le cadre d'un affermage (dans ce cas la collectivité réalise l'investissement, l'entreprise gestionnaire prélevant alors sur les abonnés une redevance reversée à la collectivité pour le financement des installations).

FIGURE 14. : MODE DE GESTION DES RESEAUX DE CHALEUR (131 RESEAUX)

Le graphique ci-dessous montre que la gestion directe en régie est la plus répandue avec 65% du panel enquêté. Cette tendance dépend cependant fortement de la taille du réseau de chaleur en question.

##### Mode de gestion des réseaux de chaleur bois en fonction de la puissance bois

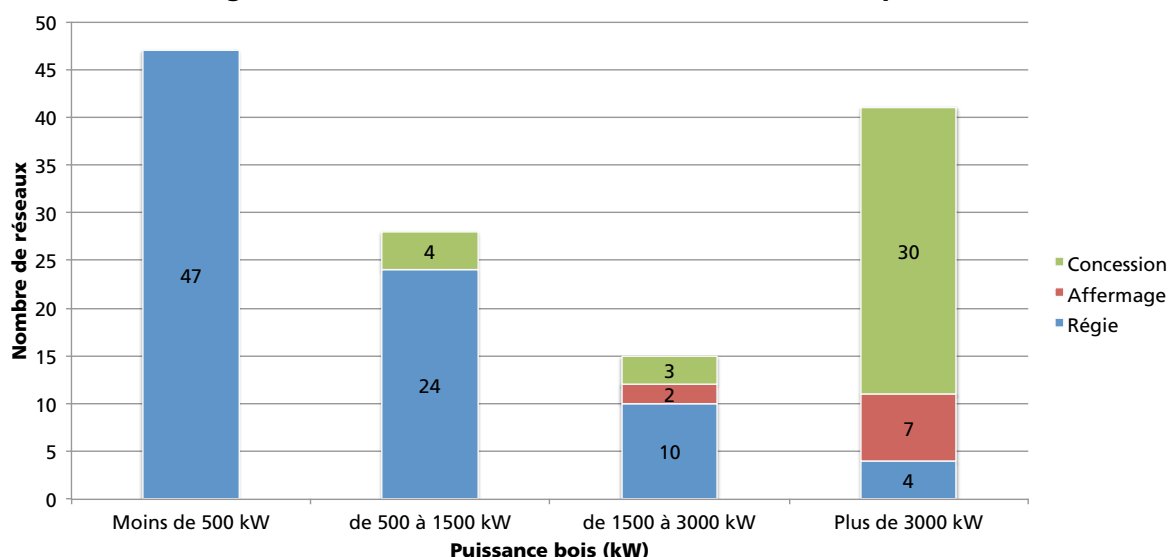


FIGURE 15. : REPARTITION DES MODES DE GESTION EN FONCTION DE LA CLASSE DE PUISSANCE (131 RESEAUX)

Comme l'illustre ce nouveau graphique, la délégation de service public est surtout mise en œuvre pour les réseaux de chaleur de taille importante (à partir de 1,5 MW), pour lesquels le chiffre d'affaire est suffisamment important pour apporter les niveaux de rentabilité nécessaires au positionnement des investisseurs privés et des entreprises gestionnaires. Pour les réseaux existants, le choix du mode de gestion est généralement dépendant de l'historique du réseau,



des capacités d'investissement et de suivi technique des collectivités et du choix politique de la collectivité. Ces résultats restent analogues aux données de 2012.

### 3.5.2. Durée des Délégations de service public (DSP)

Le graphique ci-dessous correspond à la durée restante du contrat DSP à partir de l'installation de la chaufferie bois.

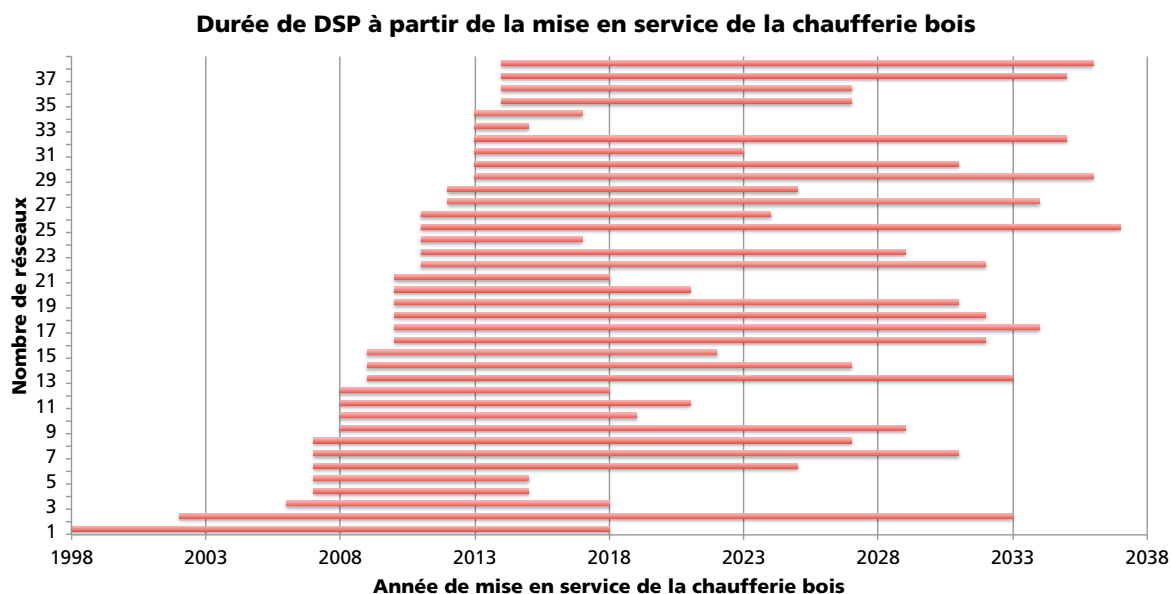


FIGURE 16. : ANNEE DE MISE EN SERVICE DES CHAUFFERIES BOIS ET DE FIN DE CONTRAT DE DSP (36 RESEAUX)

On observe d'une manière générale 2 cas de figure :

- La chaufferie est réalisée dans les premières années du contrat de Délégation de Service Public ;
- La chaufferie fait l'objet d'un avenant prolongeant la durée du contrat.

Néanmoins plusieurs projets ont été lancés sur la fin de la Délégation de Service Public, sans pour autant en prolonger la durée.



## 4. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES CHAUFFERIES BOIS

### 4.1. Dimensionnement

La plupart des chaufferies bois sont couplées à des énergies d'appoint ou de secours pour satisfaire le cahier des clauses techniques générales (CCTG) Génie Climatique (brochure des marchés public n°2015) et assurer un service continu de fourniture de chaleur. Ce choix permet aussi de limiter les montants d'investissement pour la chaufferie bois tout en couvrant une part importante des besoins de chaleur du réseau par la biomasse. En outre, les chaufferies bois ont des contraintes importantes (livraison et stockage combustibles, plages de fonctionnement restreintes, maintenance).

Le dimensionnement des chaudières diffère également selon la taille du réseau. Pour les chaufferies de petite taille (moins de 500 kW bois), l'optimisation technico-économique amène souvent à dimensionner la chaudière bois pour couvrir près de 80% des besoins de chaleur. Une courbe de monotone d'appels de puissance, réalisée par un bureau d'études permettra d'établir le meilleur ratio puissance / production de chaleur. Une énergie d'appoint fossile (gaz, fioul) permet de compléter la chaudière bois durant les périodes de grand froid et la substitue en inter saisons grâce à des plages de fonctionnement plus larges. Enfin, une chaudière fossile dimensionnée à 100% des appels de puissance permet de sécuriser les livraisons de chaleur en cas de secours ou tout simplement durant les périodes de maintenance de la chaudière bois.

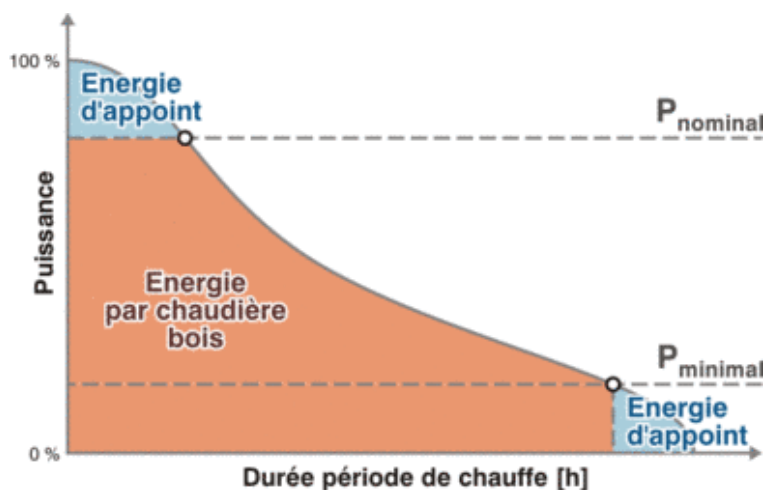


FIGURE 17. : COURBE TYPE DE MONOTONE D'APPELS DE PUISSANCE D'UNE CHAUDIÈRE BOIS

Sur des réseaux de chaleur de plus grandes tailles, le taux de couverture bois sera plus faible, tout en assurant un taux global d'énergies renouvelables et de récupération supérieur à 50%<sup>15</sup>.

Les principaux ratios techniques d'une chaudière bois sont les suivants :

- Taux de puissance bois de la chaudière bois (soit Puissance bois / Puissance totale installée) ;
- Taux de couverture des besoins énergétiques par la chaufferie bois (soit production de la chaudière bois / production totale) ;
- Nombre d'heures de fonctionnement de la chaufferie à puissance nominale (soit énergie produite / Puissance bois).

<sup>15</sup> La partie tarifaire proportionnelle aux consommations est taxée à un taux de TVA réduit (5,5%) dès lors que le mix énergétique du réseau de chaleur est supérieur à 50% d'énergies renouvelables et de récupération.

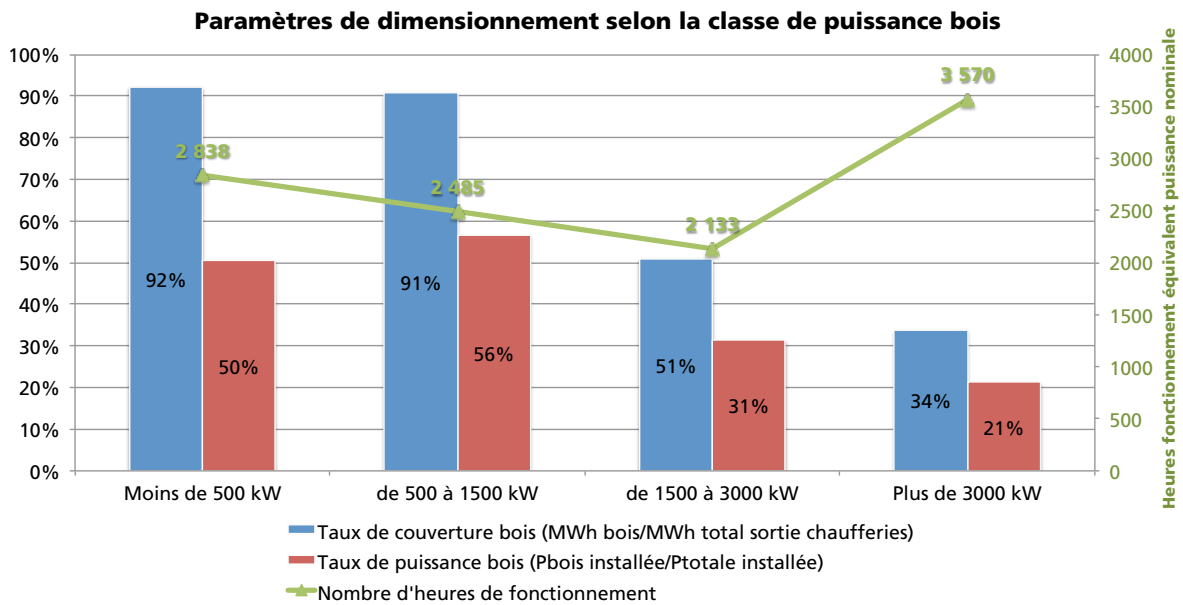


FIGURE 18.: PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT SELON LA CLASSE DE PUISSANCE, VALEURS PONDEREES A PARTIR DE LA PRODUCTION EN SORTIE CHAUFFERIE (131 RESEAUX)

Le maître d’ouvrage doit être vigilant quant aux risques de surdimensionnement des chaufferies bois dans les réseaux de chaleur de faible puissance. Les fonctionnements à bas régime altèrent le rendement et la durée de vie de la chaudière et provoquent une augmentation des polluants, du taux de cendres et des imbrûlés<sup>16</sup>. Optimiser la puissance bois installée en fonction de la monotone des appels de puissance et des besoins des bâtiments à chauffer est en effet essentiel pour un bon fonctionnement technique mais aussi économique. Une autre piste consiste à répartir la puissance bois nécessaire sur plusieurs chaudières (régulation en cascade), une plus large modulation des plages de fonctionnement optimisant ainsi le taux de couverture bois.

Souvent se pose la question de la fourniture de chaleur pour les besoins en Eau chaude sanitaire (ECS), surtout pour les petits réseaux de chaleur (puissance bois inférieur à 500 kW). La chaudière bois, représentant en moyenne 50% de la puissance totale, ne pourra pas moduler sa production pour répondre à des besoins faibles en ECS. Ceci étant, fournir la chaleur pour la production d’ECS avec une production biomasse, si celle-ci est assez conséquente, permet d’assurer un « fond de chauffe » plus important mais aussi d’augmenter la part bois dans le mix énergétique. Pour cela, le recours à un système d’hydro-accumulation (stockage d’eau chaude) se révèle pertinent en permettant un meilleur fonctionnement de la chaudière bois lorsque les appels de puissance sont réduits. (cf. étude INDDIGO pour AMORCE « Optimisation des réseaux de chaleur pour le développement des BBC » - réf. RCT34).

L’utilisation des différentes chaufferies, lorsque le réseau dispose de plusieurs moyens de production d’énergie, est décidée selon un ordre de priorité. Les énergies de récupération<sup>17</sup> sont utilisées en premier puis les énergies renouvelables, puis, selon les besoins à couvrir, on enclenche les systèmes par ordre croissant du prix du combustible. Les chaufferies bois sur les gros réseaux dont le reste du mix énergétique est fossile sont donc logiquement utilisées « au maximum ».

<sup>16</sup> Pour plus de détails, voir les guides « bois-énergie » ADEME (collection : Connaître pour agir).

<sup>17</sup> Par exemple la chaleur issue d’Unité d’Incinération d’Ordures Ménagères ou de process industriels.

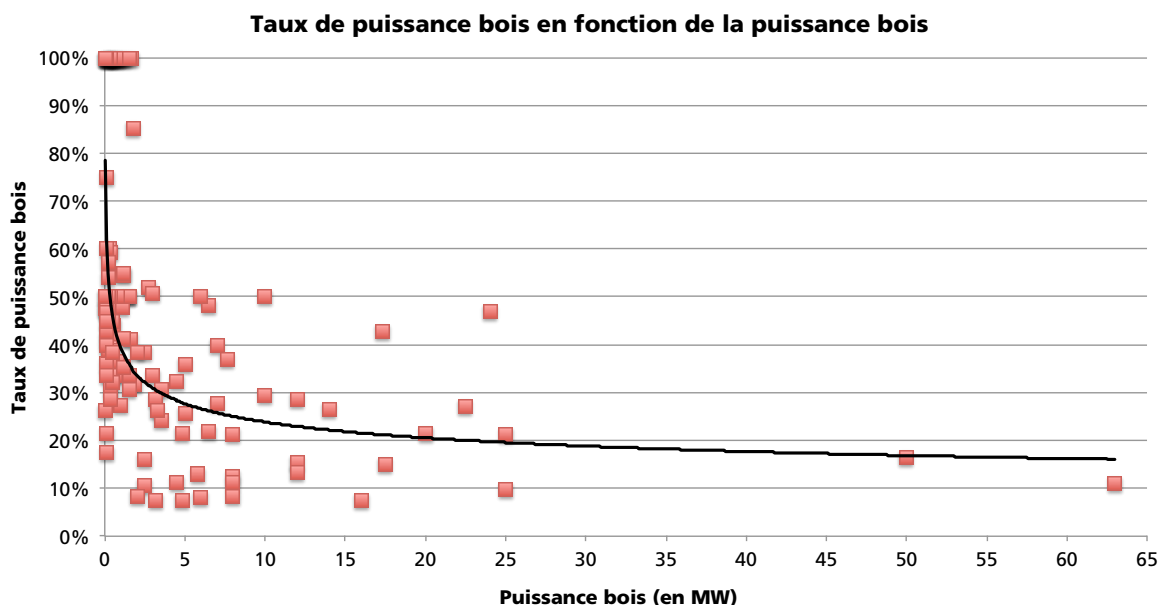
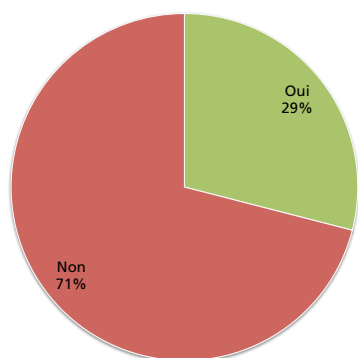


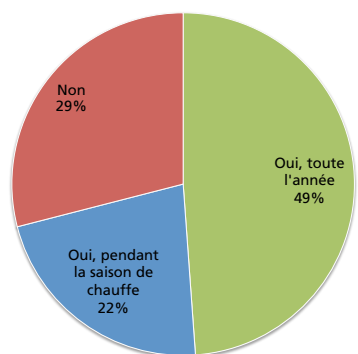
FIGURE 19. : TAUX DE PUISSANCE BOIS INSTALLEE EN FONCTION DE LA PUISSANCE DE LA CHAUDIERE BOIS (131 RESEAUX)

Ce graphique reflète la grande diversité des cas rencontrés (contrairement au graphique précédent qui lissait par valeurs moyennes la classe de puissance de chaudière bois). Près de 25 chaudières bois sont dimensionnées à 100% des besoins de puissance. Il est donc possible de subvenir aux besoins de chaleur du réseau uniquement avec une chaudière bois, et ce même avec une puissance supérieure à 2 000 kW, avec les réserves mentionnées ci-dessus. Dans ces cas-là, sur les petits réseaux, le réseau ne fournit en général pas les besoins en eau chaude sanitaire, ce qui oblige les bâtiments à assurer par eux-mêmes leur production. La courbe noire montre la tendance que l'on observe sur l'enquête. De manière générale, plus la chaudière bois est petite plus le taux de puissance bois est élevé. Ce taux se stabilise après 5 000 kW bois autour de 30% : le réseau possède alors souvent une deuxième énergie renouvelable ou de récupération.

Fonctionnement annuel de la chaudière bois



Production d'eau chaude sanitaire par le réseau de chaleur bois



71 % des chaudières bois ne fonctionnent pas toute l'année. L'analyse des 29 % de réseaux restants montre que toutes les classes de puissance sont présentes avec une répartition assez homogène jusqu'à 3000 kW. Plus de 50 % des réseaux de plus de 3000 kW bois mettent en marche leurs chaudières bois durant toute l'année, assurant le fond de chauffe pour les besoins en eau chaude sanitaire.

La plupart des réseaux enquêtés (71%) produisent de l'eau chaude sanitaire. Ceux qui n'en produisent pas sont en grande majorité des réseaux d'une puissance inférieure à 500 kW bois (32 réseaux sur les 38 qui n'en produisent pas).

FIGURE 20. : FONCTIONNEMENT DE LA CHAUDIERE BOIS TOUTE L'ANNEE ET PRODUCTION D'ECS PAR LE RESEAU (131 RESEAUX)

Le dimensionnement de la chaudière bois, calculé lors de l'étude de faisabilité est central. Un surdimensionnement (sauf s'il est motivé par une extension prévisionnelle du réseau) est préjudiciable à l'équilibre technique et économique du réseau de chaleur.

Une attention particulière quant aux évolutions de certains bâtiments raccordés est également à considérer lors du dimensionnement. Le maître d'ouvrage doit identifier et quantifier le plus en amont possible les futures rénovations thermiques concernant les plus gros abonnés (hôpital, habitat social, EHPAD,...), et éviter ainsi de déséquilibrer l'économie globale du projet.

L'importance accordée à l'étude de faisabilité (pour un réseau en création) ou au schéma directeur<sup>18</sup> (pour un réseau existant) est donc majeure.



## 4.2. Température des réseaux

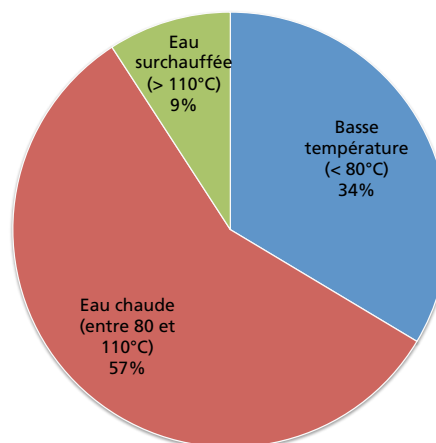
La température du fluide caloporteur est une donnée clé pour le dimensionnement et l'optimisation d'un réseau de chaleur. On dénombre 4 catégories :

- « Basse température » pour laquelle la température est inférieure à 80°C ;
- « Eau chaude » pour laquelle la température est comprise en 80 et 110°C (état liquide) ;
- « Eau surchauffée » pour laquelle la température est supérieure à 110°C (état liquide) ;
- « Vapeur ».

FIGURE 21. : TEMPERATURE DES RESEAUX (131 RESEAUX)

Près de 60% des réseaux utilisent de l'eau chaude (entre 80 et 110 °C). Très peu de réseaux (9% de l'échantillon) utilisent de l'eau surchauffée et aucun de la vapeur. La part de réseaux basse température a doublé en 2014 par rapport à 2012 (34% en 2014 contre 17% en 2012). La diminution du régime de température à un régime 75°C aller / 35°C retour permet de diminuer de façon conséquente les pertes thermiques sur le réseau de distribution. Autre élément important : plus un réseau de chaleur a un régime de température bas, plus il sera susceptible d'accueillir d'autres moyens de production (solaire, géothermale) mais aussi un stockage de chaleur, permettant ainsi de lisser les besoins de production. Le régime basse température nécessite néanmoins un réseau secondaire et des émetteurs adaptés (technologie

Température des réseaux de chaleur bois



<sup>18</sup> Voir le guide AMORCE-ADEME de réalisation d'un schéma directeur d'un réseau existant de chaleur ou de froid – réf. RCP 24, Novembre 2015

spécifique pour l'eau chaude sanitaire, radiateur basse température). Cette solution est adaptée globalement aux réseaux neufs.

Le choix du régime de température d'un réseau est fait au moment du dimensionnement du projet global (réseau de chaleur et construction des bâtiments raccordés) : le régime de température du réseau doit pouvoir être compatible avec le régime de température dans les bâtiments. **L'information des maîtres d'ouvrage des futurs bâtiments sur les régimes de température doit être menée le plus en amont possible lorsque la basse température est choisie.**

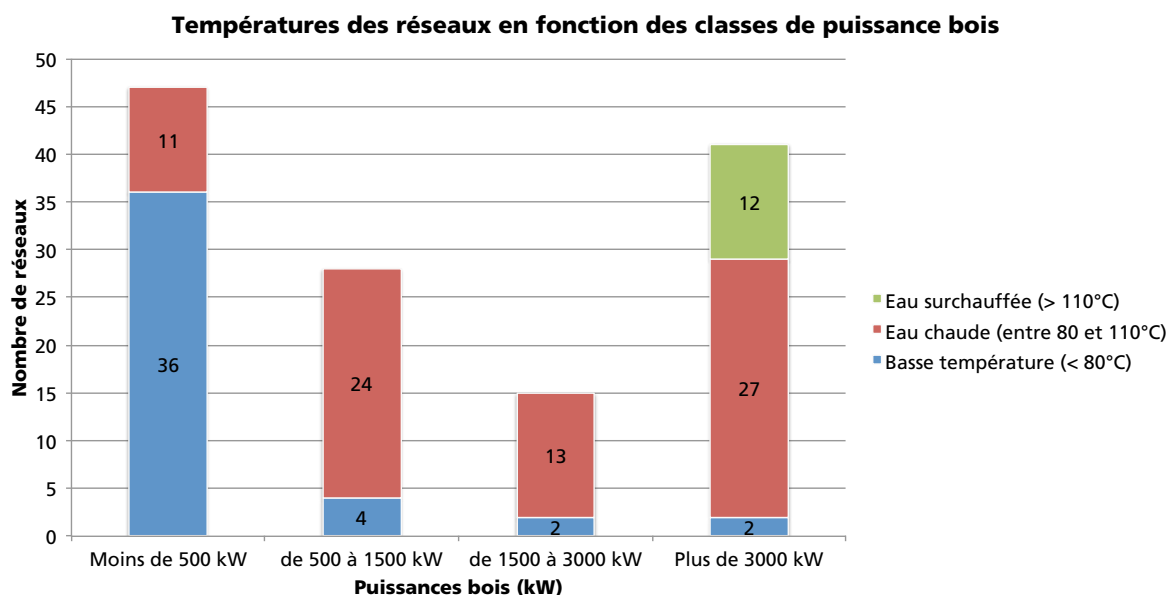


FIGURE 22. : TEMPERATURE DES RESEAUX EN FONCTION DE LEUR CLASSE DE PUISSANCE (131 RESEAUX)

On observe une nette corrélation entre les petites puissances et les réseaux de basse température. Le réseau primaire « basse température » doit être compatible aux émetteurs de chaleur dans les bâtiments connectés. Les réseaux de chaleur de plus de 500 kW comprennent une plus grande mixité d'abonnés qui ne permettent pas une livraison de chaleur à basse température (hôpital, maison de retraite).

**Le régime de température du réseau fait partie des nombreux points de vigilance pour optimiser un projet.**

### 4.3. Densité thermique

La densité thermique du réseau est un ratio essentiel lorsque l'on appréhende un réseau de chaleur, il quantifie la quantité d'énergie distribuée en sous-stations par le réseau par rapport à la longueur de réseau (MWh/mètres linéaires/an). On retient habituellement pour des nouveaux réseaux urbains une densité thermique de l'ordre de 3 MWh/ml, soit environ 1 équivalent-logement pour 4 mètres de réseau (moyenne de consommation basée sur le parc existant). Le seuil minimum retenu par l'ADEME dans le cadre du Fonds chaleur est celui d'une densité thermique supérieure à 1,5 MWh/ml/an. Des dérogations peuvent être accordée sur des projets ruraux de petites tailles.

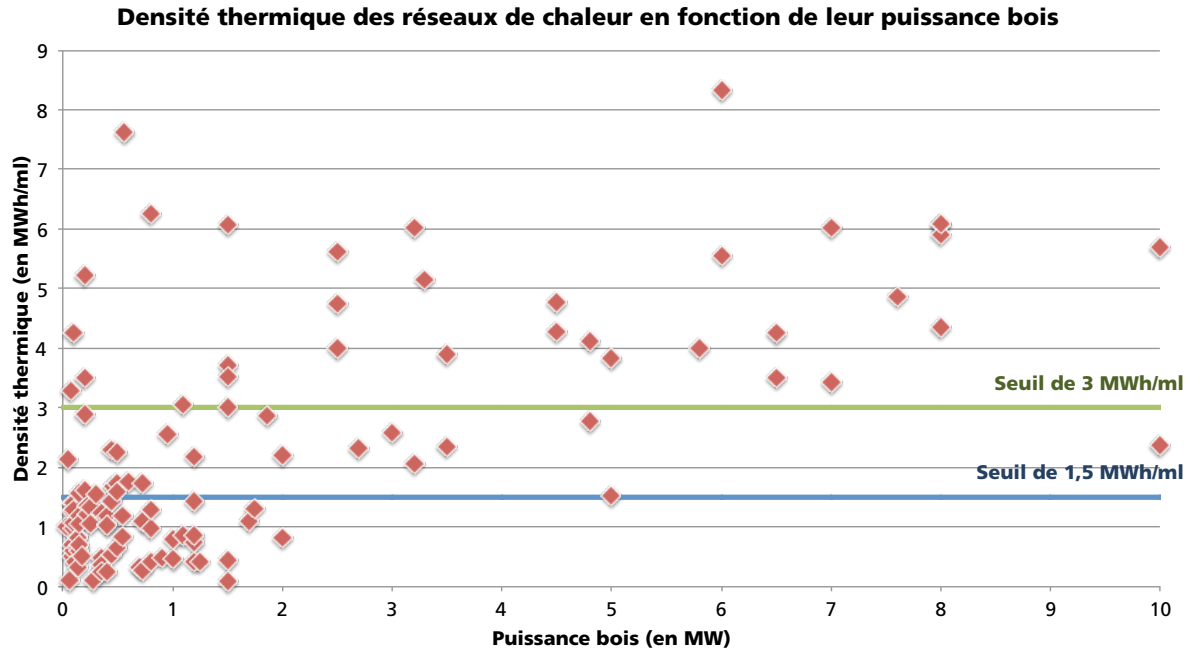


FIGURE 23.: DENSITE THERMIQUE EN FONCTION DE LA PUISSANCE BOIS (116 RESEAUX)

On remarque sur la figure 26 que ce seuil n'est pas atteint par un nombre non négligeable de réseaux (50 % de l'échantillon). Ces réseaux en deçà du seuil de 1,5 MWh/ml se caractérisent par une puissance de leur chaufferie bois comprise entre 40 et 2 000 kW. Même s'ils n'atteignent pas le seuil de puissance de 1,5 MWh/ml, ces réseaux peuvent trouver leur compétitivité économique face à une énergie de référence chère (fioul, propane, électricité). Ce graphique montre qu'en moyenne plus les réseaux ont une puissance bois élevée plus la densité thermique est élevée. Cela s'explique par la densité urbaine qui augmente avec la taille des villes : nombre d'étages des bâtiments plus élevé, étalement moindre des habitations, présence de plus gros consommateurs...

L'analyse par classe de puissance dans le graphique suivant confirme cette tendance : la densité moyenne des réseaux augmente lorsque l'on passe à la classe de puissance supérieure. On observe la même dynamique pour la longueur des réseaux.

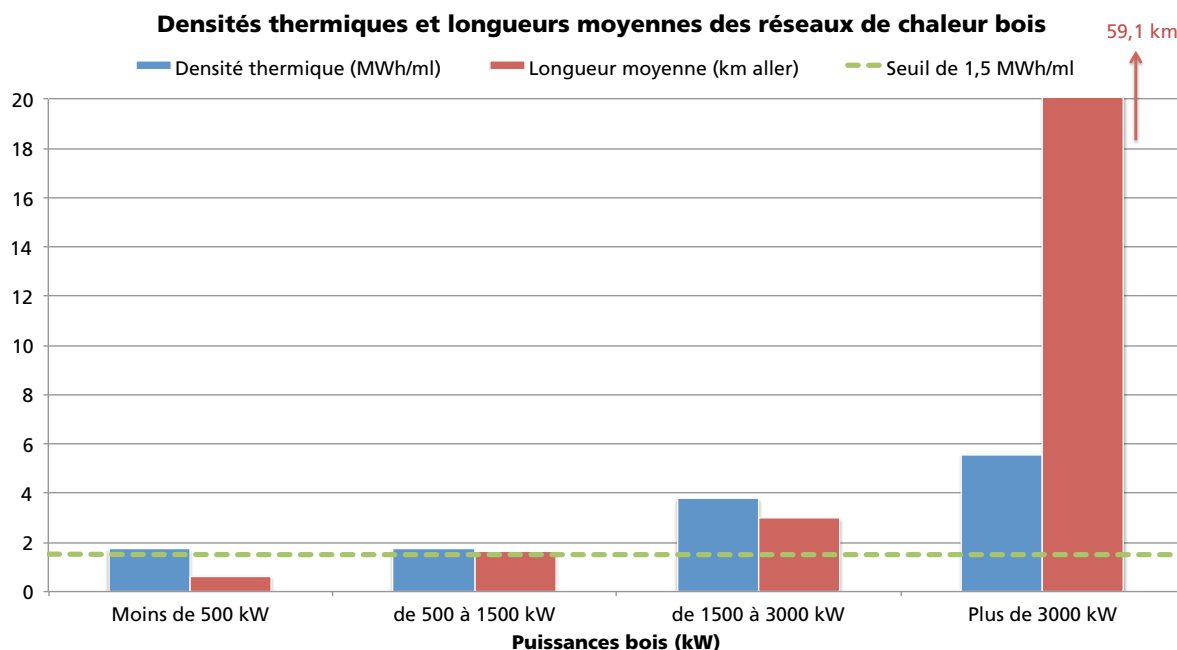


FIGURE 24.: DENSITE ENERGETIQUE ET LONGUEUR MOYENNE DES RESEAUX (131 RESEAUX)

## 4.4. Bouquet énergétique

### 4.4.1. Analyse globale

Le Fonds chaleur prévoit le financement de créations et extensions de réseaux de chaleur sous réserve qu'ils soient – entre autres – alimentés à plus de 50% à partir d'énergies renouvelables ou de récupération. Le premier constat que l'on peut tirer du graphique ci-dessous est que, quelle que soit la taille du réseau, l'objectif visé par les maîtres d'ouvrages en intégrant des EnR&R dans le mix énergétique est bien de parvenir au moins à ce seuil d'éligibilité.

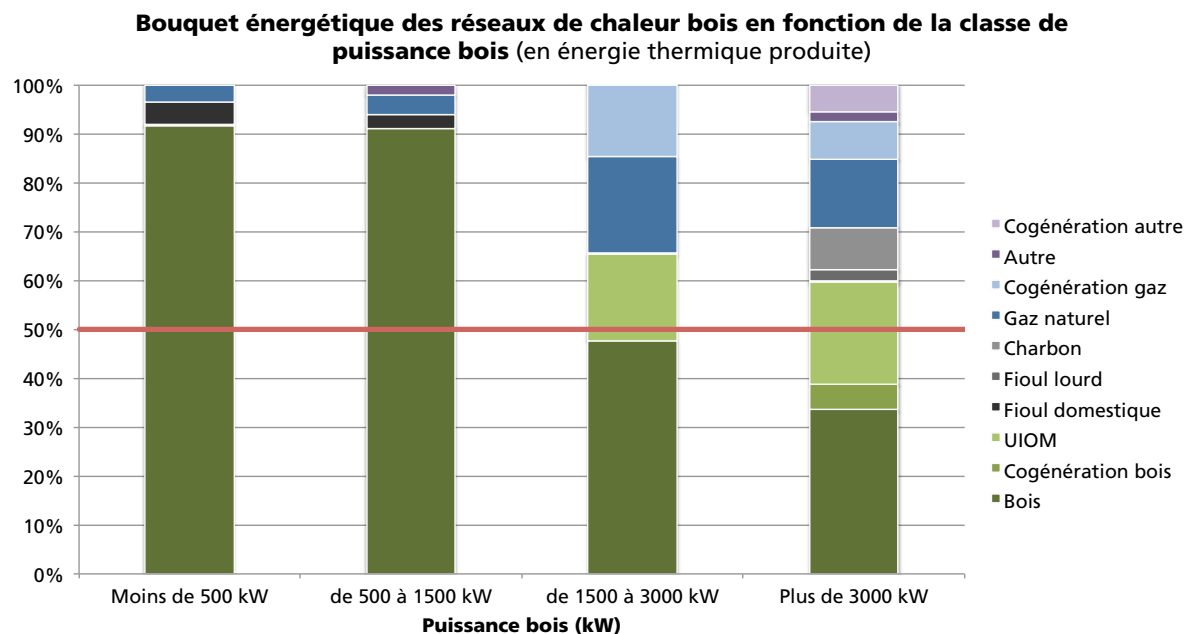


FIGURE 25.: BOUQUET ENERGETIQUE DES RESEAUX DE CHALEUR EN FONCTION DE LEUR CLASSE DE PUISSANCE (131 RESEAUX)

Si l'on complète cette première approche en observant les bouquets énergétiques par classe de puissance, on peut ainsi préciser :



- Concernant les réseaux de moins 500 kW, la part du bois représente en moyenne plus de 90% du mix énergétique. Principalement situés en zone rurale et non desservis par le réseau gaz naturel, la substitution d'énergies fossiles est importante car l'énergie bois remplace souvent l'utilisation du fioul domestique ou du propane. Il peut aussi remplacer l'utilisation du bois énergie individuel, présentant alors un gain en rendement énergétique et en émissions de particules ;
- La part bois est relativement similaire pour les réseaux compris entre 500 et 1500 kW bois ;
- Les réseaux compris entre 1 500 et 3 000 kW bois sont principalement implantés dans des communes desservies par le réseau gaz naturel (que l'on voit apparaître ici en appoint) ;
- Les réseaux de plus de 3000 kW bois sont implantés sur des agglomérations de plus grande importance. Ils comportent en moyenne près de 60% d'EnR&R notamment grâce aux énergies de récupération, principalement en raccordant les UIOM aux réseaux de chaleur (cf. étude AMORCE DT3 « Vente d'énergie produite par les unités d'Incinération d'Ordures Ménagères »). On note la grande mixité des énergies complémentaires du bois sur les plus grands réseaux.

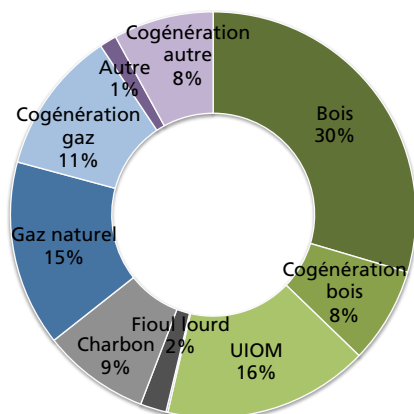
#### 4.4.2. Focus sur la cogénération

Le graphique ci-dessous se focalise sur les 18 réseaux de l'enquête qui sont alimentés par une unité de cogénération. Intégrer une cogénération sur un réseau de chaleur bois reste un équilibre technico-économique compliqué. En effet sur un réseau équipé d'une cogénération lié aux tarifs d'achat, c'est bien la turbine qui fonctionne en base afin de respecter les engagements contractuels signés avec EDF. Aussi il est souvent difficile de combiner maintien de la puissance totale de cogénération et atteinte de plus de 50% du taux d'ENR&R du réseau de chaleur. Une baisse de la puissance de la cogénération s'impose alors.

La réalisation d'un schéma directeur permet de se poser les bonnes questions et de répartir les besoins du réseau de chaleur afin de trouver le meilleur optimum technique, économique et environnemental. Plusieurs fonctionnements sont possibles sur des réseaux de chaleur avec une cogénération au gaz naturel et une chaudière bois.

FIGURE 26.: REPARTITION DU MIX ENERGETIQUE DES RESEAUX INTEGRANT UNE COGENERATION (13 RESEAUX)

#### Bouquet énergétique des réseaux de chaleur bois intégrant une unité de cogénération



## 4.5. Les fumées

Aujourd'hui les valeurs limites d'émission (VLE, ou cibles) des directives européennes sont régulièrement dépassées pour les PM10 (particules inférieures à 10  $\mu\text{m}$ ), le NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote), le O<sub>3</sub> (ozone) et les HAP (hydrocarbures aromatique polycyclique) dans plusieurs zones du territoire français. Ces polluants sont connus pour leur rôle dans l'accroissement de l'effet de serre et les dangers qu'ils peuvent causer sur la santé humaine. Les enjeux actuels de qualité de l'air dans les territoires urbanisés portent principalement sur la réduction des polluants dans l'air ambiant. Alors que des équipements individuels de chauffage au bois qui présentent un bas rendement (foyer ouvert, insert) peuvent générer des émissions de polluant importantes, les chaufferies biomasse alimentant les réseaux de chaleur permettent au contraire de maîtriser ces émissions et de les réduire. Elles permettent en effet une mutualisation des équipements et un meilleur dimensionnement global, donc un meilleur rendement et une meilleure combustion et peuvent être équipées de système de traitement des fumées.

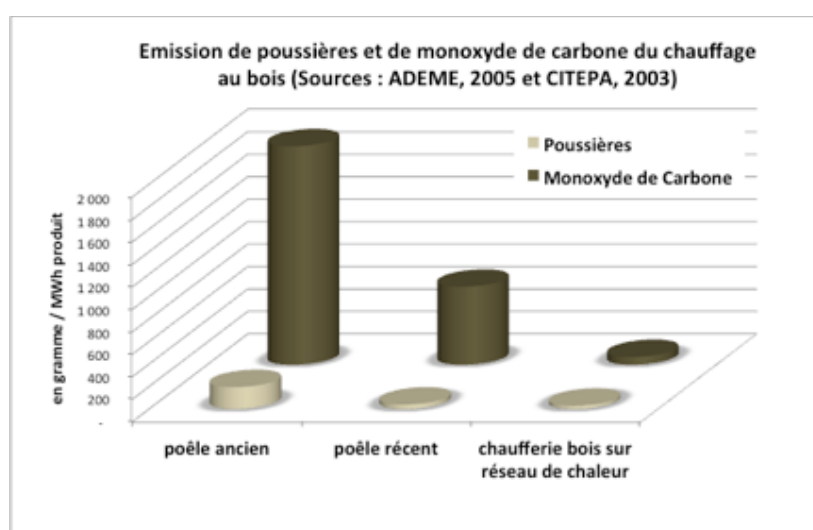


FIGURE 27. : ÉMISSIONS DE POUSSIÈRES ET DE MONOXYDE DE CARBONE SUIVANT LES MODES DE CHAUFFAGE BOIS

Il convient de prêter une attention particulière aux traitements des fumées lors de la mise en œuvre d'une installation biomasse, tout en sachant que le contenu des fumées (poussières, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, etc.) dépend des conditions de combustion et du type de combustible.

Afin de limiter ces pollutions et atteindre les objectifs du Plan National Santé Environnement 2 de 2010, plusieurs actions ont été entreprises :

- Révision des réglementations ICPE en 2013 avec des VLE plus restrictives, notamment sur les concentrations en poussières et en oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>)<sup>19</sup>.
- Mise en place de Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) dans les zones les plus exposées avec des exigences en matière d'émissions polluantes plus contraignantes.

<sup>19</sup> A noter que la directive européenne 2015/2193 du 25 novembre 2015 relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des installations de combustion moyenne fixe de nouvelles VLE pour les installations de puissance comprise entre 1 et 50 MW. Les nouvelles valeurs prévues par la directive, qui seront probablement transposées dans les arrêtés ministériels ICPE, sont plus strictes que les valeurs actuelles pour certains paramètres des « nouvelles installations ».

### Enregistrement de la qualité des fumées

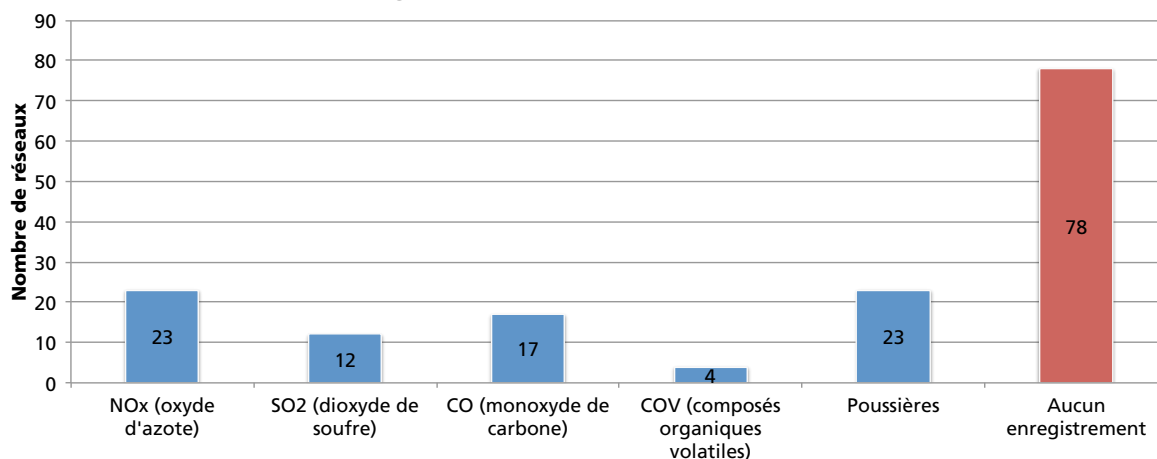


FIGURE 28. : TYPE DE POLLUANTS ENREGISTRÉS (127 RESEAUX)

Deux-tiers des réseaux enquêtés enregistrent en continu les fumées dégagées dans l'atmosphère. Notons également que 17 réseaux mesurent également le monoxyde de carbone (CO), gaz émis lorsque la combustion est incomplète. La mesure de paramètres des fumées permet d'obtenir par ailleurs des informations sur la combustion et de pouvoir ainsi la contrôler et optimiser la qualité de l'air aux environs de l'installation. C'est un des points forts de différence avec le chauffage individuel au bois pour lequel aucun contrôle n'est réalisé.

### Équipements de traitement des fumées

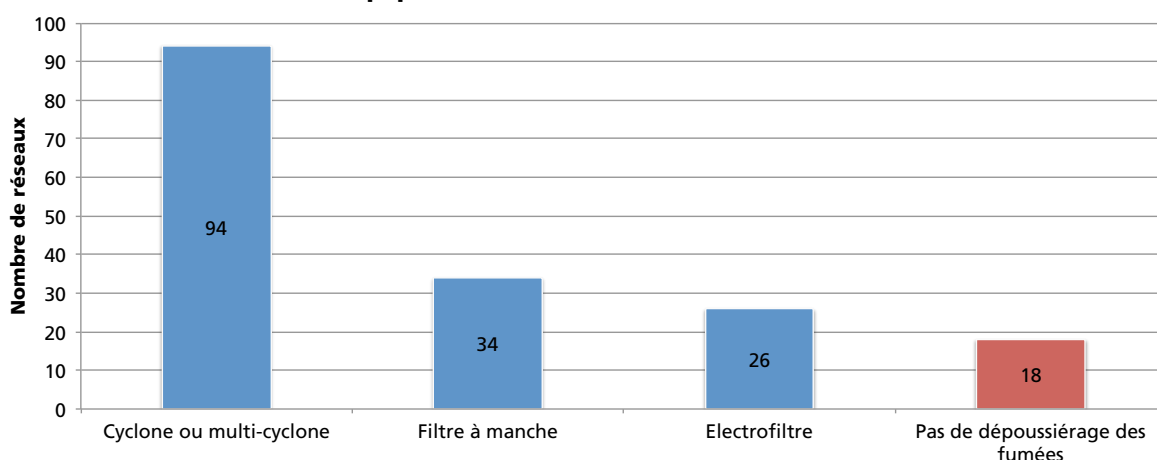


FIGURE 29. : REPARTITION DES EQUIPEMENTS DE TRAITEMENT DE FUMÉES (129 RESEAUX)

Près de 90% de l'échantillon dispose au moins d'un moyen de traitement des fumées (filtre cyclonique ou multi-cyclone en majorité). Près de 40% des chaudières bois de l'enquête disposent d'un équipement secondaire pour traiter les fumées, de façon répartie entre les filtres à manche et les électrofiltres. En effet, le filtre multi-cyclone permet de collecter les particules les plus volumineuses (> 15µm) mais ne permet pas dans la majorité des cas d'atteindre la valeur limite imposée par la réglementation. Les performances annoncées pour le multi-cyclone sont de l'ordre de 150 mg/Nm<sup>3</sup> à 11% d'O<sub>2</sub> en sortie. Un deuxième équipement est donc nécessaire pour respecter la réglementation en vigueur (cf. paragraphe suivant).

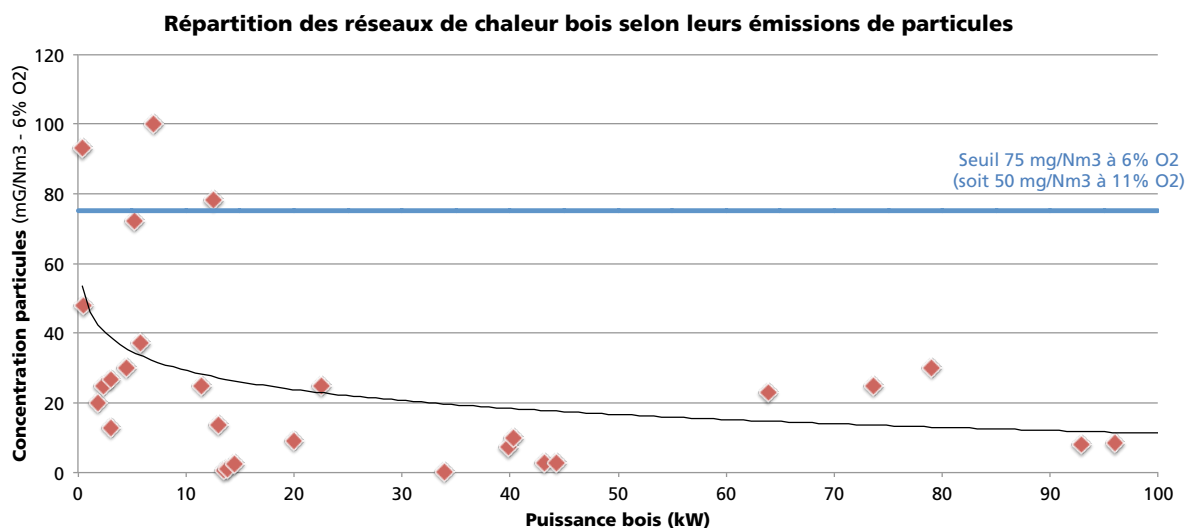


FIGURE 30.: REPARTITION DES RESEAUX DE CHALEUR BOIS SELON LEURS EMISSIONS DE PARTICULES (21 RESEAUX)

21 réseaux ont renseigné la question sur les concentrations des poussières en sortie de cheminée. La répartition des concentrations de particules est assez hétérogène : la moyenne non pondérée (les petits réseaux pèsent autant que les gros) se situe à 26,3 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub>. Seulement trois réseaux ont enregistré des concentrations en particules élevées : 78 mg/Nm<sup>3</sup>, 93 mg/Nm<sup>3</sup> et 100 mg/Nm<sup>3</sup>.

Rappel de la réglementation en vigueur concernant le rejet de poussières :

- **Installations soumises à déclaration sous la rubrique 2910-A<sup>20</sup>** : 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub>) pour les installations déclarées après le 1<sup>er</sup> janvier 2014 et à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018 pour les installations existantes. Jusqu'à cette date, les installations existantes doivent respecter entre 75 mg/Nm<sup>3</sup> et 225 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub> ;
- **Installations soumises à enregistrement sous la rubrique 2910-B<sup>21</sup>** : 50 mg/Nm<sup>3</sup> pour les installations déclarées après le 1<sup>er</sup> janvier 2014 et à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018 pour les installations existantes ;
- **Installations soumises à autorisation sous la rubrique 2910-A ou 2910-B<sup>22</sup>** : entre 20 et 30 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub> pour les installations autorisées à partir du 1<sup>er</sup> novembre 2010, et 50 mg/Nm<sup>3</sup> pour les chaudières autorisées avant le 1<sup>er</sup> novembre et à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2016 ;
- En l'absence de contraintes réglementaires, l'ADEME exige dans le cadre du Fonds Chaleur le respect d'un seuil maximum d'émission de poussières de 50 mg/Nm<sup>3</sup> à 11% d'O<sub>2</sub>, soit 75 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub>).

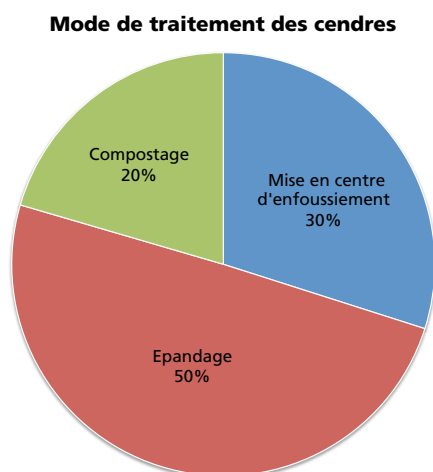
Comme dit juste avant, la mise en place d'un traitement de fumées secondaire est par essence afin de respecter les VLE réglementaires. Intégrer ce traitement après l'installation de la chaufferie peut s'avérer difficile, de nombreux paramètres perturbent cet ajout : manque de place, manque de foncier, investissement conséquent (presque le prix de la chaudière dans certaines situations). **L'installation d'un traitement secondaire doit être abordé lors de la phase de montage du projet.**

<sup>20</sup> Arrête du 26 août 2013 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations soumises à déclaration sous la rubrique 2910.

<sup>21</sup> Arrêté du 24 septembre 2013 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique 2910-B.

<sup>22</sup> Arrêté du 26 août 2013 relatif aux installations de combustion d'une puissance supérieure ou égale à 20 MW soumises à autorisation au titre de la rubrique 2910 et de la rubrique 2931.

## 4.6. Les cendres



Parmi les 127 réseaux de chaleur bois ayant renseigné leur mode de valorisation / élimination des cendres<sup>23</sup>, l'épandage agricole (répandre les cendres sur des zones cultivables) est la technique utilisée dans la moitié des cas. Le traitement dans un CET (Centre d'Enfouissement Technique) et la valorisation en compostage se répartissent l'autre moitié des cas. Notons une diminution en 2014 de la valorisation par compostage par rapport à 2012 (21% contre 29%) qui peut s'expliquer par l'échantillon 2014, constitué de chaufferies bois plus puissantes, dont la réglementation est plus exigeante concernant la valorisation des cendres.

FIGURE 31.: TYPE DE TRAITEMENT DES CENDRES (127 RESEAUX)

Concernant la valorisation agronomique des cendres, il faut distinguer entre les cendres sous foyer qui peuvent faire l'objet d'un retour au sol et des cendres volantes, qui compte-tenu de leur teneur en éléments traces métalliques sont enfouis en installations de stockage de déchets ("décharge").

Les cendres sous foyer peuvent faire l'objet d'un compostage dans des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) à la rubrique 2780 C, dès lors que l'exploitant a pu démontrer l'intérêt de recourir aux cendres pour les sols ou la nutrition des plantes ou pour le bon déroulement du processus de compostage. Il est renvoyé à l'arrêté du 2 février 1998 pour les règles concernant l'épandage du compost comprenant des cendres.



<sup>23</sup> Seules les cendres sous foyer peuvent être valorisées. Les cendres volantes, chargées en polluants, ne sont pas compatibles avec une valorisation agronomique.

## 5. ÉCONOMIE DES RÉSEAUX DE CHALEUR BOIS

### 5.1. Investissements

La pertinence économique d'un projet bois énergie est fortement corrélée à l'investissement propre à ce type d'installation. En comparaison à une énergie fossile, la mise en place d'une chaufferie bois nécessite des investissements plus conséquents (génie civil, aménagement de la voirie, silo, équipements spécifiques, traitement des fumées...).

La répartition des charges (fixes et variables) constitutives du prix de la chaleur bois se distingue clairement d'une solution fossile. Si le coût des combustibles, correspondant à la part variable (R1) penche en faveur de la biomasse, la partie fixe (R2), est inversement un poste plus conséquent. Le ratio d'investissement, rapporté en € HT par kW installé, est un des composants qui détermine la pertinence économique d'un projet bois. Il est néanmoins nécessaire d'appréhender la pertinence économique d'un projet d'une façon plus large, au travers d'un coût global, incluant d'un côté les charges d'exploitation et de maintenance, et de l'autre la quantité de chaleur livrée aux abonnés.

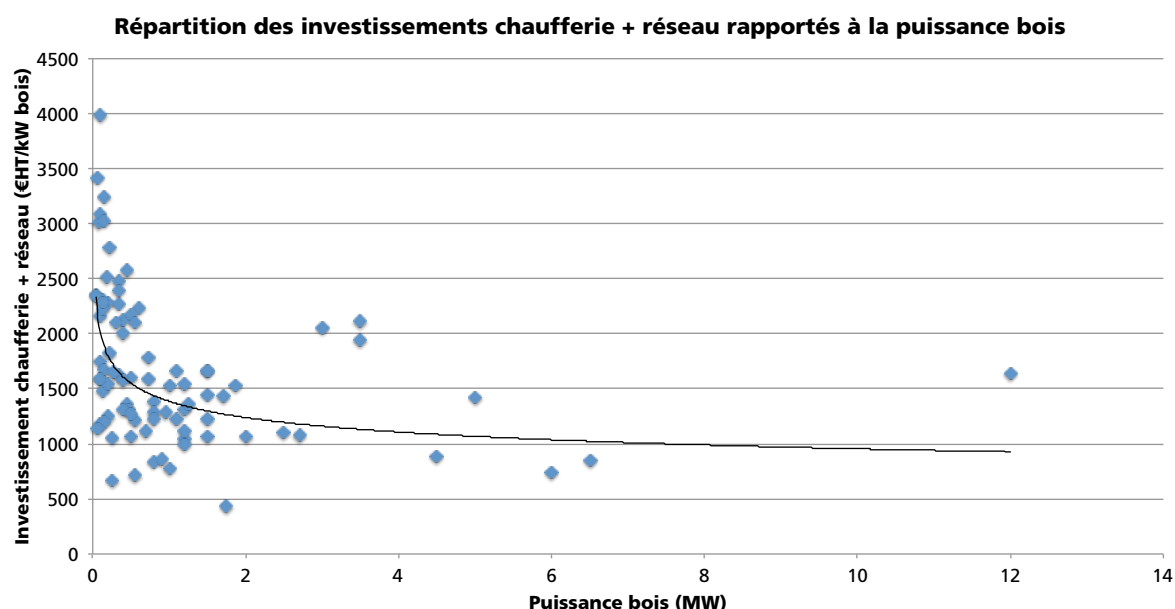


FIGURE 32.: REPARTITION DES INVESTISSEMENTS CHAUFFERIE + RESEAU RAPPORTES A LA PUISSANCE BOIS (87 RESEAUX) – CALCULS ACTUALISES A 2%

L'effet d'échelle relatif à l'investissement bois est assez sensible jusqu'à un niveau de puissance pallier. Ce seuil en 2014 est assez similaire à 2012 et se situe à un peu moins de 3 MW pour 1 200 €HT/kW. Au delà de 3 MW, on observe une relative stagnation du ratio d'investissement rapporté à la puissance de la chaufferie bois. Le ratio d'investissement moyen pondéré pour ces 87 réseaux est de 1 483 €HT/kW. A noter néanmoins la grande hétérogénéité des résultats.

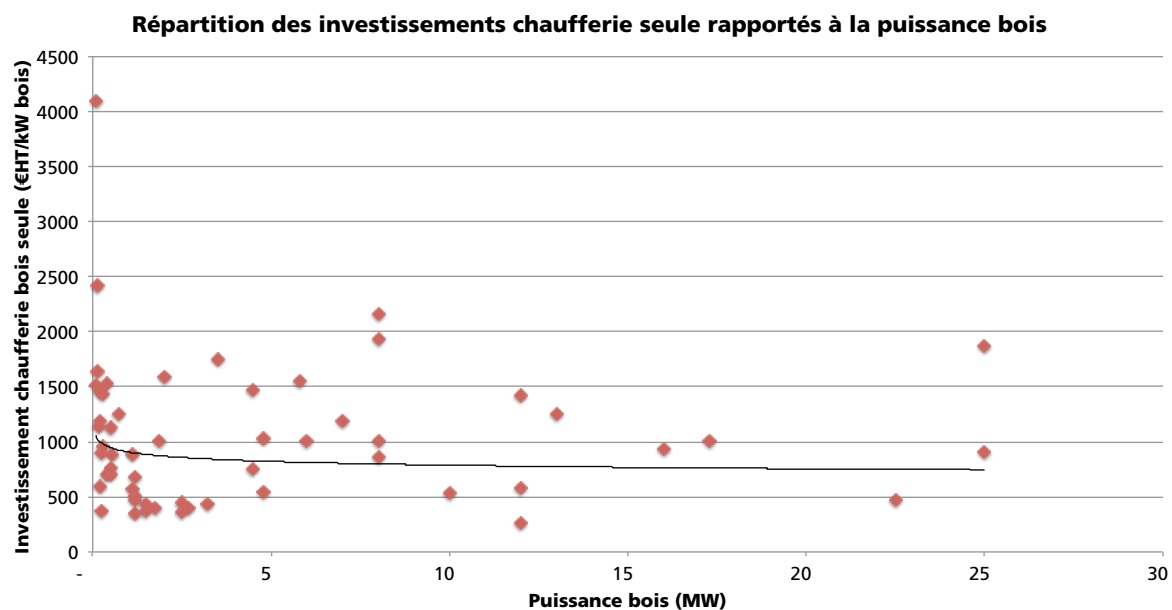


FIGURE 33.: REPARTITION DES INVESTISSEMENTS CHAUFFERIE SEULE RAPPORTES A LA PUISSANCE BOIS (56 RESEAUX) – CALCULS ACTUALISES A 2%

Si l'on s'intéresse maintenant à l'investissement sur la chaufferie bois seule, les résultats sont également assez hétérogènes avec des montants d'investissements pouvant aller de 250 à plus de 2 000 €HT/kW bois. Le ratio d'investissement moyen pondéré pour ces 56 réseaux est de 1 029 €HT/kW.

Le tableau ci-dessous présente les différents ratios d'investissement actualisés<sup>24</sup> rapportés à la puissance de la chaufferie bois (coûts d'investissement pondérés de la puissance installée) :

	Ratio chaufferie seule	
	Investissement en €HT/kW	Nb réseaux
Moins de 500 kW	1 219 €	14
de 500 à 1500 kW	685 €	11
de 1500 à 3000 kW	616 €	8
Plus de 3000 kW	1 068€	23

FIGURE 34.: RATIOS D'INVESTISSEMENT ACTUALISES (107 RESEAUX)

## 5.2. Prix de vente de la chaleur

### 5.2.1. Analyse dynamique par classe de puissance

Le prix de vente moyen de la chaleur constatée en 2014 sur notre échantillon se situe à **73,4 €HT/MWh**. Comparativement, le prix de vente moyen de la chaleur en 2014 des réseaux de chaleur en France, toutes énergies confondues, est de 72,2 €HT/MWh<sup>25</sup>. La faible rigueur hivernale de 2014 combinée à une structure tarifaire avec une forte part fixe peut expliquer le fait que les réseaux bois énergie soit, pour cette année, légèrement plus chers (en euros hors taxes) que la moyenne de tous les réseaux.

<sup>24</sup> Taux d'actualisation de 2% permettant de comparer des investissements réalisés à des périodes différentes.

<sup>25</sup> Publication AMORCE/ADEME RCE 25 – Comparatif des modes de chauffage et prix de vente de la chaleur (rapport 2015 – données 2014).

### Evolution du prix moyen de la chaleur ventilé par classe de puissance

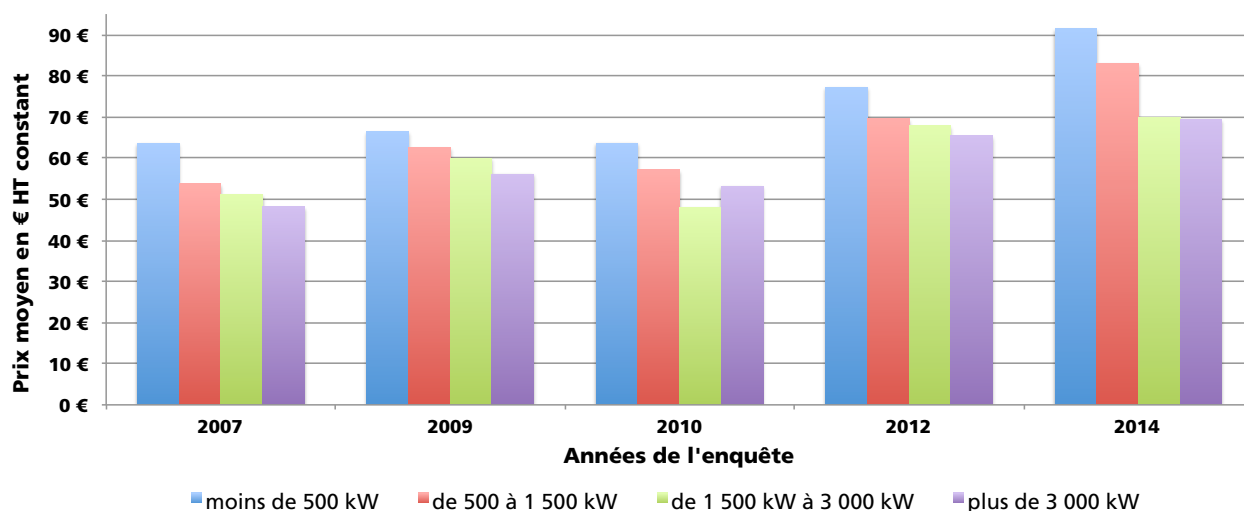


FIGURE 35.: PRIX MOYEN DE VENTE DES RESEAUX DE CHALEUR BOIS DEPUIS 2007 (DONNEES DES DIFFERENTES ENQUETES AMORCE)

Puissance chaudière bois	2007	2009	2010	2012	2014
Indice de rigueur climatique	0,87	0,96	1,13	1,01	0,79
Prix moyen pondéré	54,1 €	61,3 €	55,5 €	65,6 €	69,7 €
Panel		56 réseaux	96 réseaux	96 réseaux	90 réseaux

L'indice de rigueur climatique, « anormalement bas » en 2014<sup>26</sup> (dû à une année relativement chaude) a un réel impact sur le coût unitaire de la chaleur, particulièrement sur les 2 premières classes de puissance, soit près de 15% d'augmentation par rapport à 2012. L'abonnement R2 (charges fixes) est en effet réparti sur des livraisons de chaleur quantitativement plus faibles, augmentant ainsi le prix unitaire de la chaleur de l'abonné. Cette tendance est plus modérée pour les gros réseaux (+ 6%), outre une économie d'échelle grâce à un meilleur foisonnement<sup>27</sup> des besoins de chaleur, bénéficiant d'une légère diminution des tarifs fossiles (gaz naturel), part importante de leur mixité énergétique (Cf. Figure 20 - page 22).

Pour autant, il convient de rappeler que le coût global annuel moyen des ménages chauffés aux réseaux de chaleur au bois est plus faible qu'avec les autres modes de chauffage. Les chaufferies de plus de 3 MW sont généralement mises en œuvre sur des réseaux de chaleur préexistants. Le bois ne représentant qu'une part du bouquet énergétique, le prix n'est ainsi que partiellement lié à l'introduction de bois-énergie : le reste du mix énergétique, les autres caractéristiques du réseau peuvent avoir un impact plus important sur le prix.

Le tableau suivant reprend les données de prix moyen pondéré tout en faisant apparaître l'indice de rigueur climatique pour chaque année :

<sup>26</sup> Les premières données 2015 laissent apparaître un indice de rigueur climatique encore plus bas que 2014.

<sup>27</sup> Le foisonnement est le phénomène par lequel la demande de chaleur d'un quartier est lissée, du fait du caractère asynchrone des besoins des différents bâtiments. Il permet de mieux mutualiser l'investissement dans les équipements de production de chaleur.



### Evolution du coût de la chaleur en fonction de la rigueur climatique

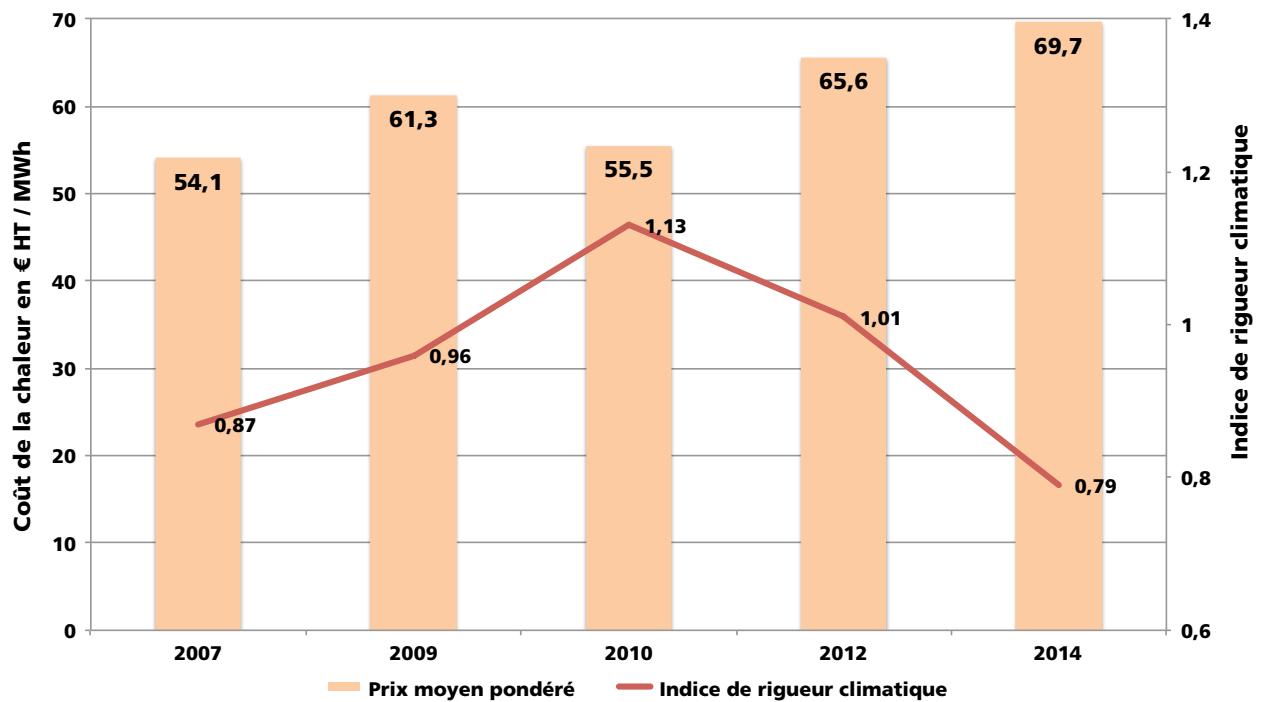


FIGURE 36.: EVOLUTION DU COUT DE LA CHALEUR EN FONCTION DE LA RIGUEUR CLIMATIQUE

La corrélation entre rigueur climatique et coût de chaleur est visible (mise à part entre 2007 et 2009). L'augmentation du coût de la chaleur entre 2012 et 2014 est de l'ordre de 6% (soit 3% d'augmentation par an).

Le dimensionnement d'une chaudière bois, calculé au plus près des besoins de chaleur prend en compte la rigueur climatique. Cet indicateur rend compte de l'évolution de l'indice de rigueur climatique utilisé dans les calculs de consommation d'énergie. Une vigilance particulière doit être portée quant à l'évolution de cet indice dans le futur.

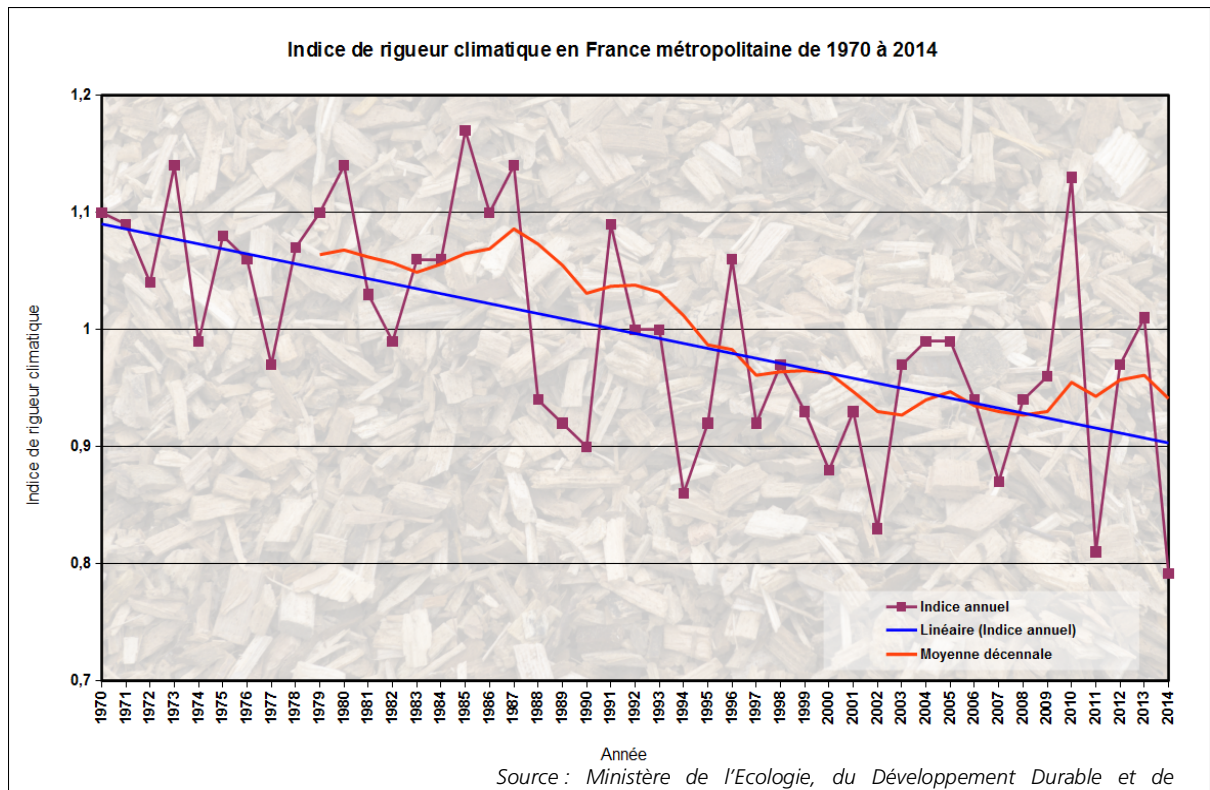


FIGURE 37.: INDICE DE RIGUEUR CLIMATIQUE EN FRANCE METROPOLITAINE DE 1970 A 2014

## 5.2.2. Focus sur l'année 2012

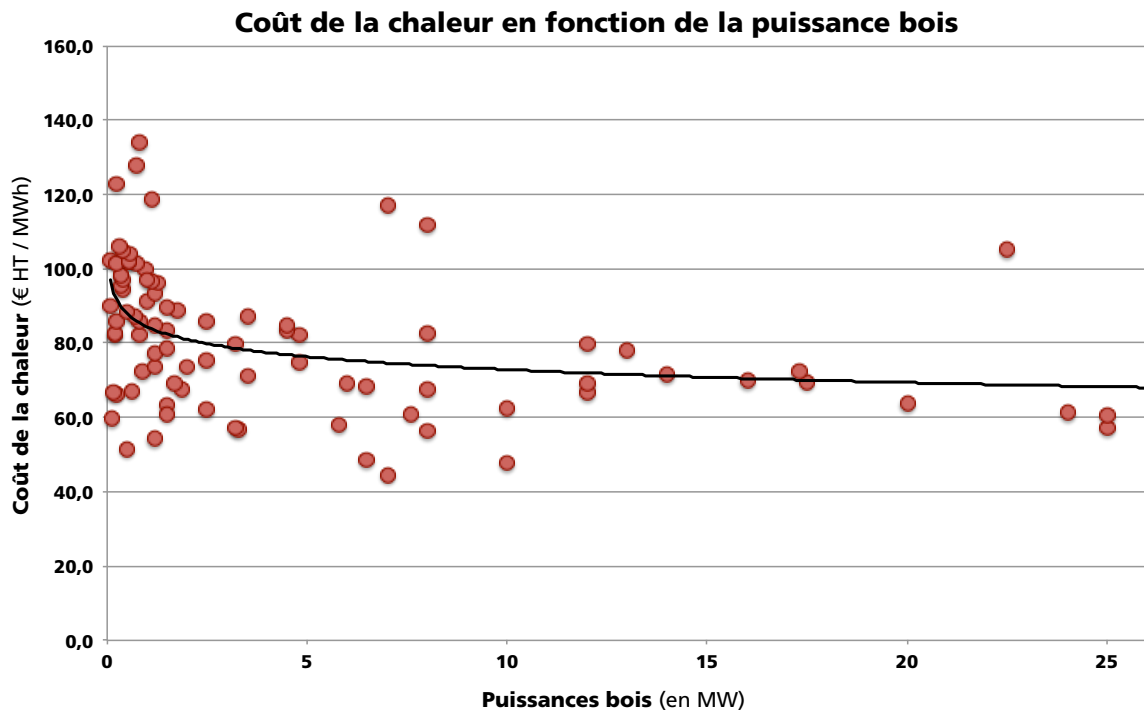


FIGURE 38.: COUT DE LA CHALEUR EN FONCTION DE LA PUISSANCE BOIS (88 RESEAUX)

Le graphique ci-dessus souligne bien la variabilité de la tarification de la chaleur pour chacun des réseaux enquêtés. L'hétérogénéité des résultats sur les petites puissances (amplitude de 45 à 134 € HT/MWh soit un facteur 3) se réduit néanmoins dès que l'on dépasse 5 MW pour

atteindre une valeur moyenne de **70 € HT/MWh**, illustrant ainsi les économies d'échelle réalisées sur les réseaux traitant de gros volumes de vente d'énergie.

Les points qui peuvent être qualifiés d' « atypiques » ne sont pas nécessairement le reflet de réseaux en difficulté mais peuvent être des réseaux qui trouvent une pertinence économique face à des énergies de référence plus chères.

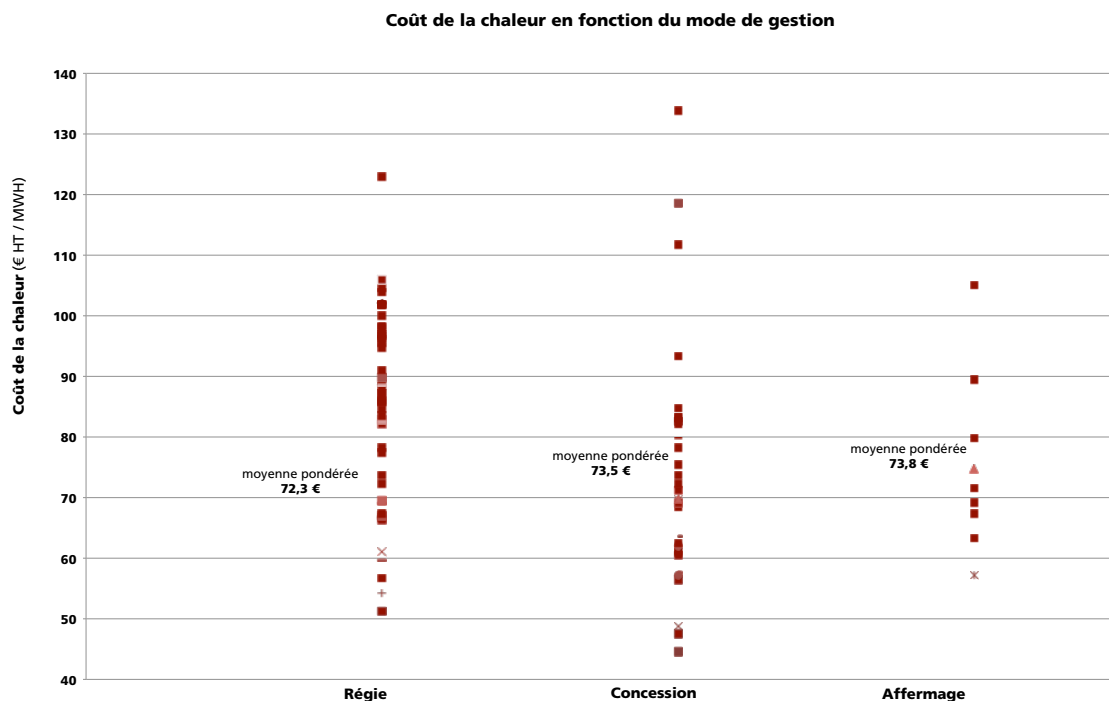


FIGURE 39. : COUT DE LA CHALEUR EN FONCTION DU MODE DE GESTION

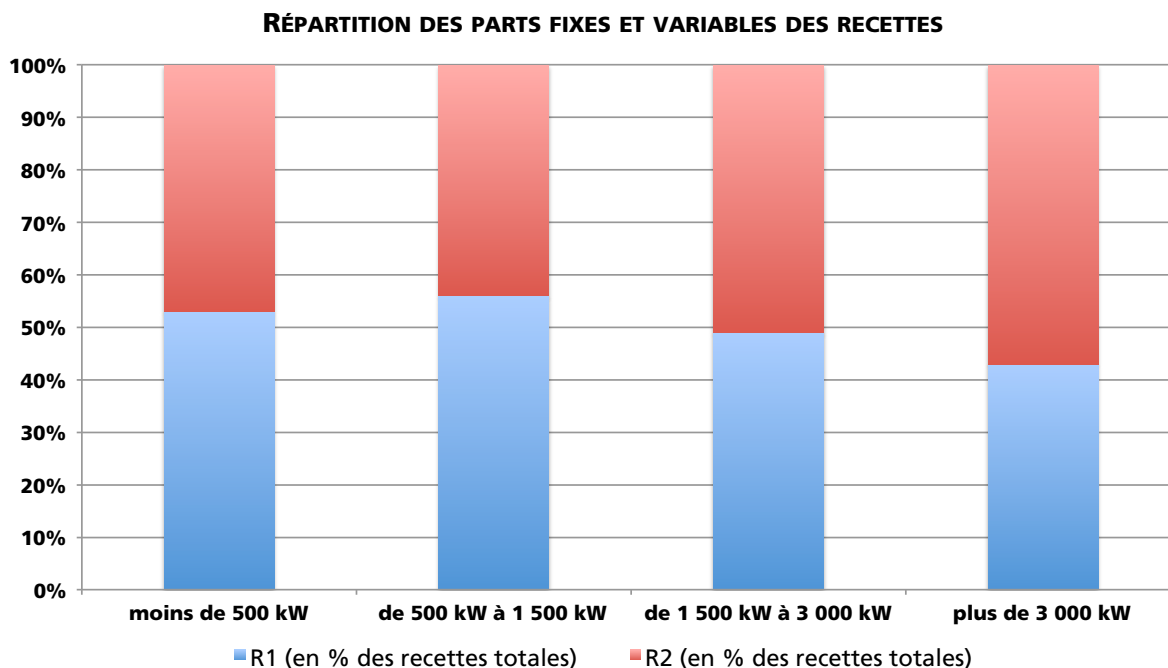


FIGURE 40. : REPARTITION DES PARTS FIXES ET VARIABLES DES RECETTES (54 RESEAUX)

Le tableau ci-dessus indique la répartition des recettes de vente de chaleur par classe de puissance des réseaux. Le R1 correspond à la partie variable<sup>28</sup> tandis que le R2 correspond à la partie fixe<sup>29</sup>

Globalement la part R1 tend à diminuer avec la puissance de la chaudière bois. Les petits réseaux sont donc plus sensibles aux variations de prix des combustibles.

Pour rappel la répartition des charges se distingue clairement par rapport à 2012 (R1 62% - R2 38%). Cette disparité est à corréliser avec les indices de rigueur climatique : des livraisons de chaleur diminuées et des charges fixes à répartir sur des quantités moindres.

### 5.3. Analyse des indices de révision

La part bois du terme R1 (terme variable fonction des quantités livrées) du prix de vente de la chaleur fait l'objet d'une indexation qui diffère selon les réseaux. Une bonne moitié des réseaux indexent cette part avec des indices de révisions prenant en compte le coût horaire du travail, le coût des machines à bois, les coûts de transport et des indices sur le prix du bois.

Mais de nombreux réseaux n'intègrent pas cette indexation du bois et prennent en compte d'autres indices indépendants de ce dernier (prix des produits énergétiques, prix des combustibles solides). Plusieurs réseaux de petites puissances revoient leurs prix de vente de la chaleur directement en fonction de paramètres externes : investissement initial, emprunt réalisé, équilibre économique, livraisons thermiques, etc. Ces réseaux, souvent gérés en régie ne recherchent pas de bénéfices mais veulent seulement maintenir la balance économique du projet. Ils fixent les prix de manière à ce que la collectivité ne soit pas déficitaire.

Pour plus d'information, voir la publication d'AMORCE RCE 16 « L'essentiel sur les indices Bois Energie ».

### 5.4. Subventions et aides à l'investissement

Aides	Nb réseaux	Aides totales
Europe	27	10 610 378 €
Ademe	70	42 820 793 €
CR	59	19 087 080 €
CD	49	5 700 521 €
CEE	12	1 718 583 €
Autre	14	4 861 016 €

FIGURE 41.: REPARTITION DES AIDES EN FONCTION DES FINANCEURS (85 RESEAUX)

<sup>28</sup> R1 : part proportionnelle à la consommation d'énergie primaire du réseau de chaleur qui s'exprime en €/HT/MWh. Il dépend des combustibles utilisés (fioul, charbon, gaz, bois) et des prix d'acquisition de chaleur (UIOM, cogénération, rejets industriels). Au final, ce terme est représentatif de la consommation énergétique.

<sup>29</sup> R2 : abonnement ou partie fixe. Il est proportionnel à la puissance souscrite ou à la surface chauffée ; R2 s'exprime en €/HT/kW souscrit.an, en €/HT/m<sup>2</sup>.an ou en €/HT/URF.an (l'URF, ou UFF, ou UFR, est une « unité de répartition forfaitaire », permettant la répartition de la part fixe entre les abonnés.



### Répartition des aides à l'investissement par taille de projet et financeurs

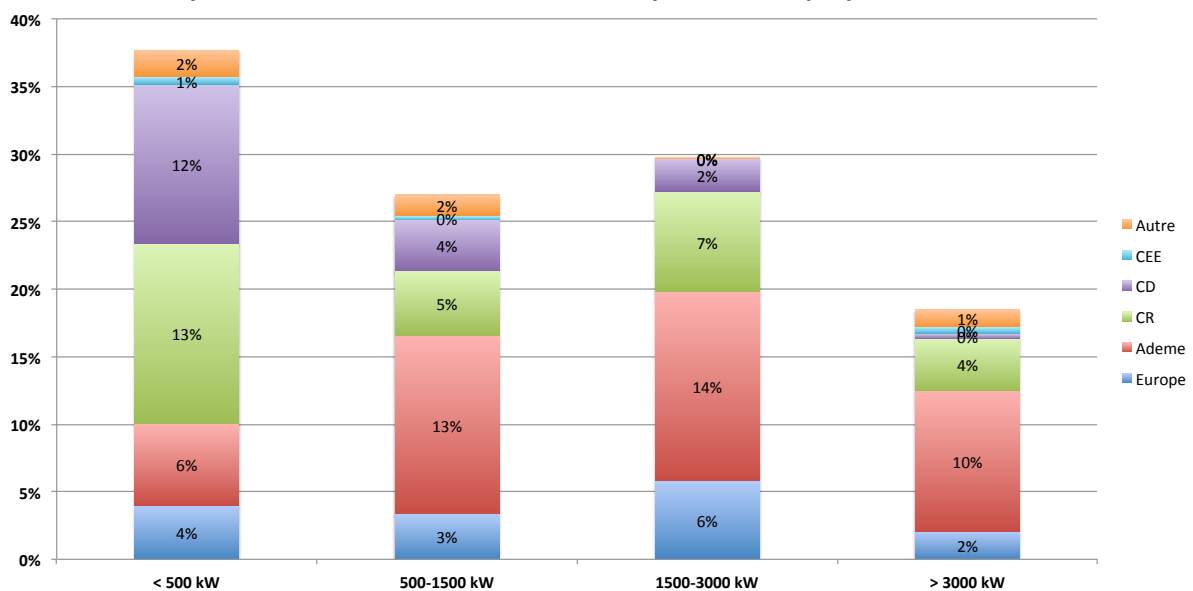


FIGURE 42.: REPARTITION DES AIDES RAPPORTEES AUX INVESTISSEMENTS, VENTILEES PAR PUISSANCES ET FINANCEURS (85 RESEAUX)

Au travers le graphique ci-dessus, on constate que le niveau des aides par financeurs fluctue de manière significative selon la classe de puissance bois. Pour exemple, les Départements financent à hauteur de 10% les projets de moins de 500 kW, généralement dans le cadre d'un PCET (Plan Climat Energie Territorial), permettant ainsi de rendre attractif des projets bois énergie locaux, générateurs d'emplois non délocalisables. Inversement, les Départements ne financeront pas des projets bois plus importants, dont l'équilibre économique est plus facilement atteint.

De façon générale, le niveau des aides oscille en effet entre 45 et 50% pour les tranches de puissances inférieures à 3 000 kW. On observe une baisse significative des subventions rapportées aux investissements pour les réseaux de plus de 3 MW (aides de l'ordre de 30%).

Pour rappel la répartition des aides ci-dessus est mesurée en part relative par tranche de puissances comparée au montant total des investissements. La répartition des aides en valeur absolue (figure 40 ci-dessous) démontre toutefois que les projets bois de plus 3 000 kW concentrent la majorité des subventions, via le fonds chaleur.

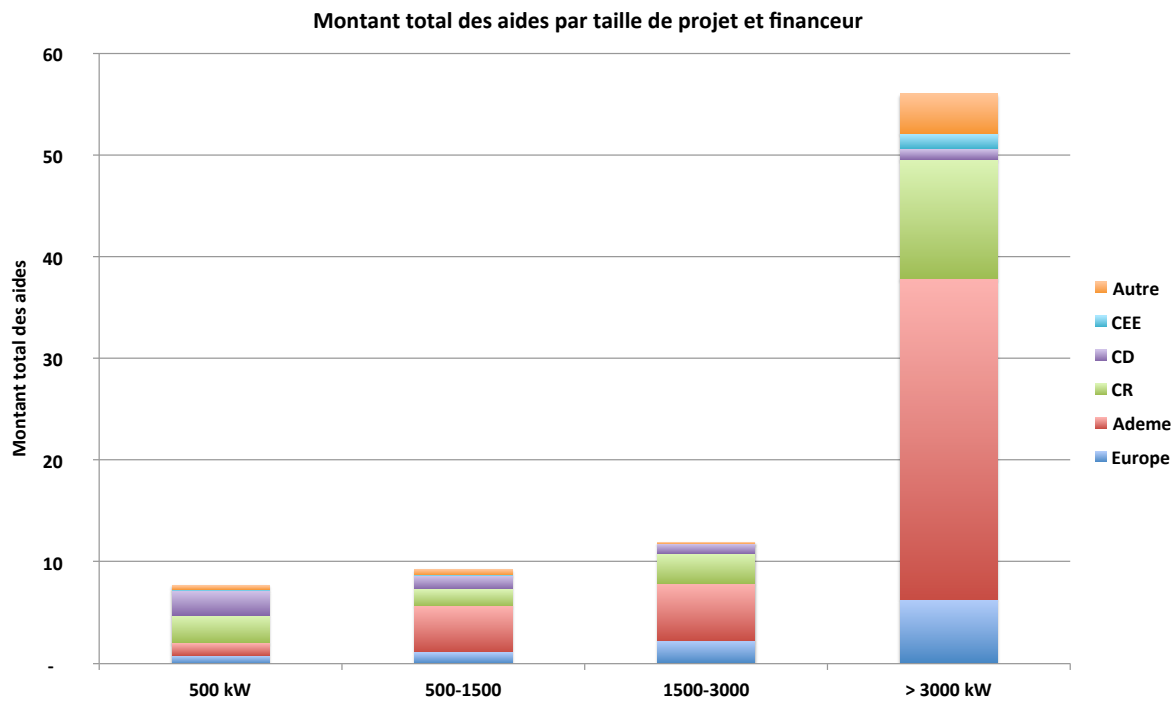


FIGURE 43.: REPARTITION DES AIDES EN M €, VENTILEES PAR PUISSANCES ET FINANCEURS (85 RESEAUX)



## 6. APPROVISIONNEMENT BOIS

---

### 6.1. Rappel juridique sur les régimes des installations classées de combustion

Toute installation de combustion peut être, selon sa puissance et les combustibles qu'elle utilise, considérée comme installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE). Les installations de combustion relèvent de la nomenclature **ICPE 2910** en fonction des caractéristiques suivantes :

**2910-A** : installations consommant des **combustibles dits « commerciaux »**. On entend par combustibles commerciaux (hormis les combustibles fossiles) :

- Biomasse composée d'une matière végétale agricole ou forestière susceptible d'être employée comme combustible en vue d'utiliser son contenu énergétique ;
- Déchets végétaux agricoles et forestiers ;
- Déchets de biomasse, normalement utilisés dans des installations soumises à la rubrique 2910-B, mais qui ont fait l'objet d'une sortie du statut de déchet ;
- Produits connexes de scierie ;
- Les produits ayant fait l'objet d'une procédure de **sortie de statut de déchet** ;

Ces installations sont classées si **elles dépassent une puissance de 2 MW**. Si l'installation est de puissance comprise entre 2 et 20 MW, elle est soumise à déclaration et si elle est de puissance supérieure à 20 MW, elle est soumise à autorisation.

**2910-B** : Cette sous-rubrique regroupe les installations consommant certains déchets de biomasse, à l'exclusion des combustibles commerciaux et du biogaz :

- Biogaz autre que celui utilisé dans les installations classées au titre de la rubrique 2910-C ;
- Déchets végétaux provenant du secteur industriel de la transformation alimentaire, si la chaleur produite est valorisée ;
- Déchets végétaux fibreux issus de la production de pâte vierge et de la production de papier à partir de pâte, s'ils sont co-incinérés sur le lieu de production et si la chaleur produite est valorisée) ;
- Déchets de bois, à l'exception des déchets de bois qui sont susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement ;
- Déchets, normalement brûlés dans des installations d'incinération, mais qui ont fait l'objet d'une sortie du statut de déchet, elles sont alors classées si elles dépassent une puissance de 0,1 MW au titre de la rubrique 2910-B. Si l'installation est de puissance comprise entre 0,1 et 20 MW, elle est soumise à enregistrement et si elle est de puissance supérieure à 20 MW, elle est soumise à autorisation.

Si l'installation consomme un combustible différent de ceux utilisés en 2910-A et en 2910-C et de ceux listés ci-dessus et qu'elle est de puissance supérieure à 0,1 MW alors elle est soumise à **autorisation** quelle que soit sa puissance.

**2910-C** : Cette sous-rubrique regroupe les **installations de puissance supérieure à 0,1 MW consommant du biogaz** produit par des installations classées sous la rubrique 2781-1 (méthanisation de matière végétale brute, effluents d'élevage, matières stercoraires, lactosérum et déchets végétaux d'industries agroalimentaires).

- Si elle utilise dans son approvisionnement 100% de bois « propre » (plaquettes forestières, produits connexes de scierie, écorces) et si la puissance totale installée est supérieure à 2 000 kW : elle est soumise au régime de la déclaration ;

- Si elle utilise dans son approvisionnement un autre combustible que du bois propre (bois de recyclage, DIB, déchets de bois de chantier...) et que la puissance totale installée est supérieure à 100 kW : elle est soumise au régime de l'enregistrement ;
- Si la puissance totale installée est supérieure à 20 MW, elle est soumise au régime de l'autorisation.

## 6.2. Type de combustible biomasse

Les différents types de biomasse utilisés dans les chaudières bois sont :

- Les plaquettes forestières (PF) ;
- Les produits connexes issus des industries du bois (CIB) ;
- Les produits bois en fin de vie : broyats de bois regroupés en 2 sous groupes SSD et hors SSD (Statut de Sortie de Déchets) ;
- Les déchets industriels banals (DIB).

D'autres types tels que les granulés bois, paille, miscanthus peuvent être également utilisés.

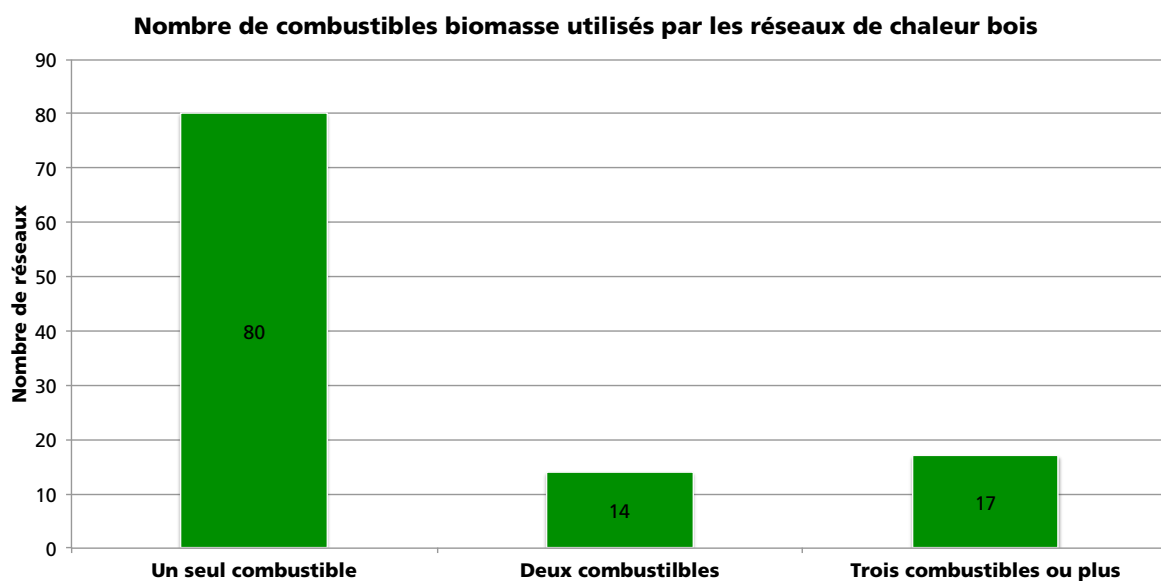


FIGURE 44.: NOMBRE DE COMBUSTIBLES BIOMASSE UTILISES PAR LES RESEAUX DE CHALEUR BOIS (111 RESEAUX)

Le graphique ci-dessus montre le nombre de combustibles biomasse utilisés dans les chaufferies bois varie d'un réseau de chaleur à un autre. Plus de 70% des chaufferies bois sont alimentées avec un seul type de combustible. Cela peut s'expliquer par des contraintes techniques, notamment pour optimiser le fonctionnement de la chaudière, des contextes locaux (par exemple, présence d'une scierie à proximité) mais aussi par des contraintes logistiques et économiques. La puissance moyenne des chaufferies biomasse utilisant un seul combustible est plus faible (2,5 MW) que la moyenne de l'enquête (4,3 MW). Les réseaux utilisant plus d'un combustible (30 % de l'échantillon) ont quant à eux une puissance moyenne de 7,6 MW. Traitant des quantités de bois beaucoup plus importantes, ces réseaux peuvent mélanger les combustibles car les chaudières bois de plus grosse puissance fonctionnent sur des plages d'humidité du combustible, de Pouvoir calorifique (PCI) et de granulométrie du bois plus larges. Les produits connexes de scierie et les bois de recyclage, tout deux de nature plus sèche, sont souvent mélangés à d'autres combustibles pour permettre d'optimiser les rendements de combustion.



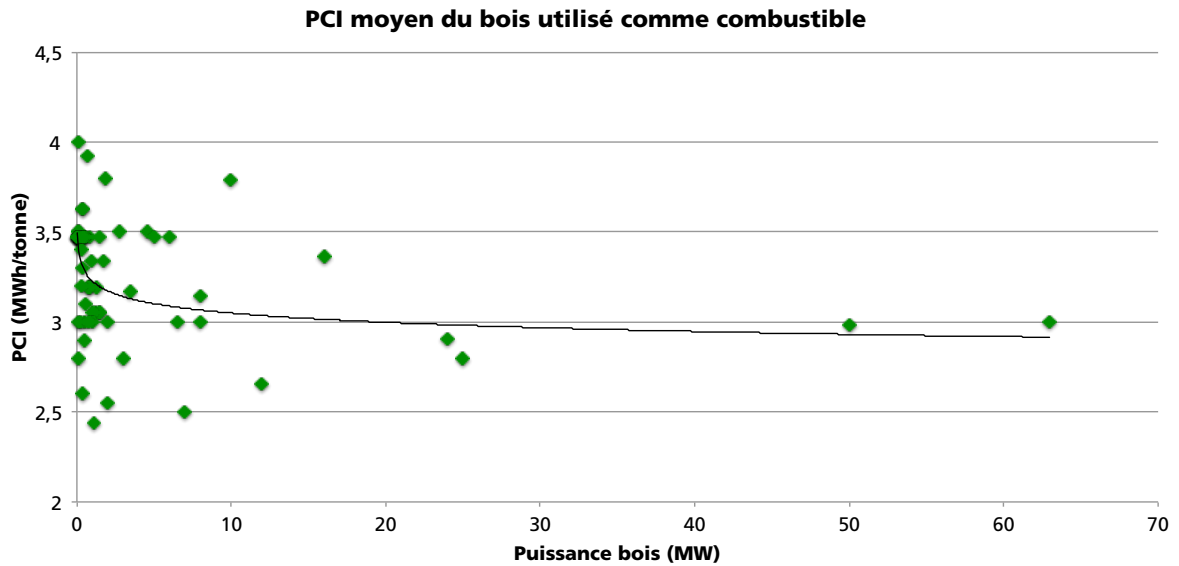


FIGURE 45.: PCI MOYEN DU BOIS UTILISE COMME COMBUSTIBLE (79 RESEAUX)

On observe globalement une corrélation entre le PCI moyen du bois utilisé et la puissance de la chaudière bois. Les chaudières de faible puissance utilisent des bois avec un PCI assez élevé, de l'ordre de compris entre 3 et 3,5 MWh/tonne. Cette tendance diminue quand on augmente la puissance, les chaudières pouvant brûler des combustibles plus humides (et donc un PCI plus bas).

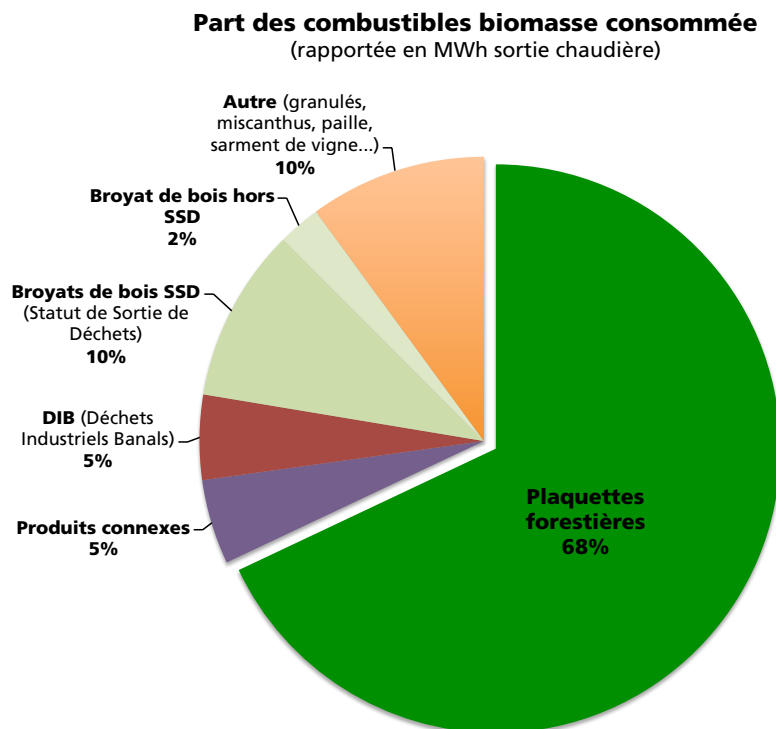


FIGURE 46.: PART DES COMBUSTIBLES BIOMASSE CONSOMMEE (81 RESEAUX)

La plaquette forestière est le combustible biomasse le plus utilisé. Le recours à un niveau minimum de plaquettes forestières est en effet imposé par le Fonds Chaleur (30 à 50% selon la taille de la chaudière).

Enfin, un seuil minimal d’approvisionnement dans des forêts gérées durablement est demandé depuis 2014 (sur la part de plaquette et de connexes des d’industries) disposant d’une certification valable (PEFC<sup>30</sup>, FSC<sup>31</sup> ou équivalent).

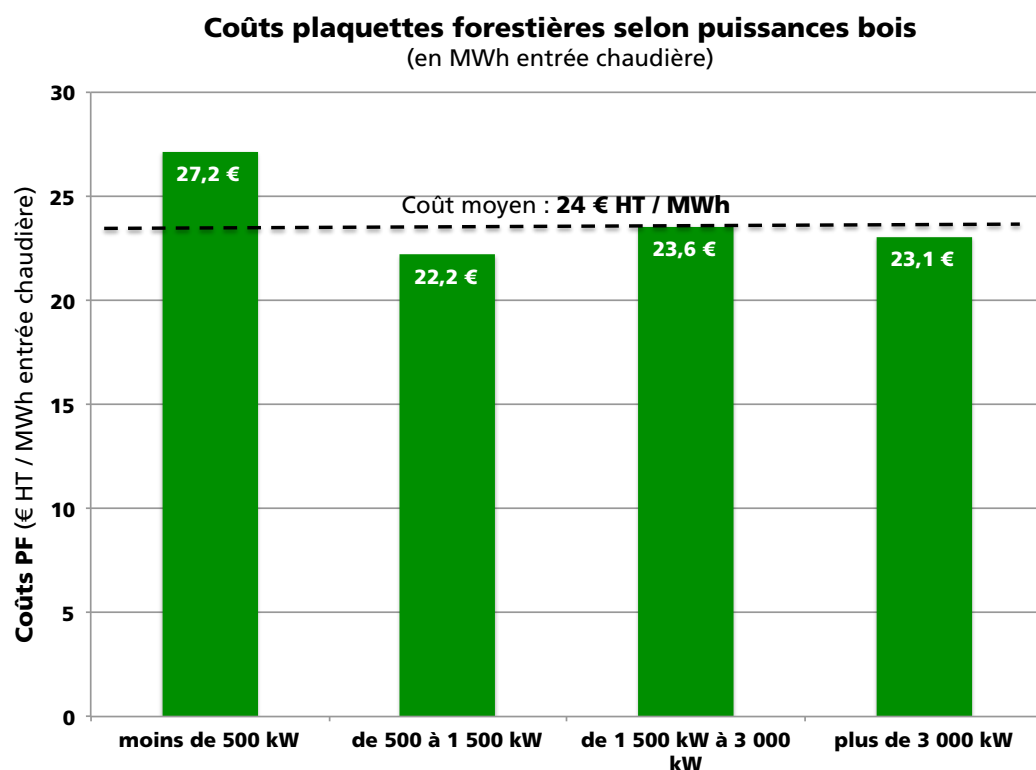


Figure 47.: Coûts des plaquettes forestières selon puissances (81 réseaux)

Le prix des plaquettes forestières varie de 45 € à 110 €/tonnes, avec une moyenne de 78 €/tonnes. Ces grandes variations peuvent s’expliquer par la proximité géographique du fournisseur, les économies d’échelle et le taux d’humidité contractuel.

Le coût de la plaquette forestière rapporté en €/MWh entrée chaudière, réellement représentatif en terme de contenu énergétique, varie de 15 à 32 €/MWh avec une moyenne de 24 €/MWh.

<sup>30</sup> PEFC : Programme de Reconnaissance des Certifications forestières ; est un écolabel certifiant que le produit sur lequel est apposé le logo est constitué d’au moins 70 % de bois issu d’une forêt gérée durablement

<sup>31</sup> FSC : « Forest Stewardship Council » est un écolabel certifiant que le bois est issu d’une forêt gérée durablement



### 6.3. Fournisseur de combustible biomasse

**Fournisseur du combustible biomasse**  
(moyenne non pondérée)

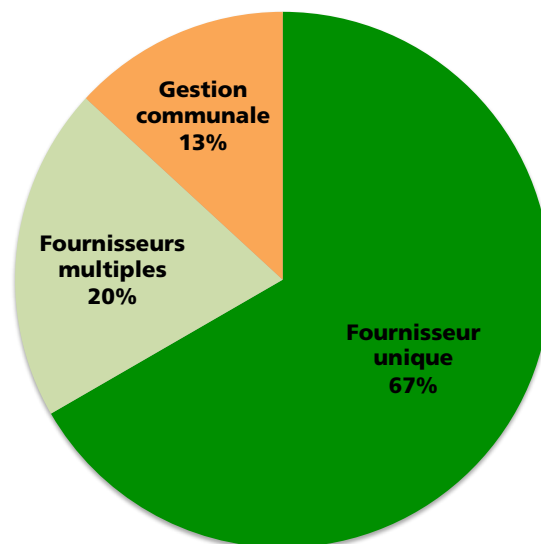


FIGURE 48.: TYPE D'APPROVISIONNEMENT BIOMASSE (114 RESEAUX)

Un contrat unique d'approvisionnement bois se retrouve sur 67 % des réseaux (moyenne non pondérée), facilitant ainsi la gestion en terme technique et contractuelle. 20% des réseaux sélectionné plusieurs fournisseurs, ce qui peut représenter une certaine sécurité d'approvisionnement.

Enfin une part croissante de communes choisit de gérer directement sa ressource forestière, à travers une gestion communale (13%) : une mutualisation des outils de production (déchiqueteuse bois) et de l'aire de stockage de la plaquette forestière est également observée entre les régies communales (situées dans un rayon géographique proche). Ce type d'approvisionnement permet aux petits réseaux de mettre en commun leurs investissements et améliorer la quantité, la régularité, la qualité de l'approvisionnement et faciliter le stockage, optimisant ainsi le coût global des projets.

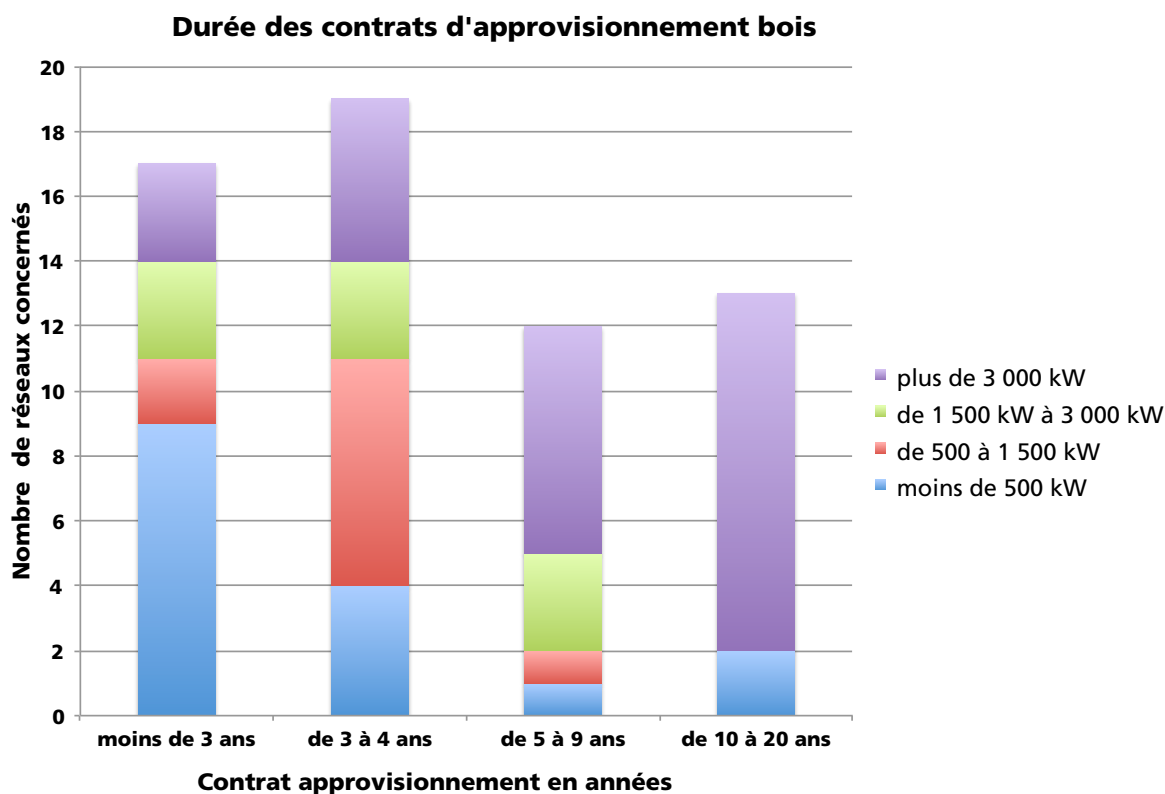


Figure 49 : durée des contrats d'approvisionnement bois (61 réseaux)

Les contrats les plus courts concernent les chaufferies bois de faibles puissances. On trouve inversement une part importante de contrats de plus de 10 ans qui concernent les chaufferies de plus de 3 MW, sécurisant ainsi l'approvisionnement. Cela permet également d'obtenir des tarifs préférentiels tout en permettant d'avoir une vision long terme sur le plan économique.

Pour les réseaux disposant de plusieurs fournisseurs, la durée des contrats est plus faible (2-3 ans en moyenne) que dans le cas d'un fournisseur unique (8 ans en moyenne).

Rayon d'approvisionnements	< 50 km	entre 50 et 200 km	Plus de 200 km
Nombre de réseaux	86	39	0

Figure 49.: rayon d'approvisionnement bois (125 réseaux)

La majorité des chaufferies s'alimentent dans un rayon d'approvisionnement de moins de 50 km. Notons néanmoins que le bois approvisionné n'est pas forcément situé dans ces rayons, il peut provenir de plus loin notamment si le fournisseur s'alimente via un réseau de plate-forme de stockage.

Ces résultats illustrent tout de même les bienfaits des réseaux de chaleur au bois sur le développement local mais aussi la réduction des pollutions dues au transport du combustible<sup>32</sup>.

<sup>32</sup> Un approvisionnement à 200 km de la chaudière augmente de 2,5% le contenu CO<sub>2</sub> du bois. Plus d'information sur la publication AMORCE ENP 20 « Soutiens financiers aux énergies renouvelables et à la maîtrise de l'énergie »)

## 6.4. Indice de révision des contrats d'achat

Pour l'achat de combustible biomasse, l'indexation s'effectue en prenant en compte un certain nombre d'indice. Les plus couramment utilisés prennent en compte les paramètres suivants :

- Coût horaire du travail
- Coût des machines
- Coût du transport
- Prix du bois

La majorité (60%) de ces réseaux indexent leur contrat d'achat de combustible sur le transport, le prix du bois (indice CEEB) pour 57% et sur le coût de la main d'œuvre pour 50%.

Généralement l'indice de révision intègre différents paramètres à travers des formules élaborées.

## 6.5. Capacité de stockage

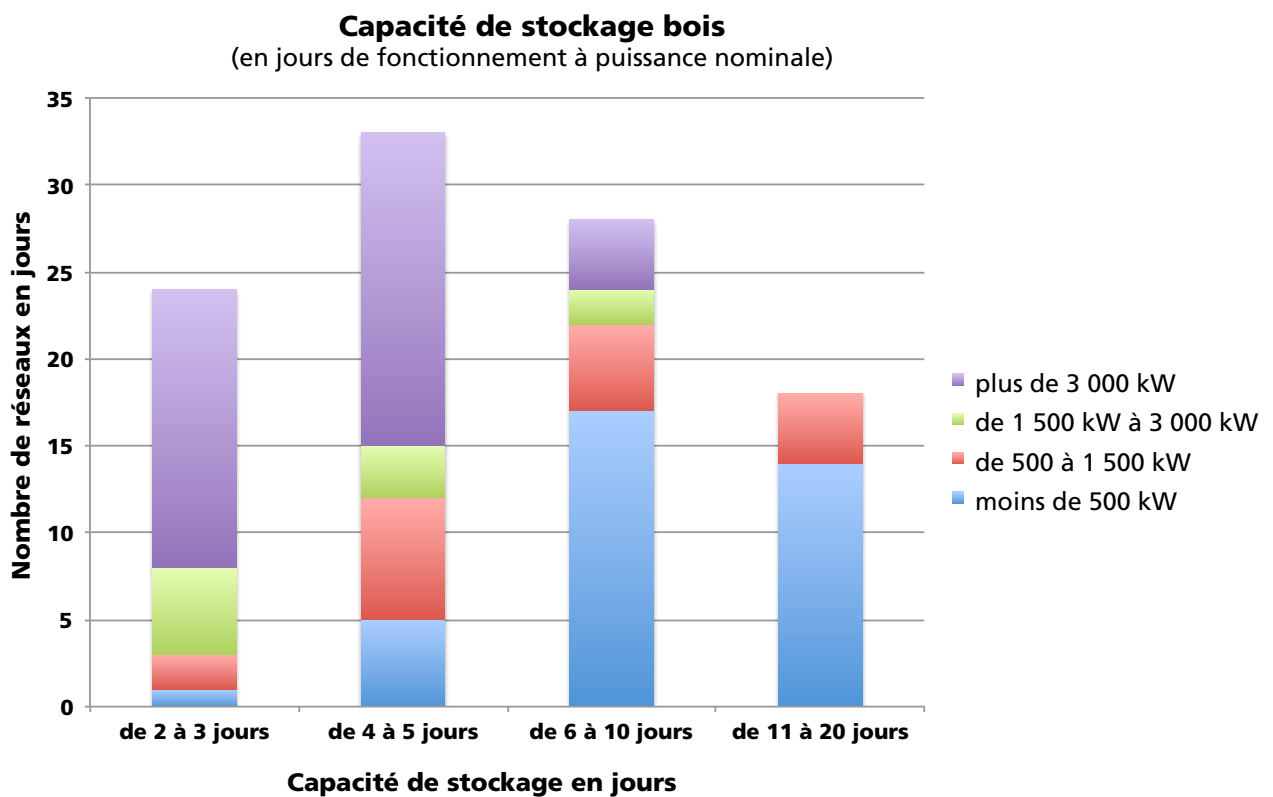


FIGURE 50 : CAPACITE DE STOCKAGE EN JOURS DE FONCTIONNEMENT (103 RESEAUX)

La capacité de stockage des combustibles permet de structurer l'approvisionnement en organisant la livraison des quantités de bois nécessaires. La taille du silo est une donnée stratégique qui doit être considérée dès la phase étude d'un projet bois. Un sous-dimensionnement d'un silo pouvant induire dans le pire des cas une rupture de production de chaleur (ou une substitution par une source fossile dans le meilleur).

D'une façon générale, la puissance de la chaudière est inversement proportionnelle à l'autonomie de stockage. Les chaufferies de plus de 3 MW disposent d'une autonomie maximum de 5 jours (correspondant aux périodes les plus froides), les chaufferies de tailles inférieures oscillent entre 3 et 20 jours. La moyenne (non pondérée) se situe à 6,5 jours.

Les petites chaufferies sont souvent implantées sur des communes peu peuplées et moins bien desservies. Il est donc judicieux d'avoir une capacité de stockage importante pour subvenir aux besoins du réseau si l'approvisionnement n'est pas possible pour des raisons climatiques.

## 7. RETOURS D'EXPÉRIENCE

Nous avons souhaité inclure un volet visant à identifier les principales difficultés rencontrées lors du montage du projet ou dans la phase de mise en service. Ce travail permet d'identifier les obstacles éventuels afin d'accompagner au mieux les collectivités dans leur projet. Nous avons scindé les difficultés lors du montage du projet aux difficultés lors de l'exploitation de la chaufferie bois.

### 7.1. Difficultés rencontrées lors du montage du projet

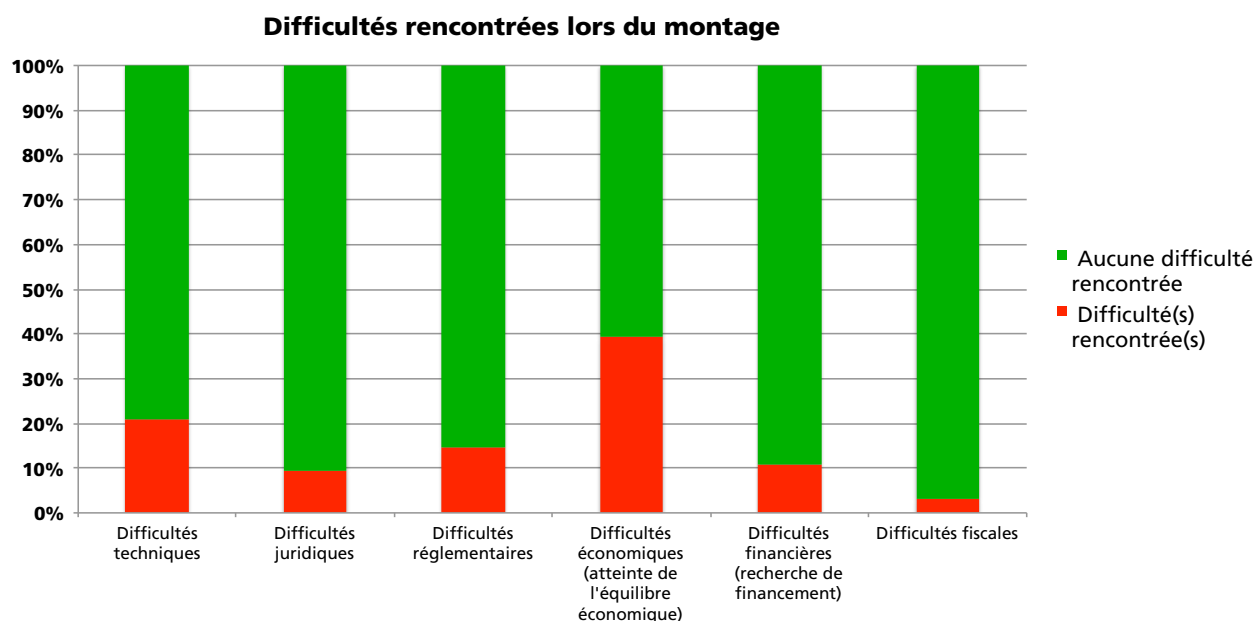


FIGURE 50.: DIFFICULTES RENCONTREES LORS DU MONTAGE (125 RESEAUX)

Lors du montage d'un projet bois (phases études et opérationnelles), les maîtres d'ouvrage pointent différentes difficultés :

En premier lieu des **difficultés économiques** (40% de l'échantillon) :

Il a été notamment cité des surcoûts divers, l'évolution des tarifs énergétiques bois et fossiles entre le début et la fin du projet déséquilibrant le modèle économique, le biais entre les coûts prévisionnels et les coûts réels.

Les **difficultés techniques** liées à la maîtrise d'œuvre ou à la réalisation des installations (21%) :

Elles regroupent tous les problèmes liés au suivi et à la construction du réseau de distribution de chaleur, des sous-stations, de la chaufferie, des silos et des hangars de stockage. Certains réseaux pointent des problèmes relatifs aux terrains pour la chaufferie, des incompréhensions avec le fournisseur de chaudière bois, l'impossibilité technique de raccorder certains bâtiments.

Les **difficultés réglementaires** (14%) :

Les maîtres d'ouvrage ont pointé un flou réglementaire concernant l'ICPE 2910 ainsi que des difficultés rencontrées avec la DREAL sur la mise aux normes du traitement des fumées.

Les **difficultés juridiques** (10%) :

Certains regrettent un manque de conseil sur les montages juridiques et parfois un manque d'implication de la part des bureaux d'études.

Les **difficultés financières** (10%) :

La difficulté dans la recherche de financement est pointée, le niveau important des taux d'emprunts est posé également. Enfin la modification des aides ADEME au cours de la réalisation est pointée.

Peu de maîtres d'ouvrage ont rencontré des difficultés en terme de fiscalité.

## 7.2. Difficultés rencontrées dans le fonctionnement

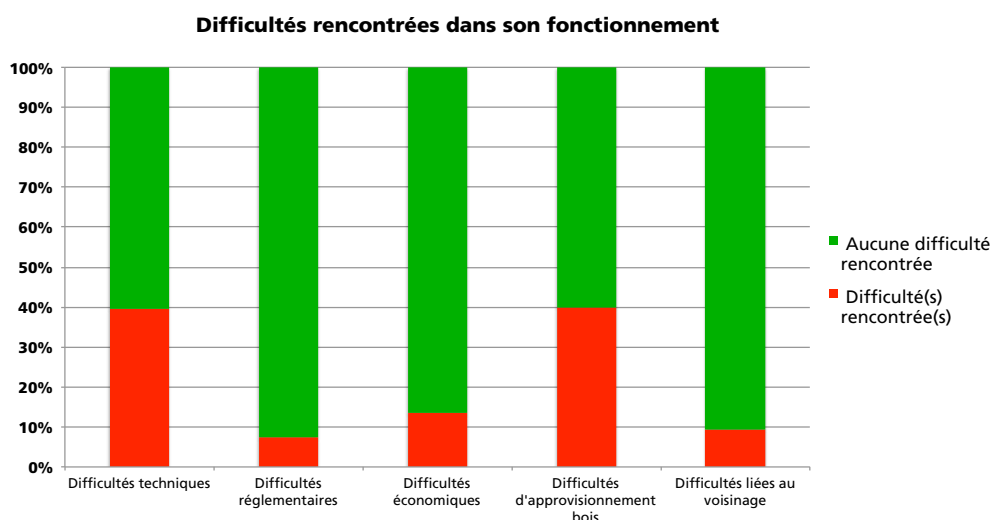


FIGURE 52 : DIFFICULTES RENCONTREES LORS DU FONCTIONNEMENT (125 RESEAUX)

Les **difficultés d'approvisionnement bois** (40%) :

Une majorité des réseaux enquêtés ont souligné des difficultés concernant la qualité du combustible, non conformes au cahier des charges du contrat (taux d'humidité, présence de corps étranger, granulométrie, niveau de poussière excessif ou tout simplement combustible inadéquat par rapport à la chaudière). Quelques cas de cessation d'activité du fournisseur bois énergie ont été mentionnés.

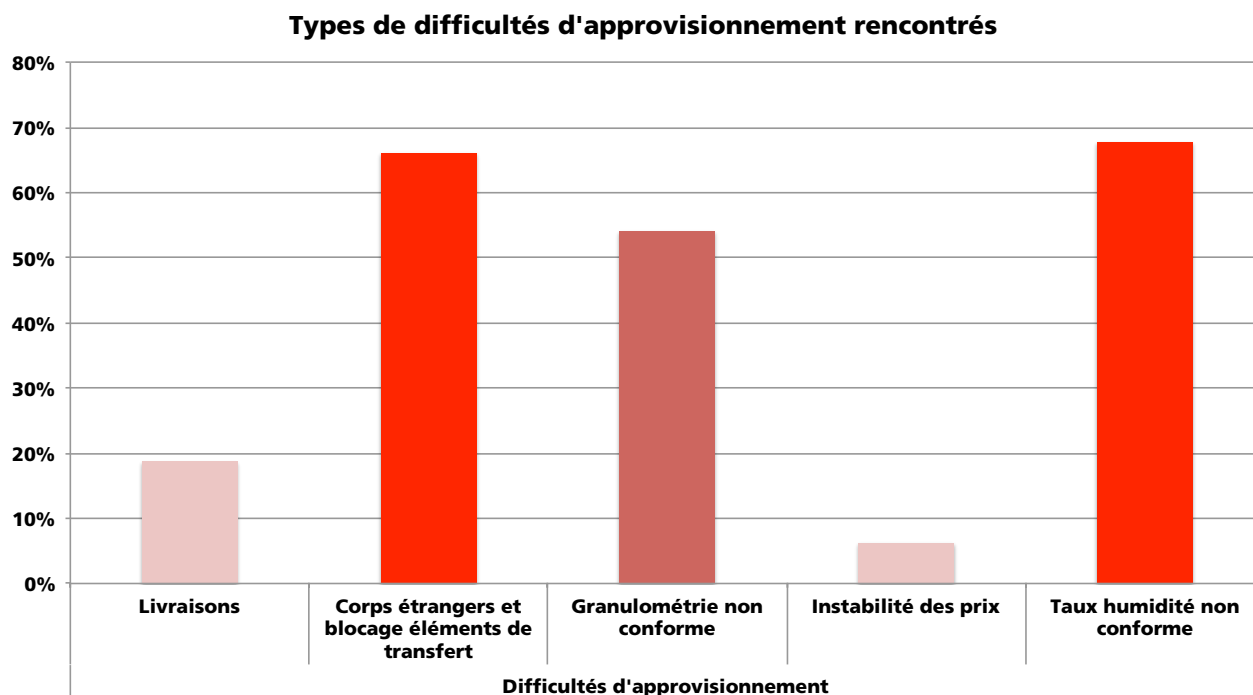


FIGURE 53 : TYPE DE DIFFICULTES D'APPROVISIONNEMENT (62 RESEAUX)

Les **difficultés techniques** (40%) :

La majorité des difficultés techniques concernent la chaudière elle-même, se traduisant par des problèmes de réglages (optimisation de la combustion, fumées) et l'usure prématurée de certaines pièces de la chaufferie. Le transfert du combustible est également mentionné (blocage, bourrage de la vis, du convoyeur). Enfin on retrouve des difficultés liées au silo (ventilation défectueuse) et au réseau (rendement insuffisant)

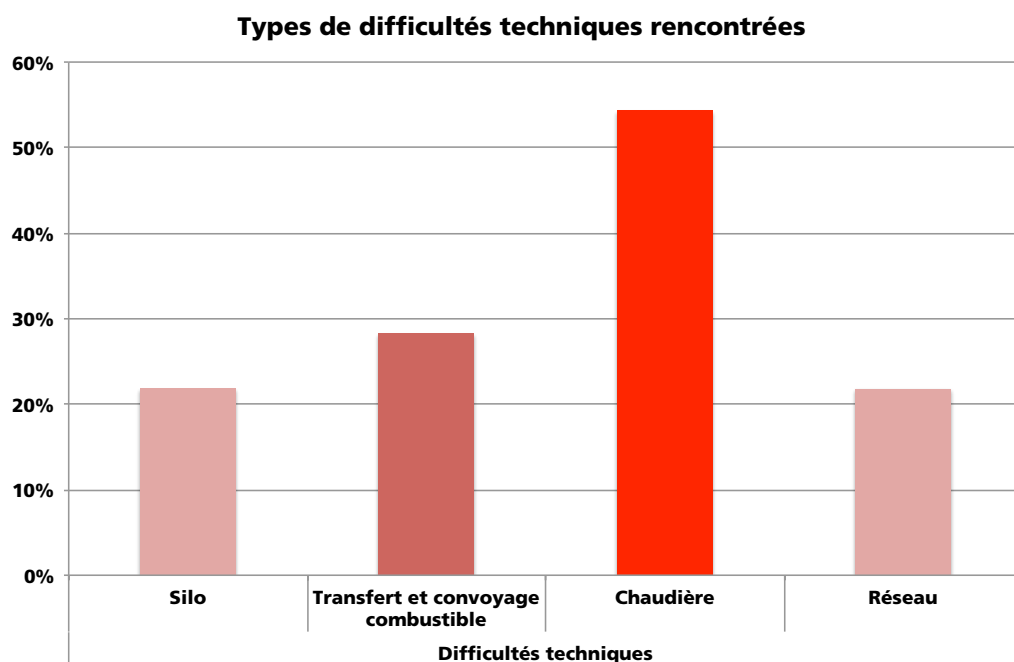


FIGURE 54 : TYPE DE DIFFICULTES TECHNIQUES (55 RESEAUX)

Les **difficultés économiques** (12%) :

Une difficulté à atteindre l'équilibre économique est signalée dans une moindre mesure. Plusieurs réseaux recherchent ainsi de nouveaux abonnés potentiels afin d'améliorer la densité thermique. La perte de compétitivité du bois énergie face aux tarifs gaz naturel est soulignée, certains abonnés pourraient se retirer du réseau, ce qui déséquilibrerait d'autant plus l'économie globale du projet via une réaction en chaîne.

Les **difficultés liées au voisinage** (10%) et **réglementaires** (8%) restent en comparaison peu évoquées. Les seuils réglementaires imposés par la DREAL en matière de NOx paraissent difficilement atteignables pour certains réseaux.



## **8. LE DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX DE CHALEUR BOIS**

---

### **8.1. Segmentation des réseaux de chaleur bois**

On observe trois grands types d'implantation de chaufferies bois sur des réseaux de chaleur :

#### **Les réseaux ruraux :**

Les réseaux ruraux se situent dans des communes de moins de 5 000 habitants et sont équipés de chaufferies bois de puissances comprises entre 100 kW et 1,5 MW. Exploités en régie. Les réseaux ruraux représentent 48% de l'effectif de l'enquête mais pèsent seulement 5% de la puissance bois totale. Le taux de couverture bois moyen sur ces réseaux est de 80%.

#### **Les réseaux créés en milieu semi-urbain :**

Ce sont des réseaux de chaleur dans des communes de plus de 2 000 habitants et sont équipés de chaufferies bois de plus de 1,5 MW, exploitées principalement en délégation de service public (DSP). Ils représentent 17% de l'effectif et pèsent 17% de la puissance bois totale. Le taux de couverture bois moyen sur ces réseaux est de 72%.

#### **La substitution sur de grands réseaux existants :**

Dernier segment considéré, les projets avec mise en place de chaufferies bois sur des réseaux de chaleur existants dans de grandes villes. Il s'agit principalement de réseaux exploités en DSP. Ils représentent 26% de l'effectif mais pèsent 76% des puissances cumulées. Le taux de couverture moyen du bois est de 40%.

### **8.2. Des stratégies différenciées**

#### **8.2.1. Les réseaux de chaleur bois ruraux**

En fort développement depuis 1997, cette catégorie a été multipliée par plus de 20 en 15 ans. Ces projets répondent à une attente forte en milieu rural, où les problématiques de développement de filières locales sont prédominantes.

L'une des contraintes importantes pour le montage de ce type de réseaux est la nécessité d'un engagement dans la durée pour les usagers du réseau, alors que l'économie du projet repose sur un faible nombre d'usagers (un seul dé-raccordement d'un bâtiment pouvant déséquilibrer l'économie globale du projet).

Les petites communes qui portent ces projets ne disposent pas de toutes les compétences en interne et requièrent une assistance à maîtrise d'ouvrage publique (technique, administrative et juridique). Certains organismes tels les Espaces Infos Energie, Agences Locales de l'Energie, Agences Régionales de l'énergie et autres structures d'animation, Départements, Agences Techniques Départementales ou Syndicats d'Energies peuvent accompagner les communes rurales sur un projet bois énergie.

Des besoins de formation et d'accompagnement sont également nécessaires pour le personnel en charge de l'exploitation des équipements (employés communaux polyvalents pour la gestion quotidienne de la chaufferie, personnels administratifs pour la facturation et le suivi des contrats).

Le développement des projets de réseaux de chaleur bois ruraux passe, plus encore que pour les autres catégories, par la structuration d'équipes locales (intercommunales ou départementales) permettant de fédérer les moyens d'animation et d'assistance au montage d'opération, voire de prendre en charge tout ou partie de la maîtrise d'ouvrage (comme le font certains syndicats

d'énergie départementaux). Une pérennité de cet accompagnement est également importante pour assister les communes en cas de difficulté ponctuelle pendant la vie du réseau.

### **8.2.2. Les réseaux de chaleur bois en milieu semi-urbain**

En forte croissance depuis 1997 et plus particulièrement depuis 2006 avec l'instauration du Fonds chaleur, le développement des réseaux de chaleur biomasse en milieu semi-urbain entre dans une logique de structuration de projets autour de quelques bâtiments ou ensembles de bâtiments majeurs : établissements de soins, lycées, collèges, logements collectifs...

Les besoins des maîtres d'ouvrage sont de différents ordres :

- Animation et accompagnement dans les différentes phases de montage, en particulier une bonne évaluation des potentiels de raccordement et l'élaboration de documents d'information ciblés pour les usagers potentiels (présentation personnalisée des conditions techniques et financières proposées aux établissements susceptibles d'être raccordés au réseau)
- Assistance à maîtrise d'ouvrage compétente en matière de délégation de services publics, les communes d'implantation de ces projets ayant souvent peu d'expérience dans ce domaine
- Gestion des approvisionnements autour d'interlocuteurs fiables pour des besoins de l'ordre de 2 000 à 4 000 tonnes de bois par an.

La réussite de ces projets passe par la définition et le financement d'une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage particulièrement soignée et compétente. Elle doit s'appuyer sur des structures existantes locales si elles existent et à défaut en intégrer une partie.

Le développement de ce segment passe par l'identification des établissements porteurs et la sensibilisation, probablement à une échelle régionale ou départementale, des principaux maîtres d'ouvrage, leurs structures de tutelle ou leurs fédérations : bailleurs sociaux, établissements de soin, services bâtiments des Départements et des Conseils régionaux...

### **8.2.3. La substitution sur des réseaux existants**

Le développement de ces projets, qui représentent plus de 75% de la puissance bois installée sur les réseaux de chaleur, s'est accéléré ces derniers temps, avec la mise en service de chaufferies bois sur des réseaux de plusieurs dizaines de mégawatts.

Ces projets sont directement concernés par le Fonds chaleur. Les questions économiques sont plus importantes que pour les segments précédents et leur intérêt est accru par plusieurs éléments contextuels :

- Mesures de réduction des taux de TVA sur la fourniture de chaleur lorsqu'elle est produite à partir d'énergies renouvelables ou de récupération ; les réseaux de chaleur utilisant déjà des énergies de récupération (sur UIOM par exemple), mais dont le taux de couverture des besoins est inférieur à 50%, ont pour principal moyen d'atteindre ce seuil de 50% la mise en place d'une chaufferie bois,
- Entrée en vigueur du nouveau système d'échange de quotas de CO<sub>2</sub>, (PNAQ III) : pour la troisième période (2013-2020) un nouveau dispositif a été mis en place pour étendre le champ d'application du système et modifier les modalités d'allocation des quotas. La mise en œuvre de chaufferies bois est l'un des vecteurs de réduction des émissions les plus efficaces (environ 180 réseaux de chaleur français, les plus gros, sont confrontés à la problématique quotas),
- Arrivée à échéance, depuis quelques années et pour encore environ 3 ans, des contrats d'obligation d'achat de l'électricité produite par les centrales de

cogénération au gaz naturel (plus de 200 réseaux de chaleur sont concernés en France, la production thermique par cogénération représentant entre 10 et 80 % de leur bouquet énergétique) ; ces centrales seront probablement pour une grande part maintenues en service mais pas toujours au même niveau de puissance ni de durée de fonctionnement (cela dépendra évidemment des conditions d'achat de l'électricité qui pourront être proposées soit dans le cadre d'une nouvelle obligation d'achat pour les installations rénovées, soit sur le marché de l'électricité). Cette échéance sera aussi l'occasion d'opportunité d'évolution du mix énergétique des réseaux concernés vers une part accrue de bois-énergie.

Les facteurs de réussite pour ce type de projets sont :

- Un accompagnement pour l'intégration du projet et de l'installation dans son environnement (en particulier pour favoriser l'acceptation d'un équipement industriel en milieu urbain et de la circulation de camions pour la livraison de combustible), ce qui passe par un relais d'animation et d'organisation de la concertation locale (de type agence locale de l'énergie),
- Une bonne conception technique de l'installation pour son intégration dans le fonctionnement préexistant du réseau de chaleur et pour limiter l'impact environnemental de l'équipement (panache de fumée, circulation et vidange des camions...), qui est du ressort de l'équipe de maîtrise d'œuvre et de l'AMO,
- Des interlocuteurs fiables sur la structuration de l'approvisionnement pour des besoins pouvant atteindre 50 000 à 100 000 tonnes de bois par an,
- Disposer d'une bonne vision à moyen et long terme du développement du réseau en s'appuyant sur un schéma directeur,
- Une élaboration du schéma directeur d'un réseau de chaleur qui s'inscrit dans une démarche d'anticipation dont l'objectif est d'aider chaque maître d'ouvrage d'un réseau existant à réaliser un exercice de projection sur le devenir de son réseau à l'horizon 2020, en lien avec les abonnés et de lui fournir différents scénarios qui lui permettront de décider d'une programmation de travaux à entreprendre durant cette période.

### **8.3. Rappel concernant l'obligation de réalisation d'un schéma directeur**

L'obligation de réalisation d'un schéma directeur relative à la transition énergétique pour la croissance verte confirme d'une part la compétence de création et d'exploitation d'un réseau de chaleur. D'autre part, il rend obligatoire la réalisation du schéma directeur par les collectivités propriétaires d'un réseau de chaleur en service au 1<sup>er</sup> janvier 2009. Ce schéma directeur devra être réalisé avant le 31 décembre 2018. AMORCE a publié avec l'ADEME un guide de réalisation de ce schéma directeur<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> Voir publication AMORCE RCP24 – Schéma directeur d'un réseau existant de chaleur ou de froid : guide de réalisation

**Article L2224-38 du code général des collectivités territoriales**

*I.- Les communes sont compétentes en matière de création et d'exploitation d'un réseau public de chaleur ou de froid. Cette activité constitue un service public industriel et commercial, géré selon les modalités définies à la section 1 du présent chapitre. Cette compétence peut être transférée par la commune à un établissement public dont elle fait partie. Cet établissement public peut faire assurer la maîtrise d'ouvrage de ce réseau par un autre établissement public.*

*II.- Les collectivités territoriales chargées d'un service public de distribution de chaleur ou de froid en service au 1er janvier 2009 réalisent un schéma directeur de leur réseau de chaleur ou de froid avant le 31 décembre 2018. Ce schéma directeur concourt à la réalisation de l'objectif d'une alimentation des réseaux de chaleur ou de froid à partir d'énergies renouvelables et de récupération en 2020. Il inclut une **évaluation de la qualité du service fourni** et **des possibilités de densification et d'extension** de ce réseau et **d'interconnexion** de ce dernier avec les autres réseaux situés à proximité, ainsi qu'une évaluation des possibilités de **développement de la part des énergies renouvelables et de récupération** dans l'approvisionnement du réseau.*

## Perspectives et conclusion

---

Le nombre de réseaux de chaleur alimentés par des chaufferies bois est en forte croissance depuis une dizaine d'années. Les différents programmes d'aides ainsi que les volontés locales ont porté leurs fruits et nous estimons aujourd'hui que plus de 500 réseaux de chaleur utilisant de la biomasse sont implantés sur le territoire national.

Si la progression des réseaux ruraux est en légère perte de croissance, l'énergie bois séduit de plus en plus les agglomérations de taille importante qui y voient une solution pertinente pour augmenter l'utilisation des énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) grâce à une infrastructure existante. La création de nouveaux réseaux de chaleur urbains avec un taux de couverture par le bois supérieur à 50% est également en progression constante.

Les motivations pour le développement du bois énergie sur les réseaux de chaleur filière sont centrées autour des questions :

- du développement local, essentiellement pour les projets en milieu rural ;
- de l'économie et de la maîtrise des coûts de chauffage, en particulier sur les grands réseaux de chaleur ;
- du changement climatique et du développement des EnR&R, notamment dans le cadre des PCAET, le bois-énergie étant aujourd'hui bien identifié comme l'un des vecteurs principaux de développement de la chaleur renouvelable ;
- des incitations fiscales et des aides à l'investissement.

Le prix moyen de la chaleur constaté pour la saison de chauffe 2014-2015 est de 73,4 € HT/MWh. Ce résultat, malgré une variation positive de 6% par rapport à 2012-2013, qui s'explique notamment par un hivers moins rigoureux en 2014 reste néanmoins compétitif en comparaison avec des réseaux de chaleur non renouvelables.

Si la consommation en bois-énergie est d'environ 1 300 000 tonnes par an en 2014, 9 millions de tonnes de bois supplémentaires devront donc être extraites par an, d'ici à l'horizon 2030. Cet objectif ne pourra être accessible sans un gros travail de structuration de la filière d'approvisionnement.

La loi de Transition énergétique pour la croissance verte, adoptée en août 2015, fixe une part des énergies renouvelables à 32% dans le mix énergétique à l'horizon 2030, assorti à l'objectif de multiplier par 5 les livraisons d'ici à 2030 et de raccorder l'équivalent de 4 à 6 millions de logements supplémentaires. La densification et l'extension des réseaux de chaleur existant sera un des axes principaux de développement des réseaux. La création de nouveaux réseaux de chaleur et de nouvelles chaufferies biomasses également.

