

ÉTUDE DES COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION ASSOCIÉS AUX INSTALLATIONS BIOMASSE ÉNERGIE

FAITS & CHIFFRES 

Production biomasse et
distribution de chaleur

RAPPORT FINAL



REMERCIEMENTS

Membres du Comité de Pilotage :

Laurianne Henry (Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie, ADEME)
Simon Thouin (Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie, ADEME)
Sylvain Bordebeure (Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie, ADEME)
Antoine Sarrouille (Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie, ADEME)

Ingénieurs des délégations régionales ADEME associés à la collecte des données :

David Bremond (ADEME, Auvergne Rhône-Alpes)
Nelly Lafaye (ADEME, Auvergne Rhône-Alpes)
Jonathan Muller (ADEME, Grand Est)
Axel Wyckhuys (ADEME, Grand Est)
Christophe Roger (ADEME, Hauts-de-France)
Claire Florette (ADEME, Ile de France)
Émilie Rabeteau (ADEME, Nouvelle Aquitaine)
Anne Miquel (ADEME, Nouvelle Aquitaine)
Anne Labadiolle-Chassagne (ADEME, Nouvelle Aquitaine)
Frankie Angebault (ADEME, Nouvelle Aquitaine)
Gérard Bardou (ADEME, Occitanie)
Gaetan Daujean (ADEME, Occitanie)
Marion Forgeue (ADEME, Occitanie)
Jean-François Niveleau (ADEME, Occitanie)
Axel Vaumoron (ADEME, Pays de la Loire)

Membre de l'équipe projet Best Energies

Best Energies est un bureau d'études technique spécialisé depuis plus de 25 ans en Assistance à Maîtrise d'Ouvrage : audit, suivi et contrôle d'exploitation, maîtrise d'œuvre, ingénierie... Elle est constituée de plusieurs agences étant chargée de l'étude :

- Debat

Thibault HOUERY (Directeur Bureau d'Etudes Debat)
Serge DEFAYE (Debat)
Marc MAINDRAULT (Debat)

- Exoceth

Jan DE HOOG (Directeur Bureau d'Etudes Exoceth)
Lola OLLIVIER (Exoceth)
Marine POUTIER (Exoceth)

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

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

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2020MA000368

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Best Energies
Coordination technique - ADEME : THOUIN Simon
Direction/Service : Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	6
ABSTRACT	7
1. CONTEXTE DU PROJET	8
1.1. Bois énergie.....	8
1.2. Mesures de lutte contre le réchauffement climatique	8
1.3. Fonds Chaleur	10
1.4. Étude	10
2. METHODOLOGIE	11
2.1. Sélection du panel.....	11
2.1.1. Démarche	11
2.1.2. Caractérisation du panel	11
2.2. Collecte d'informations.....	14
2.3. Actualisation des coûts.....	15
2.3.1. Indice Prix de l'énergie	15
2.3.2. Autres indices	16
2.4. Analyse.....	18
2.5. Ratio économique et énergétique.....	18
2.5.1. Ratio économique.....	18
2.5.2. Ratios énergétiques	19
3. COÛTS D'INVESTISSEMENTS	20
3.1. Investissements globaux	20
3.2. Poste « Process Bois ».....	22
3.2.1. Analyse du poste global.....	22
3.2.2. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Filtration des fumées »	25
3.3. Poste « Process Appoint »	28
3.4. Poste « Génie civil ».....	30
3.4.1. Analyse du poste global.....	30
3.4.2. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Type de silo ».....	33
3.5. Poste « Distribution de chaleur »	34
3.5.1. Analyse du poste global.....	34
3.5.2. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Réseau de chaleur »	36
3.5.3. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Sous-stations »	38
3.6. Poste « Etudes et Ingénierie »	39
3.7. Synthèse des coûts d'investissement.....	42
4. COÛTS D'EXPLOITATION	44
4.1. Ratios énergétiques	44
4.1.1. Taux couverture bois.....	44
4.1.2. Rendement global de production et de distribution.....	45
4.1.2.1. Rendement global de production et de distribution.....	45

4.1.2.2. Zoom rendement chaudières bois.....	47
4.1.3. Consommation d'électricité en chaufferie.....	50
4.2. Ratios économiques.....	51
4.2.1. Prix d'achat du combustible bois.....	51
4.2.2. Prix de l'énergie produite en sortie des chaudières bois et appoint.....	54
4.2.3. Electricité en chaufferie.....	57
4.2.4. Entretien / Maintenance.....	59
4.2.4.1. Entretien / Maintenance.....	59
4.2.5. Gros entretien / Renouvellement.....	63
4.2.5.1. Gros entretien / Renouvellement.....	63
4.2.5.2. Zoom sur le lien Gros entretien / Renouvellement et Investissement process bois	65
4.3. Zoom sur les réseaux de chaleur.....	66
4.3.1. Ratio économique R1.....	66
4.3.1.1. Charges.....	66
4.3.1.2. Produits.....	67
4.3.1.3. Comparaison.....	70
4.3.2. Ratio économique R2.....	70
4.3.2.1. Charges.....	70
4.3.2.2. Recettes.....	73
4.3.2.3. Comparaison.....	73
4.4. Synthèse des coûts d'exploitation.....	74
5. CONCLUSION / PERSPECTIVES.....	78
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	80
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	81
SIGLES ET ACRONYMES.....	83

RÉSUMÉ

La chaleur représente plus de la moitié de la consommation finale d'énergie. Les sources renouvelables sont encore peu présentes dans sa production (23% en 2020). C'est le bois qui assure la majorité de cette production (65%) : 49% du chauffage domestique et 16% pour les chaufferies bois-énergie (collectif, industriel et tertiaire). Afin d'atteindre les objectifs fixés via la loi transition énergétique pour la croissance verte, l'augmentation de l'utilisation du bois-énergie est encouragée.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude. Les objectifs sont de connaître les projets déjà en exploitation, d'actualiser et d'affiner les données relatives aux coûts d'investissement et d'exploitation et d'établir des ratios significatifs (par poste, type de projet et taille de projet).

La présente étude a permis de mettre en évidence certains résultats concernant les investissements et coûts d'exploitation des installations biomasse-énergie :

- ▶ Les coûts d'investissement, rapportés à la puissance fournie, ont tendance à diminuer avec l'augmentation de la puissance des installations, que ce soit pour les installations collectives ou industrielles. L'investissement est moins élevé pour les installations industrielles. Quatre postes d'investissement ont été étudiés : process bois, génie civil, distribution de chaleur et études/ingénierie. La part de chacun dans l'investissement total a été calculée : le poste « Process bois » a la part la plus importante puisqu'il correspond à 29% de l'investissement des installations collectives et 60% des installations industrielles.
- ▶ Pour l'analyse des coûts d'exploitation, les ratios énergétiques et économiques ont été étudiés. Cela a mis en évidence le fait que le rendement de production moyen des installations collectives est de 74%. L'analyse des ratios économiques a permis d'obtenir des prix moyens pour l'achat du combustible bois, celui de l'électricité, celui de la maintenance ainsi que celui du gros entretien. Leur évolution en fonction des différentes plages de puissance étudiées a été analysée.

L'hétérogénéité des données collectées a mis en exergue la nécessité de proposer un questionnaire unique et homogène. Cela permettrait de récolter plus de données similaires (catégorie, caractéristiques, etc.) et ainsi avoir une meilleure vue d'ensemble ainsi que des résultats plus représentatifs de la réalité des coûts d'investissement et d'exploitation liés aux installations biomasse-énergie. Néanmoins, les résultats obtenus sont suffisamment représentatifs pour donner un ordre de grandeur des investissements et des coûts d'exploitations pour de telles installations.

ABSTRACT

Heat is one of the most important items regarding national energy needs (> 50%) but renewable sources are not enough used for its production (23% in 2020). Wood is used in 65% of cases for the production of renewable heat: 49% of the domestic heating and 16% of the collective, tertiary and industrial installations. The use of the energy-wood is encouraged to reach the goals set by the energy transition law for the green growth.

This study is carried out in this context. Its goals are to know the existing installations, to update the investment and operating costs and to calculate ratios (by item, type and size).

This study highlighted some results concerning investment and operating costs of biomass installations :

- ▶ Investment costs are decreasing when the installations power are increasing no matter the type of the installations (collective or industrial). The investment is lower for industrial installations than for collective ones. Four items were studied : wood process, civil engineering, heat distribution and study/engineering. The distribution of these items in the global investment was calculated : « Wood process » is the item with the more important investment cost. In fact, its represents 29% of the collective investment and 60% of the industrial one.
- ▶ Energetic and economic ratios were studied to analyze operating costs. The mean production efficiency of the collective installations is 74%. Thanks to the analysis of the economic ratios, mean costs of the wood purchase price, the electricity purchase price, the maintenance price and the important servicing price were calculated. The evolution of these ratios were studied according to the power of the installations.

The heterogeneity of the collected data highlights the need of a single questionnaire. More data could be collected and the results would be more representative of the investment and operating costs of the biomass installations. However, the results are sufficiently representative to be used for costing projects or evaluating gains for existing installations, for instance.

1. Contexte du projet

1.1. Bois énergie

Le bilan énergétique national montre que la chaleur représente plus de la moitié de la consommation finale d'énergie. En 2020, plus de 152 000 GWh de chaleur renouvelable ont été produits, ce qui représente seulement 22,8% de la production totale de chaleur. Cette chaleur renouvelable est produite à 65% par le bois énergie : 49% pour le chauffage au bois domestique et 16% pour les chaufferies bois-énergie (collectif, industriel et tertiaire). Le reste de la chaleur renouvelable est produite par des pompes à chaleur aérothermiques, la géothermie, le solaire thermique, les gaz renouvelables ou encore la valorisation des déchets (UVE) [2].

Dans les secteurs collectif, industriel et tertiaire, 7 145 installations de chaufferies bois-énergie de plus de 50 kW sont recensées fin 2020. Ces installations permettent une production d'environ 24 000 GWh et d'environ 8 000 MW en 2020. Cela représente 3,6% de la consommation finale de chaleur. Parmi les chaufferies bois-énergie, 19 % de la puissance installée valorise à la fois de l'électricité et de la chaleur : il s'agit de cogénération [2].

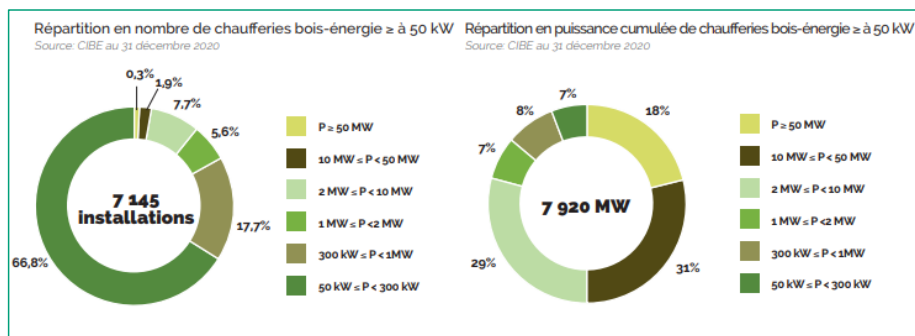


Figure 1 : Répartition des chaufferies bois-énergie dans les secteurs collectif, industriel et tertiaire en 2020.

Source : Syndicat énergies renouvelables [2].

La filière bois-énergie participe à la création d'emploi : environ 53 000 emplois directs ou indirects sont créés grâce à cette filière. Le chiffre d'affaires de la filière bois domestique s'élève à 3,1 milliards d'euros et celui du bois collectif à 1,5 milliard d'euros [2].

Le bois-énergie génère alors des impacts positifs sur plusieurs plans :

- Exploitation de la ressource locale ;
- Satisfaction des besoins énergétiques pour les besoins domestiques ou des secteurs collectif et industriel ;
- Maintien et création d'emplois non délocalisables ;
- Opportunité pour la maîtrise de la facture énergétique.

1.2. Mesures de lutte contre le réchauffement climatique

La France s'est fixée deux objectifs principaux en lien avec la loi transition énergétique pour la croissance verte :

- 40 % de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030, par rapport au niveau de 1990 ;
- 75 % de réduction de ses émissions de gaz à effet de serres d'ici à 2050, par rapport au niveau de 1990.

Pour ce faire, elle s'est engagée sur l'évolution du mix énergétique :

- Porter à 32 % la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale en 2030 ;
- Réduire de 50 % la consommation énergétique à l'horizon 2050.

Le bois-énergie est une des solutions pour atteindre les 32% d'énergies renouvelables visés en 2030.

1.3. Fonds Chaleur

Les projets bois-énergie dans les secteurs collectifs et industriels nécessitent une aide afin d'être compétitifs vis-à-vis des énergies fossiles. Dans ce contexte, le développement du bois-énergie nécessite un système d'aide stable, incitatif et qui pousse l'ensemble des acteurs à se tourner vers cette énergie.

Pour ce faire, suite à la loi Grenelle I, le Fonds Chaleur a été créé en 2009 afin de soutenir la production et la distribution de la chaleur renouvelable par une aide à l'investissement. Entre 2009 et 2021, 6 566 installations (tous types d'installations confondues : bois, géothermie, solaire, etc.) ont pu voir le jour grâce à l'aide financière proposée par le Fonds Chaleur. Parmi ces installations, près de 40% d'entre elles concernent les réseaux de chaleur et 40% concernent le bois-énergie (entre 2009 et 2021) [3].

En dépit d'un impact positif du Fonds Chaleur sur le développement du bois-énergie sur le territoire national, il a été constaté que le volume de projets bois-énergie aidés par le Fonds Chaleur a été en déclin entre 2014 et 2017, depuis il est repartie en hausse. Malgré l'augmentation du nombre de projets accompagnés, le rythme de développement actuel des projets bois-énergie ne permet pas d'atteindre les objectifs que nos politiques nationales (LTECV, PPE, etc.) se sont fixés.

1.4. Étude

C'est dans ce contexte de lutte contre le réchauffement climatique, avec notamment la ressource du bois-énergie, que cette étude a été réalisée. Elle fait suite à deux précédentes études :

- **L'étude Perdurance [4]** : réalisée en 2010 - 2011 pour l'ADEME, cette étude s'intitule « Evaluation des coûts d'exploitation associés aux chaufferies biomasse ». Cette étude avait pour objectif d'analyser les coûts d'exploitation des projets biomasse relatifs au Fonds Chaleur, pour le secteur du chauffage collectif. Environ 75 dossiers ont pu être étudiés et permettre, notamment, d'établir des ratios technico-économiques ;
- **L'étude Kalice [1]** : réalisée en 2015 pour l'ADEME, elle est intitulée « Etude des coûts d'investissement et d'exploitation associés aux installations biomasse énergie des secteurs collectifs et industriels ». Ces principaux objectifs étaient d'actualiser les coûts d'investissement et d'exploitation relatifs aux chaufferies et réseaux de chaleur bois soutenus par le Fonds Chaleur Renouvelable et de comparer les ratios technico-économiques avec ceux de la précédente étude (étude Perdurance).

Ainsi, les objectifs de la présente étude sont les suivants :

- Connaître les projets déjà réalisés (retour sur investissements et coûts d'exploitation) ;
- Actualiser et affiner les données relatives aux coûts d'investissement et d'exploitation de chaufferies et réseaux de chaleur bois-énergie soutenus par le Fonds Chaleur Renouvelable, à partir d'installations en fonctionnement depuis plus d'un an ;
- Etablir des ratios technico-économiques significatifs par poste (production et distribution) et taille ou type de projets ;

Cette étude permettra :

- A l'ADEME, et aux autres services instructeurs de dossiers de demande de subventions, de disposer d'éléments d'évaluation des dossiers proposés par les maîtres d'ouvrages ;
- Aux acteurs de la conception, du montage de projets, de l'exploitation – délégataires et maîtres d'ouvrage, de mieux chiffrer les projets en phase amont, mais aussi d'évaluer les gains envisageables sur des installations existantes (en particulier sur l'exploitation).

2. Méthodologie

2.1. Sélection du panel

Dans un premier temps, un panel d'installations a été sélectionné afin de donner un cadre à l'étude. La démarche utilisée ainsi que la caractérisation du panel sont détaillées ci-après.

2.1.1. Démarche

Les projets de chaufferie bois et réseau de chaleur s'inscrivent dans des contextes divers et variés. Afin de pouvoir effectuer une bonne analyse des données, le panel de projets à analyser est réparti en catégories et sous-catégories homogènes. L'enquête doit être représentative des chaufferies financées par le Fonds Chaleur ces dernières années. Le panel est constitué de 150 projets sélectionnés en concertation avec l'ADEME et ses directions régionales. Afin de permettre une bonne représentation de l'ensemble des installations, le panel sera réparti comme suit :

► **Secteur collectif - Total : 110 Dossiers**

- 150 à 500 kW : 15 dossiers
- 500 à 1 000 kW : 15 dossiers
- 1 000 à 3 000 kW : 40 dossiers
- 3 000 à 12 000 kW : 40 dossiers

► **Secteur industriel - Total : 40 Dossiers**

- 1 000 à 5 000 kW : 15 dossiers
- 5 000 à 30 000 kW : 25 dossiers

Les projets ayant des particularités non représentatives des chaufferies bois-énergie sont écartés du panel avec l'aide de l'ADEME qui a une connaissance préalable des dossiers. Afin d'étudier un maximum de projets, les dossiers sélectionnés lors de l'« Etude des coûts d'investissement et d'exploitation associés aux installations biomasse-énergie des secteurs collectifs et industriels » de 2015 [1] seront intégrés au panel.

La liste des dossiers a été établie sur la base du protocole suivant :

- Analyse des tableurs ADEME relatifs aux dossiers Fonds Chaleur ;
- Contacts directs auprès des délégations régionales et du service en charge des dossiers BCIAT pour sélectionner des dossiers pertinents.

2.1.2. Caractérisation du panel

L'analyse porte sur un échantillon de base réparti sur toute la France. Le panel est composé de 231 chaufferies du secteur collectif et 43 du secteur industriel : il tient compte des dossiers sélectionnés pour cette étude et des dossiers de la précédente étude [1].

Plus précisément, les dossiers sont répartis en trois catégories :

- **Réseau de chaleur** : on parle de ces derniers lorsqu'ils alimentent des bâtiments appartenant à au moins deux entités distinctes ;
- **Chaufferie dédiée** : on parle de celle-ci quand le ou les bâtiments appartiennent à un unique maître d'ouvrage (plusieurs bâtiments communaux, par exemple) ;
- **Industrie** : comme lors de la précédente étude de 2015 [1], il est décidé de mettre à part les installations industrielles.

Les réseaux de chaleur et les chaufferies dédiées sont inclus dans la dénomination « secteur collectif ».

Les dossiers retenus sont répartis géographiquement de la façon suivante :

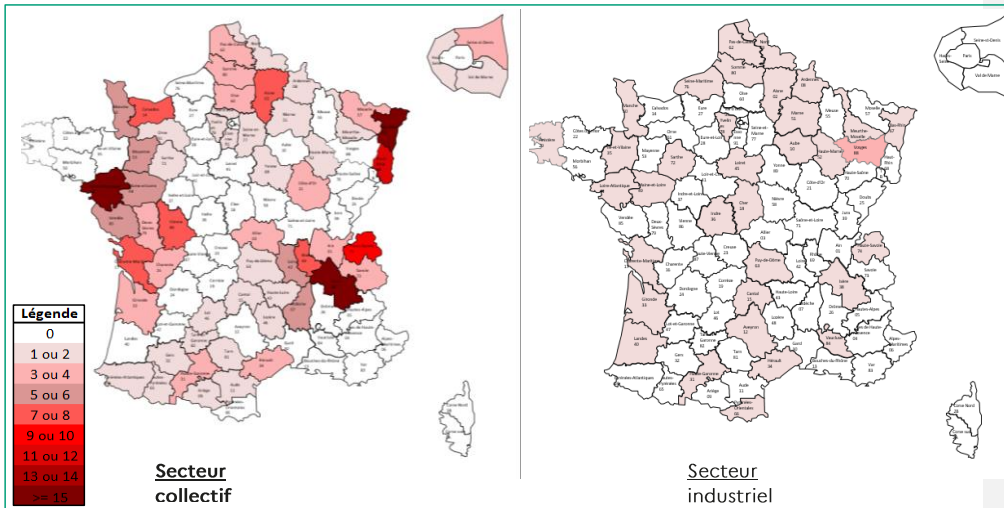


Figure 2: Répartition du nombre de dossiers du panel en fonction du type de projet (collectif ou industriel)

Les dossiers du panel ont été classés en fonction de leur puissance bois afin d'avoir une répartition la plus homogène possible. Cette répartition a permis de déterminer les sous-catégories suivantes :

- ▶ **Collectif**
 - 1 – Hors catégorie (Puissance inférieure à 150 kW ou absence de données)
 - 2 – 150 kW à 500 kW
 - 3 – 500 kW à 1 000 kW
 - 4 – 1 000 kW à 3 000 kW
 - 5 – 3 000 kW à 12 000 kW
 - 6 – >12 000 kW
- ▶ **Industrie**
 - 1 - Hors catégorie (Puissance inférieure à 1 000 kW ou absence de données)
 - 7 - 1 000 kW à 5 000 kW
 - 8 - 5 000 kW à 30 000 kW

Ces sous-catégories sont mises en évidence sur le graphique suivant :

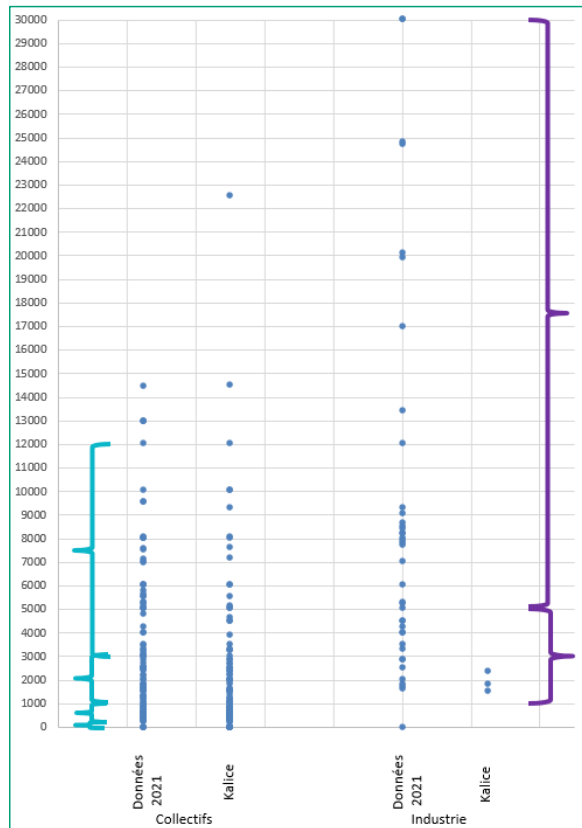


Figure 3: Répartition du panel en fonction de la puissance installée

La plage de puissance bois est très étendue, de 150 à 30 000 kW, avec une moyenne de 3 850 kW. Ces résultats sont variables selon la typologie des installations.

kW	Minimum	Maximum	Moyenne
Données 2021	200	30 000	5 000
Collectif	200	14 400	3 400
Industrie	1 600	30 000	9 100
Etude Kalice [1]	150	22 500	2 400
Collectif	150	22 500	2 400
Industrie	1 500	2 300	1 900
Total général	150	30 000	3 850

Tableau 1 : Statistiques sur la puissance du panel

Un critère essentiel dans l'analyse des coûts d'investissement et d'exploitation des chaufferies biomasse est la présence ou non d'un réseau de chaleur. Ce critère est important pour permettre une bonne contextualisation du projet.

Réseau de chaleur présent ?	Pas d'information	Non	Oui	Total
Données 2021	1	41	108	150
Collectif	1	11	98	110
1 - Hors catégorie			4	4
2 - 150 kW à 500 kW		4	8	12
3 - 500 kW à 1 000 kW			16	16
4 - 1 000 kW à 3 000 kW		2	31	33
5 - 3 000 kW à 12 000 kW	1	5	35	41
6 - >12 000 kW			4	4
Industrie		30	10	40
1 - Hors catégorie		1		1
7 - 1 000 kW à 5 000 kW		12	2	14
8 - 5 000 kW à 30 000 kW		17	8	25
Etude Kalice [1]	18	16	90	124
Collectif	17	15	89	121
1 - Hors catégorie			13	13
2 - 150 kW à 500 kW	5	6	13	24
3 - 500 kW à 1 000 kW	6	3	19	28
4 - 1 000 kW à 3 000 kW	4	5	22	31
5 - 3 000 kW à 12 000 kW	2	1	20	23
6 - >12 000 kW			2	2
Industrie	1	1	1	3
7 - 1 000 kW à 5 000 kW	1	1	1	3
Total général	19	57	198	274

Tableau 2 : Répartition du panel en fonction de la puissance et de la présence d'un réseau de chaleur technique

2.2. Collecte d'informations

Une fois le panel sélectionné, les informations utiles à l'étude sont collectées.

- **Pour les investissements**, les données ont été récupérées au sein des délégations régionales (avec une analyse détaillée de tous les documents disponibles, archivés dans les documents relatifs à l'instruction du dossier par l'ADEME, depuis le dépôt de la demande de financement jusqu'au solde de la convention). Lorsque les états récapitulatifs des dépenses n'étaient pas disponibles au sein des délégations régionales, une demande a été faite au service comptable à Angers (49). Pour le cas particulier des installations BCIAT, l'ensemble des données d'investissements a pu être collecté directement auprès du service Bioressources de l'ADEME à Angers (49).
- **Pour les coûts d'exploitation**, les rapports d'exploitation des installations ont été demandés auprès des maîtres d'ouvrage et/ou exploitants (antérieurs à 2020 pour éviter de fausser les données avec l'impact de la pandémie COVID-19). Certains de ces rapports ont été récupérés dans les dossiers de l'ADEME : ils représentent une minorité des dossiers étudiés.

La principale difficulté de l'étude a porté sur la « qualité » de la collecte des informations. En effet, une forte hétérogénéité des données récupérées a été observée : niveau de détails et de précision des informations communiquées très variable, peu d'homogénéité dans la façon de structurer ou d'agglomérer les données chiffrées et peu d'éléments contextuels permettant d'identifier d'éventuels particularismes sur les opérations.

2.3.Actualisation des coûts

Etant donné que les projets qui seront analysés s’inscrivent sur une plage de temps relativement longue (de 2011 à 2020), il convient d’établir une correction des coûts afin d’effectuer une comparaison sur des conditions économiques homogènes. A ce titre, une actualisation des coûts est effectuée. Les données présentées seront actualisées sur la base de l’année 2020.

2.3.1. Indice Prix de l’énergie

Les indices sélectionnés pour étudier le prix de l’énergie sont les suivants :

- Electricité : EMT
- Gaz naturel : PEG
- Propane : Propane
- Fioul : FOD C4
- Bois : Plaquettes forestières C2, Plaquettes de scierie C3, DIB Classe A C4, Mélange C3, Mélange C3-C5, Granulés vrac, Chutes diverses de seconde transformation broyées

Les indices sur la période 2011 – 2020 sont les suivants :

Année	EMT	PEG	Plaquettes forestières C2	Plaquettes de scierie C3	DIB Classe A C4	Mélange C3	Mélange C3-C5	Granulés vrac	Chutes diverses	Propane	FOD C4
2011	83,7	23,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,8	100,0	642,2	317,0
2012	87,3	24,9	99,9	112,5	105,4	105,9	102,3	95,0	108,5	702,6	352,5
2013	92,2	27,1	103,1	116,3	123,3	113,4	116,3	104,6	123,9	613,0	333,6
2014	95,6	22,4	102,0	128,8	143,0	118,0	124,4	107,8	149,3	521,3	301,6
2015	102,3	20,5	100,1	122,7	145,0	126,6	128,3	100,8	161,1	324,2	235,6
2016	101,7	14,1	102,7	120,0	146,1	128,7	133,7	96,5	191,4	273,9	222,5
2017	101,6	17,2	98,3	121,0	146,8	126,6	120,8	99,7	203,6	389,4	255,5
2018	103,7	22,0	103,2	125,3	148,4	117,9	122,3	103,2	199,7	432,3	317,9
2019	114,9	14,5	99,7	124,7	149,5	113,1	123,3	109,4	173,3	342,6	327,2
2020	117,8	9,4	97,2	121,0	146,7	122,9	118,2	106,0	153,3	281,6	263,0

Tableau 3 : Indices des prix de l’énergie

L’évolution des indices du prix de l’énergie (%) est représentée ci-dessous :

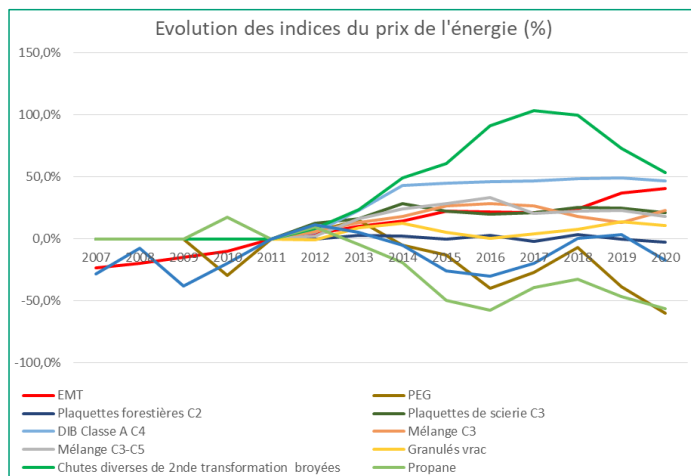


Figure 4 : L’évolution des indices du prix de l’énergie

2.3.2. Autres indices

Les indices sélectionnés sont les suivants :

- Bâtiment – Tous corps d'état : BT01
- Bâtiment – Chauffage central : BT40
- Frais et Services Divers : FSD 1 & FSD 2
- Coût Horaire du Travail : ICHT IME
- Ingénierie : ING
- Transport : CNR REG EA - IT
- Travaux Publics – Tous corps d'état : TP01
- Coûts de production : ICP

Les indices sur la période 2011 – 2020 sont les suivants :

Année	BT01	BT40	FSD 1	FSD 2	ICHT IME	ING	CNR REG EA - IT	TP01	ICP
2011	102,2	100,1	127,7	124,2	107,2	103,0	133,8	103,9	96,7
2012	104,4	102,3	131,4	127,5	110,3	105,4	137,5	107,0	98,6
2013	105,3	103,6	131,2	127,7	111,9	106,7	136,1	107,7	99,5
2014	105,1	104,1	128,9	126,1	113,5	107,6	133,1	106,8	100,0
2015	104,2	103,8	125,1	123,9	115,4	108,2	127,5	102,8	100,0
2016	104,2	103,9	122,2	122,1	117,5	109,3	126,5	101,8	100,2
2017	106,5	105,5	126,7	125,4	119,1	111,2	129,1	105,2	101,2
2018	109,1	107,4	133,4	130,1	121,8	113,9	134,3	109,3	103,1
2019	111,1	109,5	133,6	130,9	125,1	116,4	135,9	111,0	104,2
2020	111,7	110,5	127,9	127,9	126,6	117,0	131,0	110,0	104,7

Tableau 4 : Indice des prix hors énergie

L'évolution des indices (%) est représentée ci-dessous :

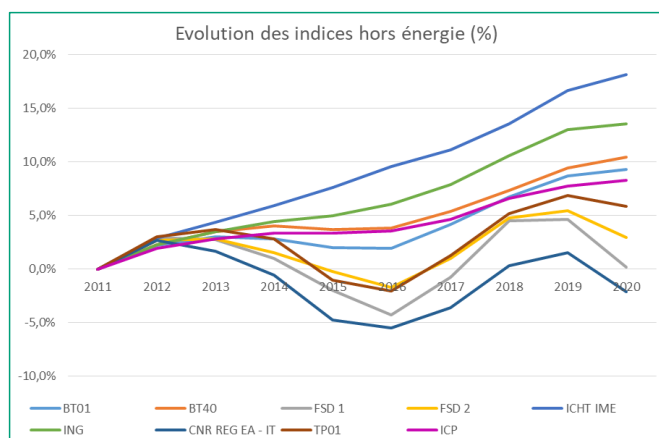


Figure 5 : L'évolution des indices du prix hors énergie

L'Indice des Coûts de la Production (ICP) est représentatif des autres indices sélectionnés sur la période donnée. Dans l'étude, l'actualisation des coûts hors énergie se fera avec l'Indice des Coûts de la Production.

2.4. Analyse

Pour permettre une analyse adéquate des coûts d'investissement et d'exploitation associés aux installations biomasse-énergie, la méthodologie suivante est appliquée :

- Détermination d'un paramètre pertinent pour le critère étudié ;
- Représentation graphique présentant les ratios obtenus sur l'ensemble des opérations de l'échantillon du groupe de dossiers considérés et pour lesquelles des données d'exploitation disponibles permettent de faire un calcul (pour chaque type de ratio, le nombre de dossiers pris en compte n'est pas forcément le même car toutes les données n'ont pas été collectées avec le même niveau de détails) ;
- Identification sur le graphique des opérations à exclure de l'analyse car présentant des ratios « extrêmes » et indication, le cas échéant, des éventuels particularismes liés ;
- Visualisation sur le graphique des regroupements de points réalisés et présentation d'un tableau des résultats : nombre de points, intervalle et moyenne sur l'échantillon final retenu ;
- Présentation d'analyses complémentaires spécifiques, notamment sur certains des « sous-postes » (explicités dans la suite du rapport d'étude).

2.5. Ratio économique et énergétique

Pour la réalisation de l'étude plusieurs ratios ont été utilisés. Ils sont présentés ci-dessous.

2.5.1. Ratio économique

Les différentes postes de dépenses relatives à l'économie des installations biomasse-énergie sont présentées. Celles-ci diffèrent en fonction de la typologie (chaufferie dédiée et réseau de chaleur). Pour les chaufferies dédiées les grandeurs sont les suivantes :

- Part variable :
 - P1 : cette grandeur est relative à l'achat des combustibles (bois et appoint) et est directement liée à la consommation des abonnés ;
- Part fixe, elle est calculée comme la somme des quatre grandeurs suivantes :
 - P1' : il s'agit du prix d'achat de l'électricité nécessaire au bon fonctionnement des équipements des installations ;
 - P2 : ce terme représente le prix de l'entretien et de la maintenance. Il est question, ici, de petits entretiens ;
 - P3 : il est relatif au prix du gros entretien et du renouvellement des installations ;
 - P4 : il s'agit des charges liées au financement du projet, et plus précisément au remboursement de l'emprunt effectué.

Pour les réseaux de chaleur les grandeurs sont les suivantes :

- Part variable :
 - R1 : cette grandeur est relative à l'achat des combustibles (bois et appoint) et est directement liée à la consommation des abonnés ;
- Part fixe (R2), elle est calculée comme la somme des quatre grandeurs suivantes :
 - R21 : il s'agit du prix d'achat de l'électricité nécessaire au bon fonctionnement des équipements des installations ;
 - R22 : ce terme représente le prix de l'entretien et de la maintenance. Il est question, ici, de petits entretiens ;
 - R23 : il est relatif au prix du gros entretien et du renouvellement des installations ;
 - R24 : il s'agit des charges liées au financement du projet, et plus précisément au remboursement de l'emprunt effectué.

Il est important de maîtriser les coûts liés à une chaufferie bois avec ou sans réseau de chaleur, et plus particulièrement des postes « investissement » et « exploitation », afin de garantir une bonne rentabilité économique. Ainsi, une connaissance **des coûts d'investissement et d'exploitation associés aux installations biomasse-énergie** est nécessaire.

2.5.2. Ratios énergétiques

En plus des ratios économiques, les données recueillies ont permis d'établir des ratios énergétiques qu'il est apparu intéressant de présenter car illustrant les conditions d'exploitation (et parfois de conception) des installations :

- **Puissance bois** : puissance générée par le combustible bois en kW_{bois} ;
- **Puissance appoint** : puissance générée par le combustible d'appoint en $\text{kW}_{\text{appoint}}$;
- **Puissance bois et appoint** : puissance générée par l'installation (bois et appoint) en kW_{total} ;
- **Longueur du réseau de chaleur** : $\text{ml}_{\text{réseau}}$;
- **Nombre de sous-station** : nbr SST ;
- **Consommation d'électricité** : énergie électrique consommée par les équipements en $\text{MWh}_{\text{élec}}$;
- **Energie produite ou livrée** : énergie produite (chaufferie dédiée) ou livrée (réseau de chaleur) en $\text{MWh}_{\text{produit/livré}}$;
- **Production de chaleur en sortie de chaleur** : énergie en sortie de chaudière en $\text{MWh}_{\text{sortie}}$;
- **Consommation de bois et d'appoint** : énergie bois et appoint en entrée de chaufferie en $\text{MWh}_{\text{total}}$;
- **Consommation de bois** : énergie bois en entrée de chaufferie en MWh_{bois} ;
- **Production d'énergie bois** : énergie bois produite en chaufferie en MWh_{bois} ;
- **Le rendement de production de la chaudière bois ou de production/distribution dans le cas des chaufferies bois avec réseau de chaleur** : rapport entre la quantité annuelle d'énergie entrante (lorsque cette donnée est connue, en lien avec les tonnages de combustible consommé et l'humidité du bois sur brut) et celle en sortie chaudière bois ou celle distribuée au niveau des sous-stations (dans le cas des réseaux de chaleur) en % ;
- **Le taux de couverture bois moyen annuel** : calculé à partir de la quantité annuelle d'énergie produite en sortie chaudière bois et de celle produite en sortie chaudière d'appoint ou de la quantité totale annuelle d'énergie produite en sortie de l'ensemble des chaudières (compteur général installé) en %.

3. Coûts d'investissements

Dans un premier temps, les coûts d'investissement sont étudiés. L'étude se portera d'abord sur les investissements globaux avant de se porter sur les investissements relatifs aux différents postes et sous-postes d'investissement. Enfin, une synthèse reprenant les principaux résultats obtenus sera réalisée.

Tout dossier écarté est analysé en détails afin de fournir une justification de cette exclusion, le tableau récapitulatif des justifications se trouve en annexe (Annexe 2).

3.1. Investissements globaux

Dans un premier temps, les investissements globaux sont étudiés. Ils correspondent à l'ensemble des investissements à prendre en compte pour la mise en place d'installations biomasse énergie. Ils sont répartis en différents postes :

- **Process bois** : ce poste prend en compte l'ensemble des investissements relatifs au combustible bois (chaudière, traitement des fumées, électricité et automatisme, etc.) ;
- **Appoint(s)** : de même que pour le process bois, ce poste s'intéresse aux investissements relatifs au combustible d'appoint ;
- **Génie civil** : dans ce poste sont pris en compte les investissements liés à la mise en place des installations biomasse (terrassement, charpente, menuiserie, etc.) ;
- **Distribution de chaleur** : l'ensemble des investissements relatifs au réseau de chaleur, aux stations, à l'électricité/automatisme ou encore à l'hydraulique est pris en compte dans ce poste ;
- **Etudes/Ingénierie** : tout investissement lié à la maîtrise d'œuvre, l'assistance à maîtrise d'ouvrage ou encore au contrôle technique est répertorié dans ce poste.

Ces différents postes seront, par la suite, détaillés. Dans un premier temps, une étude des investissements globaux est réalisée. Pour cela, l'investissement global, exprimé en €HT, est divisé par la puissance bois des installations ce qui permet d'obtenir un ratio en €HT/kW_{bois}. Il est décidé d'étudier cet investissement en fonction de la présence ou de l'absence d'un réseau de chaleur.

L'échantillon de base recueilli pour l'étude est présenté ci-dessous :

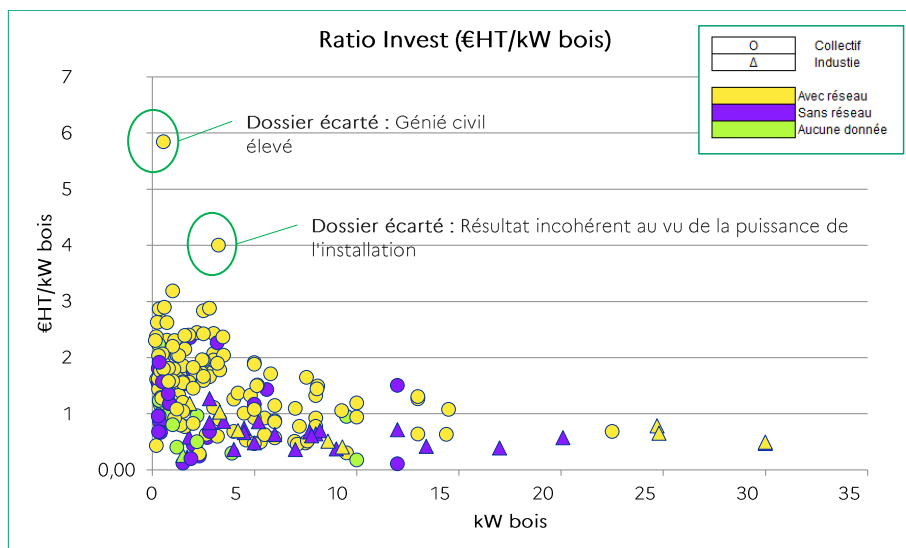


Figure 6 : Investissement global - Echantillon de base

Deux dossiers ont été écartés à cause de leurs valeurs extrêmes et ainsi trop peu représentatifs de la tendance globale. L'échantillon retenu est le suivant :

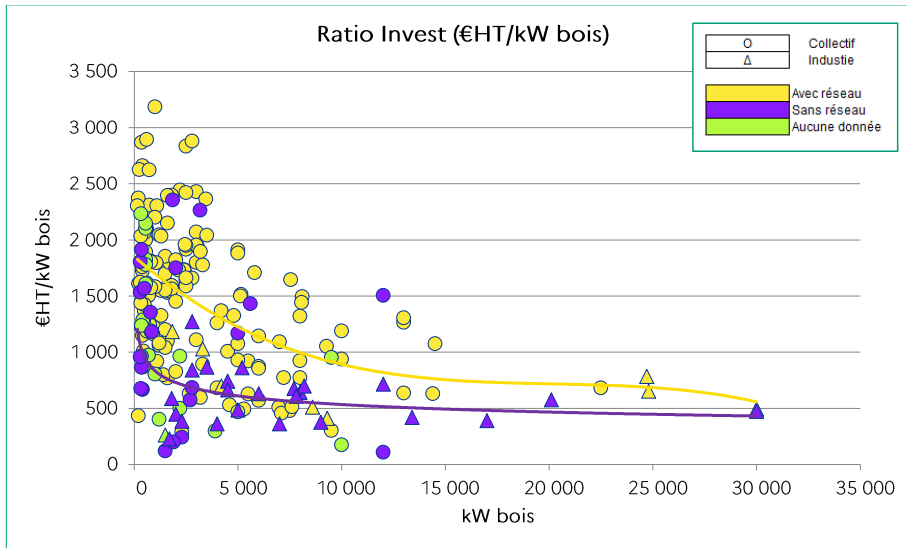


Figure 7 : Investissement global - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

€HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
Avec Réseau				
150 kW à 500 kW	434	2 868	1 697	19
500 kW à 1 000 kW	1 164	2 895	1 696	26
1 000 kW à 3 000 kW	286	3 185	1 682	49
3 000 kW à 12 000 kW	302	2 428	1 191	49
>12 000 kW	630	1 306	932	6
Sans Réseau				
150 kW à 500 kW	665	1 914	1 259	6
500 kW à 1 000 kW	1 180	1 566	1 367	3
1 000 kW à 3 000 kW	120	2 355	846	7
3 000 kW à 12 000 kW	108	2 263	1 296	5
>12 000 kW	-	-	-	-
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	228	1 271	683	14
5 000 kW à 30 000 kW	362	861	566	19

Tableau 5 : Investissement global – Statistiques par catégorie

Pour les installations avec présence d'un réseau de chaleur, l'investissement est plus important qu'en l'absence d'un réseau : il y a quasiment un facteur deux entre les deux cas. L'absence de réseau et de sous-stations diminue fortement l'investissement, pour une même puissance. Un fort écart-type est observé : les valeurs varient de 108 €HT/kW_{bois} à 3 185 en €HT/kW_{bois}. Cette disparité provient de la multitude de conceptions possibles pour une chaufferie bois (combustible, bâti, technologie, présence d'un réseau de

Commenté [HL1]: Cette valeur n'est pas très cohérente avec le ratio "avec réseau" mais j'imagine que c'est dû au nombre de dossier ?

Commenté [E-MP2R1]: Oui, il s'agit bien du nombre de dossier

chaleur, etc.). Cependant, en moyenne, l'investissement global est relativement stable pour des puissances bois comprises entre 150 kW_{bois} et 3 000 kW_{bois}. Il diminue ensuite pour atteindre 932 en €/HT/kW_{bois} pour des puissances bois supérieures à 12 000 kW. Les investissements dans le secteur industriel sont en moyenne de 600 €/HT/kW_{bois}, quelle que soit la puissance bois installée. Dans la suite de ce rapport, chaque sous-poste d'investissement sera étudié, afin de mieux comprendre la répartition des prix.

3.2. Poste « Process Bois »

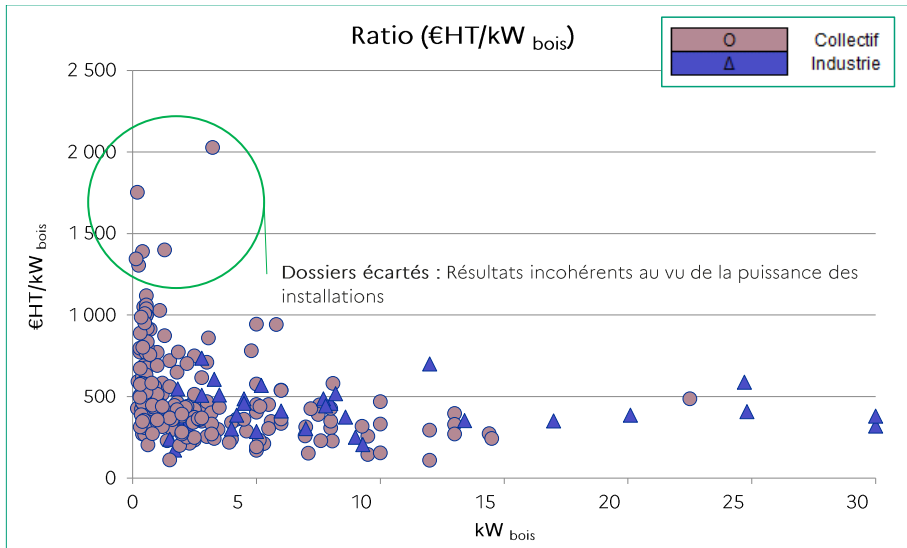
3.2.1. Analyse du poste global

Le premier poste d'investissement choisi pour être détaillé est le poste « Process Bois ». Ce poste est composé de plusieurs sous-postes qui sont présentés ci-après :

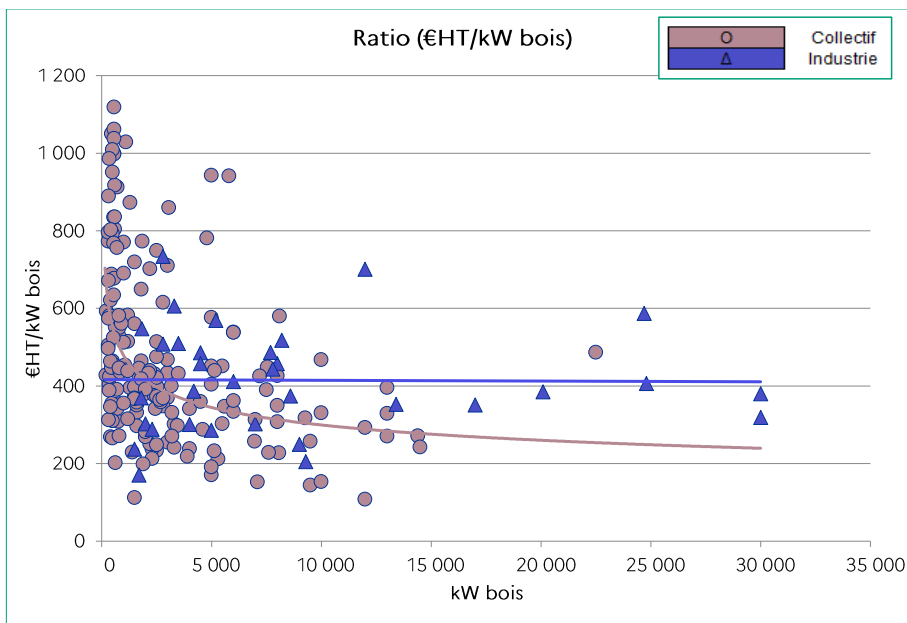
- **Extraction et transfert** : ce sous-poste s'intéresse aux investissements relatifs aux processus d'extraction et de transfert du combustible bois. Plusieurs technologies sont disponibles pour ces deux processus. Pour l'extraction, les technologies possibles sont : plateaux rotatifs, échelles raclées, pont à grappin, etc. La vis sans fin, le convoyeur ou le transfert pneumatique sont des technologies de transfert ;
- **Chaudière (foyer / échangeur)** : dans ce sous-poste, sont pris en considération les investissements liés à la chaudière et plus précisément au foyer et à l'échangeur. Les investissements varient en fonction du type de foyer (volcan, grille fixe, grille mobile, etc.) et en fonction du type et de la taille de l'échangeur ;
- **Condenseur** : ce sous-poste prend en compte les investissements relatifs au condenseur qui permet la récupération d'énergie sur les fumées ;
- **Décendrage** : pour ce sous-poste, les investissements pris en compte concernent le processus de décendrage. Le décendrage est directement lié au type de foyer de la chaudière : il peut être manuel ou automatique ou se faire par voie sèche ou humide ;
- **Traitement de fumées et fumisterie** : ce sous-poste prend en compte les investissements relatifs au traitement des fumées et à la fumisterie. Elles comprennent les conduits, les socles de cheminées, les pièges à sons, par exemple ;
- **Hydraulique associé** : dans ce sous-poste, sont pris en considération les investissements liés aux équipements hydrauliques pouvant être associés aux chaufferies (hydro-accumulation, vannes, etc.).
- **Electricité et automatisme** : ce sous-poste s'intéresse aux investissements relatifs au domaine électrique (éclairage, ...) et automatisme (la régulation, ...);

Pour l'étude du poste « Process Bois », l'investissement relatif à la production de bois est ramené à la puissance bois de l'installation, ce qui permet d'obtenir un ratio en €/HT/kW_{bois}. Les résultats obtenus sont répartis en fonction de leur typologie (collectivité ou industrie) afin de voir l'influence de celle-ci sur l'investissement relatif au poste « Process Bois ».

L'échantillon de base pour l'étude est présenté ci-dessous :



Après avoir écarté plusieurs dossiers en raison de leur ratio incohérent au vu de leur puissance, l'échantillon retenu est le suivant :



Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€/HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif	108	1 119	476	183
Industrie	171	734	415	33

Tableau 6 : Process Bois – Statistiques par typologie

€/HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	269	1 050	577	26
500 kW à 1 000 kW	202	1 119	647	35
1 000 kW à 3 000 kW	112	1 028	438	59
3 000 kW à 12 000 kW	108	943	378	57
>12 000 kW	243	486	333	6
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	171	734	422	14
5 000 kW à 30 000 kW	205	701	410	19

Tableau 7 : Process Bois - Statistiques par catégorie

Dans un premier temps, une disparité assez importante des ratios obtenus est constatée, néanmoins celle-ci s'atténue avec la puissance des installations. L'investissement moyen sur ce type d'installations du secteur collectif varie de 800 €/HT/kW_{bois} pour une puissance de 500 kW_{bois} à 250 €/HT/kW_{bois} pour une puissance de 15 000 kW_{bois}. Les dossiers concernant les installations industrielles ont un écart-type plus faible : il est d'environ 500 €/HT/kW_{bois} alors qu'il atteint quasiment 1 000 €/HT/kW_{bois} pour les installations collectives. L'investissement pour les installations industrielles est, en moyenne, de 415 €/HT/kW_{bois} quelle que soit la puissance installée.

Une analyse a été effectuée en fonction du type de combustible utilisé dans la chaudière bois. Elle est présentée ci-après.

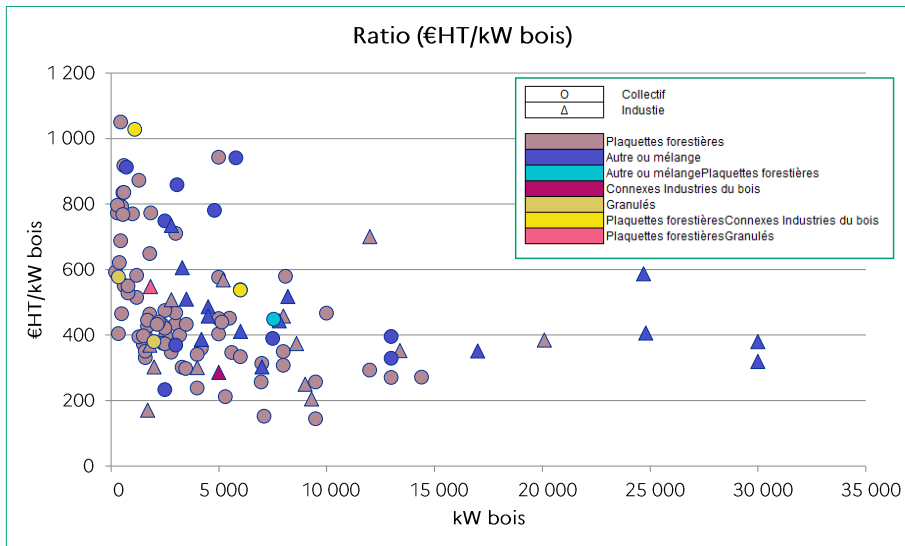


Figure 10 : Process Bois en fonction du combustible - Echantillon d'étude

Les données sont suffisantes pour être exploitées pour seulement deux catégories de combustible : « plaquettes forestières » et « Autre ou mélange ». Les ratios sont présentés dans le tableau ci-dessous :

€/HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Plaquettes forestières	144	1 050	468	84
Autre ou mélange	233	941	515	26

Tableau 8 : Process Bois en fonction du combustible – Statistiques

Le graphique semble mettre en évidence que l'investissement lié au process bois est plus faible pour les industries, pour un même type de combustible. De plus, le combustible « Autre ou mélange » semble être majoritairement utilisé par les industries qui présentent des puissances supérieures à celles des installations collectives. Il est possible de remarquer que les ratios moyens obtenus sont du même ordre de grandeur pour les deux combustibles « Autre ou mélange » et « Plaquettes forestières ». Il n'est pas possible de déterminer un prix d'investissement moyen pour les autres combustibles, fautes de données suffisantes.

3.2.2. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Filtration des fumées »

Un focus dédié au sous-poste « Filtration des fumées » est réalisé sur les dossiers comportant un système de traitement des fumées (électrofiltre, filtre à manches, etc.), pour lesquels le montant du sous-poste était clairement identifié.

Le coût du système de filtration divisé par la puissance bois est étudié. Les données sont réparties en fonction du type de filtration installé. Des modélisations mettant en évidence la tendance d'évolution des prix ont été réalisées quand le nombre de dossiers était supérieur à 15.

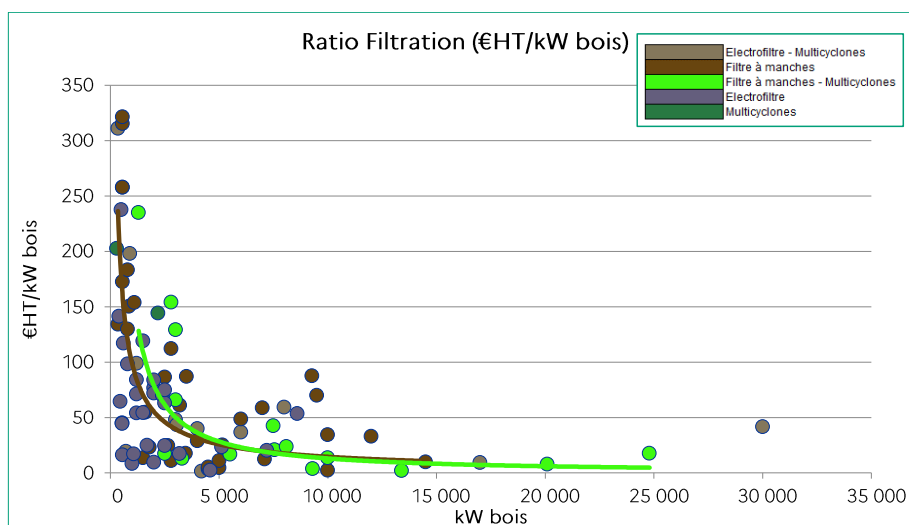


Figure 11 : Filtration des fumées – Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€/HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Electrofiltre - Multicyclones	9	311	77	12

Filtre à manches	4	321	88	34
Filtre à manches - Multicyclones	8	235	58	13
Electrofiltre	8	237	64	28
Multicyclones	144	203	173	2

Tableau 9 : Filtration des fumées – Statistiques par type de filtration

La filtration par électrofiltre est majoritairement utilisée pour les installations ayant une puissance inférieure, en général, à 7 000 kW_{bois}. Il y a une diminution de la disparité des points ainsi que des coûts de filtration à mesure que la taille des installations augmente. Des filtres à manches sont alors usuellement installés. Il y a trop peu de valeurs pour la filtration par multicyclones pour pouvoir comparer son coût avec les autres types de filtration.

Les multicyclones dans les dossiers étudiés sont majoritairement installés en complément d'un autre type de filtrations, ils seront étudiés à part.

Filtrations des fumées, à l'exception des chaufferies ayant un ou des multicyclones :

€/HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	10	141	56	12
500 kW à 1 000 kW	16	321	138	18
1 000 kW à 3 000 kW	8	176	60	27
3 000 kW à 12 000 kW	4	114	41	21
>12 000 kW	10	131	52	4
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	11	105	40	5
5 000 kW à 30 000 kW	53	53	53	1

Tableau 10: Filtration des fumées (excepté les multicyclones) – Statistiques par catégorie

Au vu de la valeur importante obtenue pour une puissance bois comprise entre 500 kW bois et 1 000 kW bois, il est décidé d'étudier plus précisément les valeurs autour de cette plage de puissance bois.

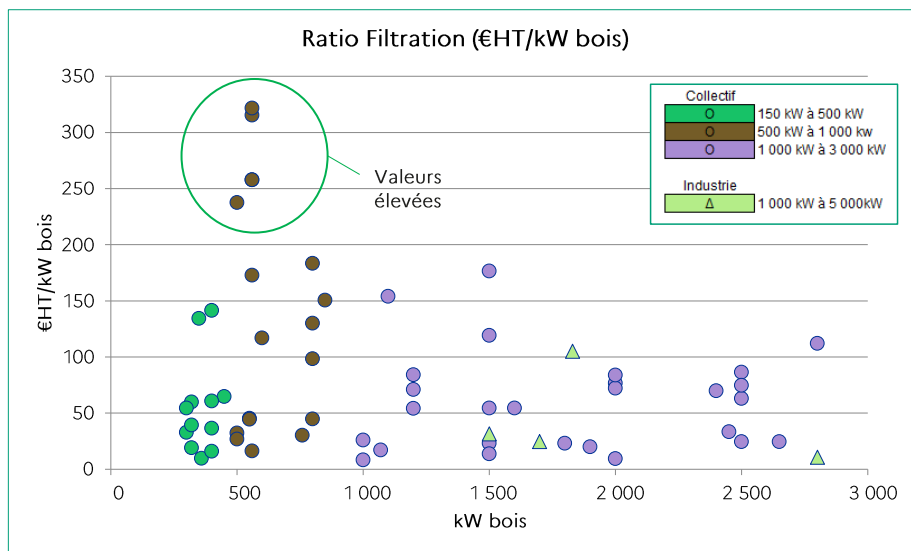


Figure 12: Zoom filtration des fumées (excepté les multicyclones)

Quelques valeurs élevées ont été mises en évidence sur le précédent graphique. Aucune des données collectées pour ces dossiers n'a pas permis d'expliquer ces résultats.

Dans le cas où les multicyclones ne sont pas pris en compte, le coût d'investissement ramené à la puissance bois varie fortement pour la plage de puissance bois 500 kW_{bois} – 1 000 kW_{bois} : de 16 €/HT/kW_{bois} à 321 €/HT/kW_{bois}. Pour les autres plages de puissance bois, l'écart entre les extrema est plus faible ce qui permet d'obtenir des coûts d'investissement moyens de l'ordre de 50 €/HT/kW_{bois}. Les résultats ne diffèrent quasiment pas entre les installations collectives et les industrielles.

Filtrations des fumées avec les chaufferies ayant un ou des multicyclones :

€/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	203	311	257	2
500 kW à 1 000 kW	19	198	109	2
1 000 kW à 3 000 kW	17	235	130	5
3 000 kW à 12 000 kW	13	129	41	14
>12 000 kW	-	-	-	-
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	-	-	-	-
5 000 kW à 30 000 kW	8	41	19	4

Tableau 11: Filtration des fumées par multicyclones - Statistiques par catégorie

27 installations possèdent un ou des multicyclones. Les ratios « Filtration » obtenus pour ces installations sont présentés ci-dessous :

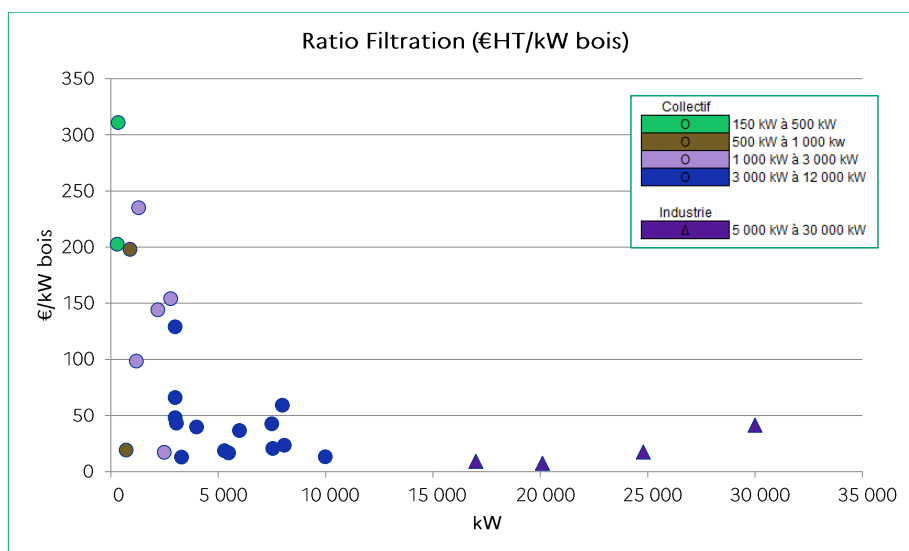


Figure 13: Zoom filtration des fumées (ayant un ou des multicyclones)

Dans le cas où au moins un multicyclone est présent, le prix d'investissement ramené au kW bois installé du poste filtration diminue avec la puissance installée. Les multicyclones étant en général dans les dossiers installés en complément d'une autre technologie de filtration, il est difficile d'établir un ratio précis sur les multicyclones.

3.3. Poste « Process Appoint »

Après s'être intéressé au « Process Bois », il est nécessaire d'étudier le « Process Appoint ». Les combustibles d'appoint peuvent être de différentes natures : gaz naturel, fioul, GPL, chaleur fatale, etc. Pour l'étude de ce poste, l'investissement relatif au combustible d'appoint est ramené à la puissance appoint de l'installation, ce qui permet d'obtenir un ratio en €/kW_{appoint}. Les résultats obtenus sont répartis en fonction de leur typologie (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie) afin de voir l'influence de celle-ci sur l'investissement relatif au poste « Process Appoint ».

L'échantillon de base pour l'étude est présenté ci-dessous :

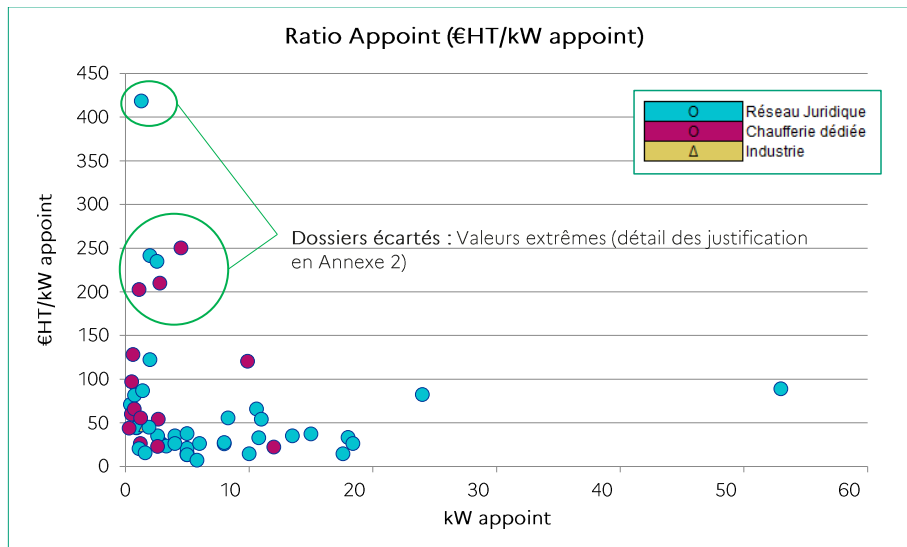


Figure 14 : Process Appoint - Echantillon de base

Après avoir écartés plusieurs dossiers à cause de leurs valeurs extrêmes, l'échantillon d'étude obtenu est le suivant :

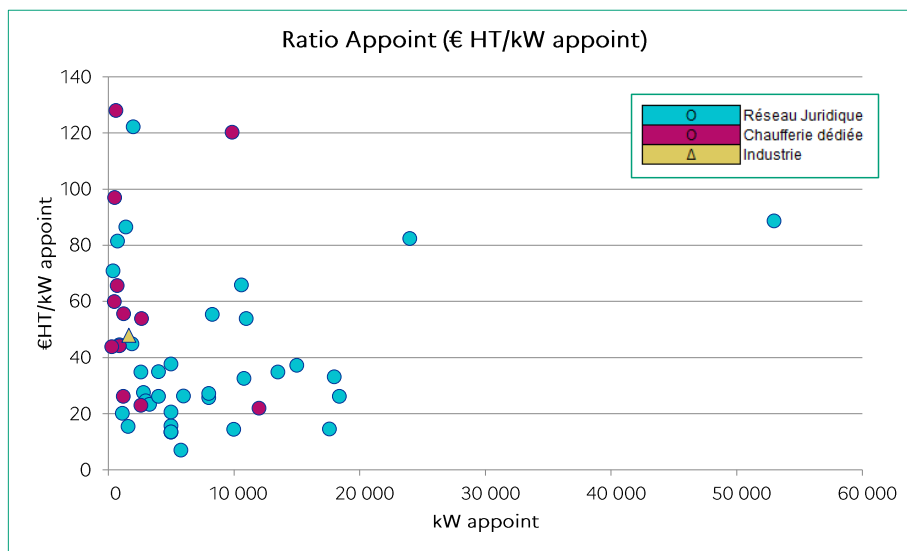


Figure 15 : Process Appoint - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€/HT/kW _{appoint}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Réseau de chaleur	7	122	40	35
Chaufferie dédiée	22	128	62	12
Industrie	48	48	48	1

Tableau 12 : Process Appoint - Statistique par typologie

€/HT/kW _{appoint}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	44	128	78	6
500 kW à 1 000 kW	20	86	51	7
1 000 kW à 3 000 kW	7	122	32	16
3 000 kW à 12 000 kW	20	86	51	7
>12 000 kW	89	89	89	1
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	48	48	48	1
5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-

Tableau 13 : Process Appoint - Statistique par catégorie

Les valeurs du ratio s'étalent sur une large plage de données : de 7 €/HT/kW_{appoint} à 128 €/HT/kW_{appoint}. Cependant, en moyenne, l'investissement relatif au combustible appoint évolue peu en fonction de la typologie des installations : il vaut 40 €/HT/kW_{appoint} pour les réseaux de chaleur et 62 €/HT/kW_{appoint} pour les chaufferies dédiées. Aucune disparité aux niveaux de l'investissement n'a été observée en fonction du type du combustible d'appoint. L'unique valeur obtenue pour les installations industrielles ne permet pas de tirer de conclusion pour ce type d'installations.

3.4. Poste « Génie civil »

3.4.1. Analyse du poste global

Le second poste d'investissement étudié est le poste « Génie civil ». Il est composé des sous-postes suivants :

- **Terrassement** : ce sous-poste prend en compte les investissements liés aux travaux de terrassement, c'est-à-dire tous travaux relatifs à la préparation du terrain. Les trois actions principales sont : l'extraction, le transport et la mise en œuvre du matériau constituant le terrain ;
- **Gros œuvre, charpente** : pour ce sous-poste, sont considérés les investissements liés à la charpente et tous travaux relatifs à la solidité et à la stabilité de l'installation (fondations, murs, plancher, etc.) ;
- **Couverture, étanchéité** : ce sous-poste comprend les investissements liés à la couverture et à l'étanchéité de l'installation ;
- **Menuiseries** : ce sous-poste prend en compte les investissements relatifs à la menuiserie c'est-à-dire à la fabrication des portes, fenêtres, etc. ;
- **Second œuvre** : pour ce sous-poste, sont inclus les investissements liés à tous travaux permettant d'aménager l'installation. Les domaines faisant partie du second œuvre sont, par exemple, les suivantes : isolation (thermique et acoustique), pose des revêtements, pose des cloisons ;

Pour étudier l'investissement relatif au poste « Génie civil », le ratio étudié (en €/HT/kW_{bois}) est l'investissement relatif au génie civil par rapport à la puissance bois de l'installation. Les résultats obtenus

sont répartis en fonction de leur typologie (collectivité ou industrie) afin de voir l'influence de celle-ci sur l'investissement relatif au poste « Génie civil ».

L'échantillon de base retenu pour l'étude est présenté ci-dessous :

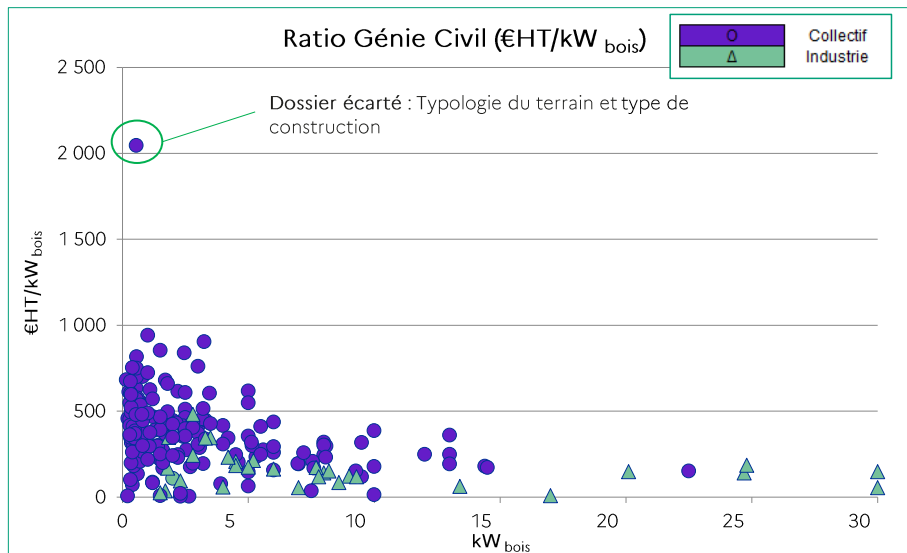


Figure 16 : Génie civil - Echantillon de base

Plusieurs dossiers ont été écartés étant donné leur ratio extrême empêchant une représentation acceptable de la tendance globale. De plus, dans la mesure du possible (c'est-à-dire lorsque l'information est connue), ont été écartés les dossiers pour lesquels un bâtiment était déjà existant.

L'échantillon retenu est le suivant :

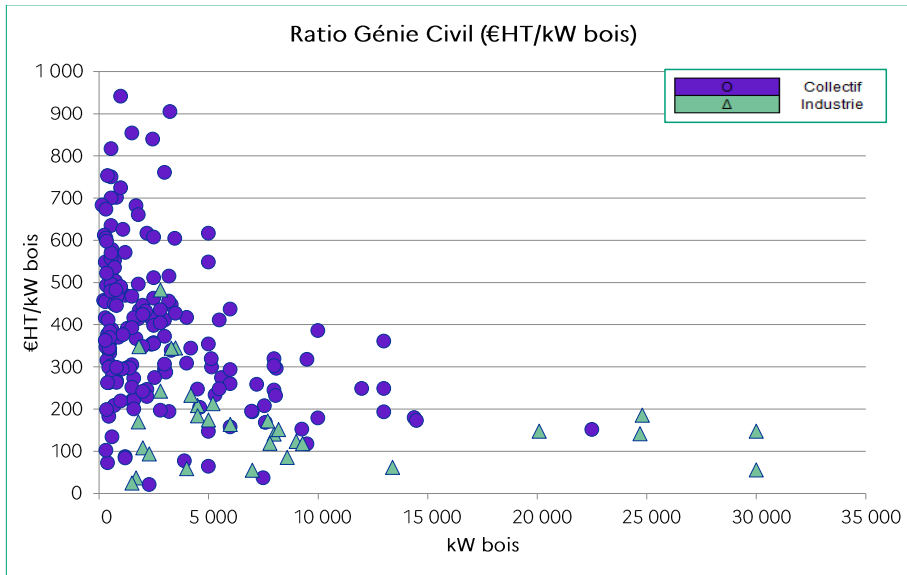


Figure 17 : Génie civil - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif	21	941	381	171
Industrie	25	482	165	31

Tableau 14 : Génie civil – Statistiques par typologie

€HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	72	753	411	26
500 kW à 1 000 kW	134	817	447	34
1 000 kW à 3 000 kW	21	941	406	53
3 000 kW à 12 000 kW	36	905	313	52
>12 000 kW	151	361	218	6
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	25	482	205	14
5 000 kW à 30 000 kW	55	213	133	17

Tableau 15 : Génie civil - Statistiques par catégorie

L'investissement relatif au génie civil dépend fortement de l'environnement (bâtiment existant, type de sol, mode constructif, etc.). Ces paramètres ont un impact sur le coût de construction de la chaufferie : on observe donc une forte hétérogénéité des résultats sur le graphique. En effet, les ratios varient de 21 €HT/kW_{bois} à 941 €HT/kW_{bois}. Néanmoins, les valeurs semblent s'homogénéiser et diminuer à mesure que la puissance bois des installations augmente. On observe également qu'en moyenne ce ratio est plus faible pour les industries : de 133 €HT/kW_{bois} à 205 €HT/kW_{bois}. Les coûts sont en général moins importants pour les chaufferies industrielles. Par exemple, il est plus facile pour un industriel de construire sa chaufferie à plus de 10 m des limites de propriétés, pour les installations classées ICPE, cela entraîne des contraintes moins importantes et donc une diminution des coûts.

3.4.2. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Type de silo »

La nature du silo (enterré ou de plain-pied) est susceptible d'impacter le coût relatif au poste « Génie civil ». Il est donc décidé de réaliser une analyse complémentaire en fonction du type de silo.

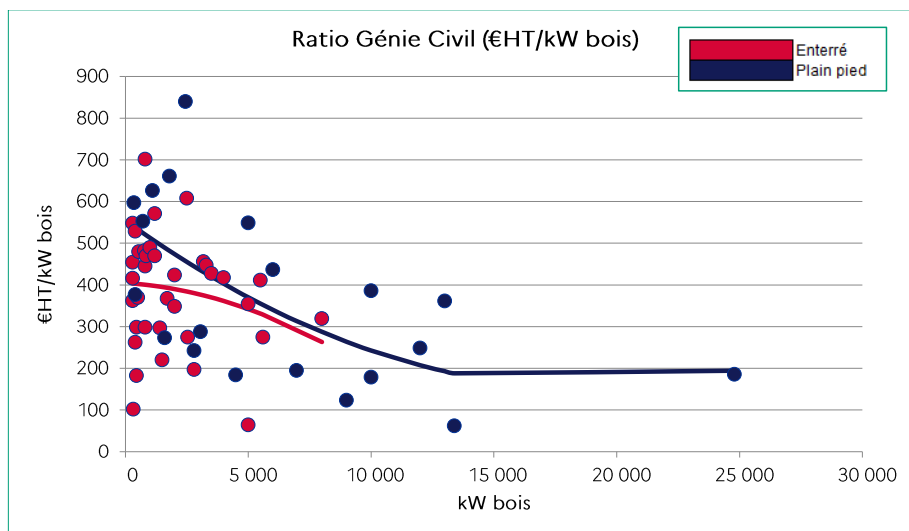


Figure 18 : Génie civil en fonction du type de silo - Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction du type de silo et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

€HT/kW _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Enterré	64	701	384	36
Plain-pied	62	839	368	20

Tableau 16 : Génie civil en fonction du type de silo – Statistiques

Le ratio « Génie civil » diminue avec l'augmentation de la puissance des installations. Le type de silo ne semble pas avoir d'impact significatif sur le ratio « Génie civil » : en moyenne il vaut 376 €HT/kW_{bois}, qu'il s'agisse de silo enterré ou de plain-pied.

3.5. Poste « Distribution de chaleur »

3.5.1. Analyse du poste global

Les investissements relatifs au poste « Distribution de chaleur » sont ensuite étudiés. Celui-ci comprend plusieurs sous-postes détaillés ci-dessous :

- **Hydraulique associé** : dans ce sous-poste, sont pris en considération les investissements liés aux équipements hydrauliques pouvant être associés à la distribution (hydro-accumulation, vannes, etc.).
- **Electricité et automatisme** : ce sous-poste s'intéresse aux investissements relatifs au domaine électrique et automatisme de la distribution ;
- **Réseau de chaleur** : ce sous-poste prend en compte les investissements liés au réseau de chaleur ;
- **Sous-stations primaires** : dans ce sous-poste, sont pris en compte les investissements liés aux sous-stations primaires qui permettent d'alimenter en chauffage et en eau chaude sanitaire les bâtiments reliés au réseau de chaleur ;

Afin d'étudier l'investissement relatif au poste « Distribution de chaleur », l'investissement est ramené à la longueur du réseau, ce qui permet d'obtenir un ratio exprimé en €HT/ml_{réseau}. Les résultats sont regroupés en fonction de la longueur du réseau. Pour cela, des catégories sont mises en place en fonction

des mètres linéaires de réseau. L'objectif est de déterminer l'influence de la longueur du réseau sur l'investissement du poste « Distribution de chaleur ».

L'échantillon de base étudié pour ce poste d'investissement est présenté ci-dessous :

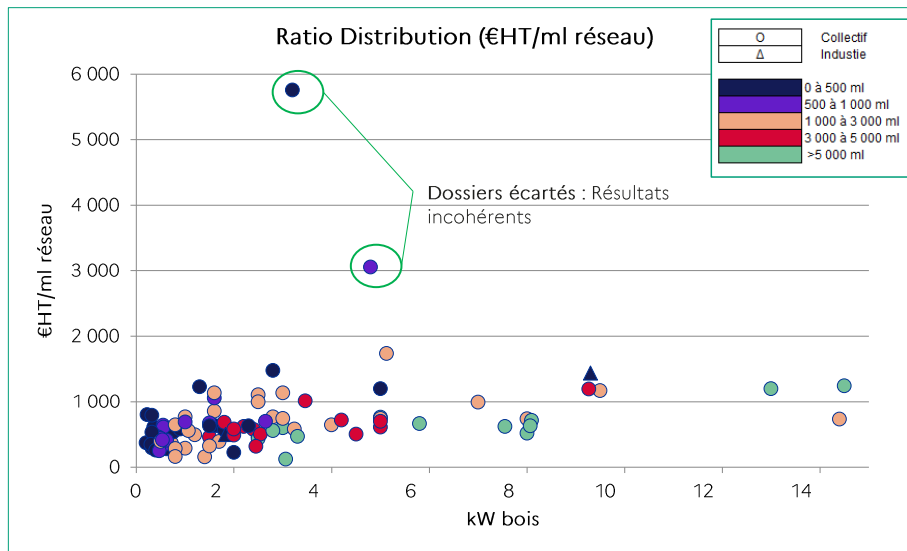


Figure 19 : Distribution - Echantillon de base

Après que plusieurs dossiers aient été écartés à cause de leur valeur incohérente, l'échantillon retenu est le suivant :

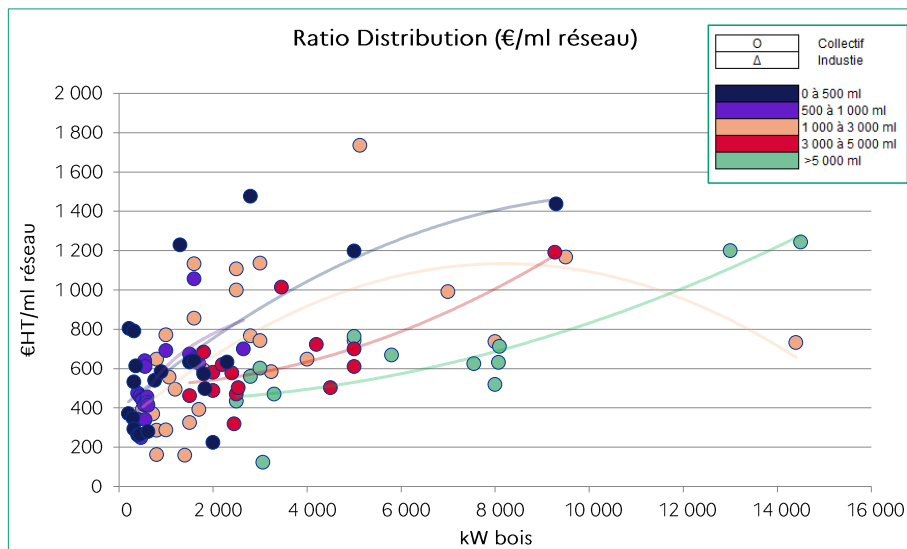


Figure 20 : Distribution - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€HT/ml _{réseau}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
0 à 500 ml	224	1 476	702	26
500 à 1 000 ml	247	1 055	502	20
1 000 à 3 000 ml	157	1 735	685	30
3 000 à 5 000	318	1 191	644	17
> 5 000 ml	123	1 243	657	13

Tableau 17 : Distribution – Statistiques par longueur de réseau

€HT/ml _{réseau}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	247	802	445	13
500 kW à 1 000 kW	161	647	437	16
1 000 kW à 3 000 kW	157	1 476	646	36
3 000 kW à 12 000 kW	123	1 735	780	25
>12 000 kW	290	1 474	775	14
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	497	497	497	1
5 000 kW à 30 000 kW	1 437	1 437	1 437	1

Tableau 18 : Distribution - Statistiques par catégorie

En règle générale, le prix du réseau de chaleur ramené au ml a tendance à être plus faible pour une même puissance bois quand la longueur totale est plus grande. La valeur moyenne évolue, entre 500 €HT/ml_{réseau} et 700 €HT/ml_{réseau}, sa valeur moyenne est d'environ 640 €HT/ml_{réseau}.

Via les courbes de tendance, le graphique met en évidence la tendance à l'augmentation du ratio distribution avec la puissance bois des installations. En effet, en moyenne, ce ratio passe de 445 €HT/ml_{réseau} pour une puissance bois inférieure à 500 kW_{bois} à 775€HT/ml_{réseau} pour une puissance bois supérieure à 12 000 kW_{bois}. Le nombre de valeurs obtenues pour les installations industrielles est trop faible pour permettre une analyse des résultats.

D'autres critères peuvent être étudiés tels que les mètres linéaires (ml) de réseau pour le sous-poste réseau de chaleur ou le nombre de sous-stations. Ces critères sont étudiés par la suite.

3.5.2. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Réseau de chaleur »

Un focus dédié au sous-poste « Réseau de chaleur » est réalisé sur les dossiers comportant un réseau de chaleur technique et pour lesquels le montant du sous-poste est clairement identifié. Ainsi, le rapport de l'investissement relatif au réseau de chaleur par la longueur du réseau donne un ratio en €HT/ml_{réseau}.

Le graphique ci-dessous présente la tendance obtenue :

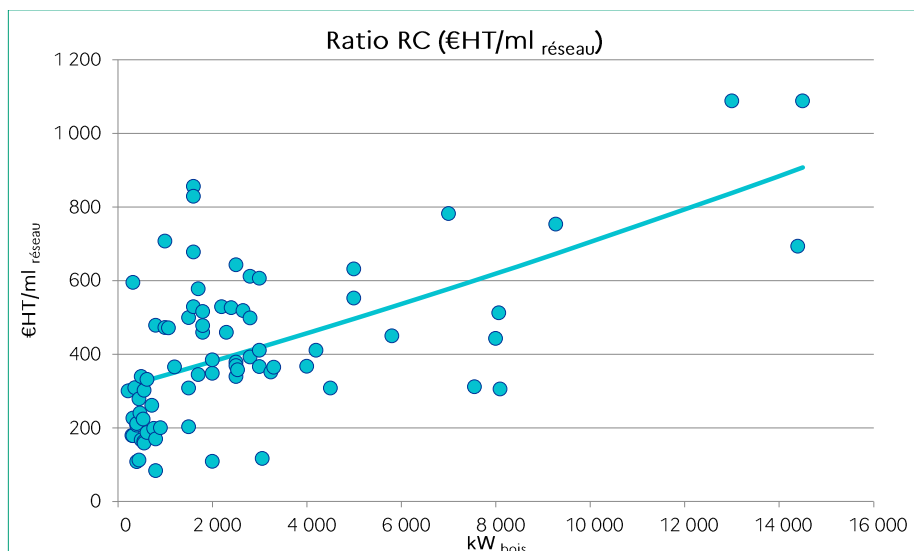


Figure 21 : Réseau de chaleur - Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€/HT/ml réseau	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif	83	1 088	408	80
Industrie	-	-	-	-

Tableau 19 : Réseau de chaleur – Statistiques par typologie

€/HT/ml réseau	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	108	594	245	12
500 kW à 1 000 kW	83	478	233	14
1 000 kW à 3 000 kW	108	955	476	31
3 000 kW à 12 000 kW	116	1 013	476	31
>12 000 kW	376	1 088	730	5
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	-	-	-	-
5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-

Tableau 20 : Réseau de chaleur - Statistiques par catégorie

Les ratios relatifs au réseau de chaleur ramené au mètre linéaire augmentent avec la puissance bois installée. Ce phénomène s'explique par des diamètres de tuyauteries plus importants quand la puissance en chaufferie est plus élevée. L'écart-type des valeurs reste important : une partie de cette différence provient de la localisation du réseau, de l'environnement urbain ou des conditions de mise en œuvre (type de sol, etc.).

3.5.3. Analyse complémentaire sur le sous-poste « Sous-stations »

Un focus dédié au sous-poste « Sous-stations » a été réalisé sur les dossiers comportant des sous-stations et pour lesquels le montant du sous-poste était clairement identifié. Ainsi, le rapport de l'investissement relatif aux sous-stations par le nombre de sous-stations donne un ratio en €/HT/nombre de sous-stations. Ce ratio est étudié en fonction de la puissance bois des installations.

Le graphique ci-dessous présente la tendance obtenue :

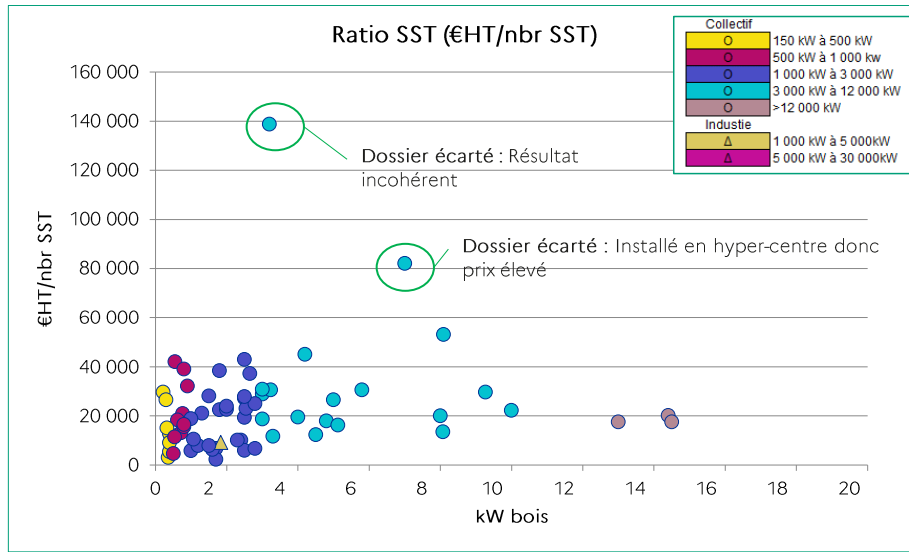


Figure 22 : Sous-Stations - Echantillon de base

Certains dossiers ont été écartés de par leur particularisme ou incohérence. L'échantillon retenu est le suivant :

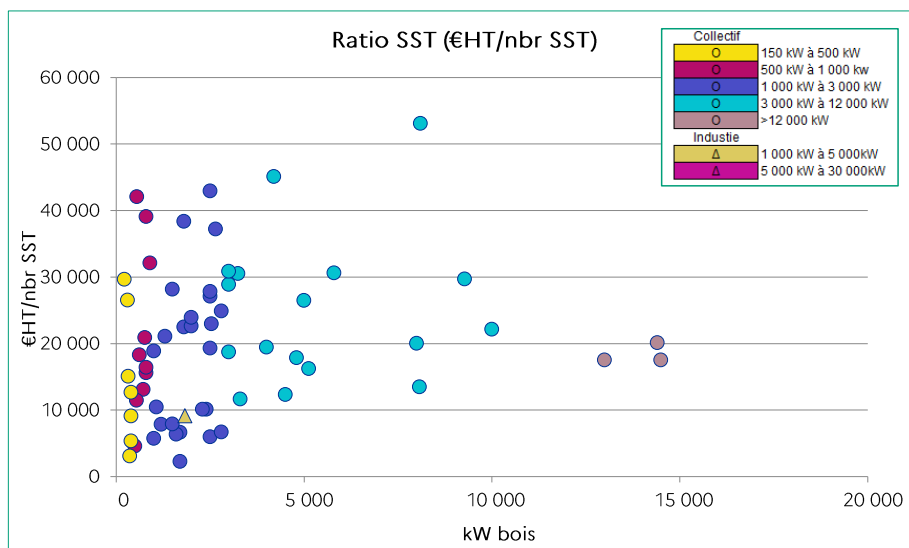


Figure 23 : Sous-Stations - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

€HT/nbr SST	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	3 102	29 657	14 511	7
500 kW à 1 000 kW	4 590	42 065	21 370	10
1 000 kW à 3 000 kW	2 264	42 946	18 149	24
3 000 kW à 12 000 kW	11 653	53 083	25 489	16
>12 000 kW	17 555	20 115	18 408	3
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	9 177	9 177	9 177	1
5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-

Tableau 21: Sous-stations – Statistiques par catégorie

Il est mis en évidence, sur le graphique, que le prix des sous-stations est fortement variable. En effet, il dépend fortement de la technologie mis en place (module hydraulique ou non, gestion technique centralisée (GTC), puissance de l'échangeur, etc.) ou des équipements à déposer (cuves fioul, hydraulique, etc.). Faute de précisions sur la répartition des coûts sur ce sous-poste, il n'est pas possible d'établir de ratios plus précis. L'absence de données relatives aux installations industrielles est due au fait que, généralement, il n'y a pas de sous-station pour ce type d'installation.

3.6. Poste « Etudes et Ingénierie »

Le dernier poste à étudier est le poste « Etude et Ingénierie ». Celui-ci est composé des sous-postes suivants :

- **AMO, maîtrise d'œuvre** : ce sous-poste tient compte des investissements relatifs à l'assistance à maîtrise d'ouvrage et à la maîtrise d'œuvre. L'assistance à maîtrise d'ouvrage a pour but de conseiller, d'assister et de proposer. Elle permet ainsi d'aider le maître d'ouvrage dans différentes missions : définir, piloter et exploiter le projet. Le maître d'œuvre, choisi par le maître d'ouvrage, intervient pour la conduite des travaux, des délais, des choix techniques, ... ;
- **Contrôle technique, CSPS** : dans ce sous-poste, sont pris en compte les investissements liés au contrôle technique et au Coordinateur de Sécurité et Protection de la Santé (CSPS). Ce dernier intervient, notamment, pour coordonner et planifier les interventions des différentes entreprises intervenant sur le projet et pour définir les mesures générales de sécurité. ;
- **Géomètre, géotechnique** : ce sous-poste s'intéresse aux études de sols à réaliser pour un mettre en place un projet ;
- **Autres études.**

Il est décidé d'étudier la part du poste « Etudes/Ingénierie » par rapport à l'investissement total. Les résultats obtenus sont étudiés en fonction de la puissance bois des installations.

L'échantillon de base retenu pour cette étude est présenté ci-dessous :

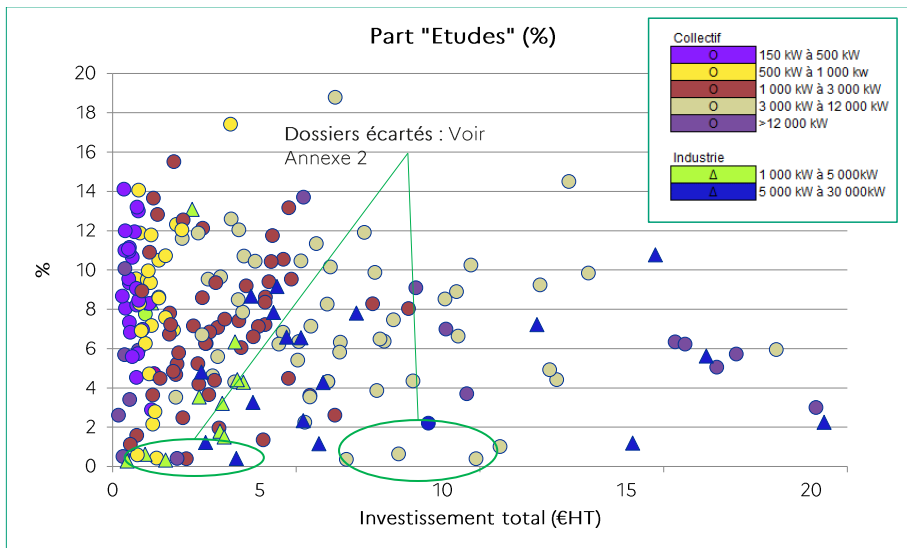


Figure 24 : Etudes - Echantillon de base

Plusieurs dossiers ont été écartés à cause de leurs valeurs extrêmes empêchant ainsi une représentation correcte de la tendance globale. L'échantillon retenu est le suivant :

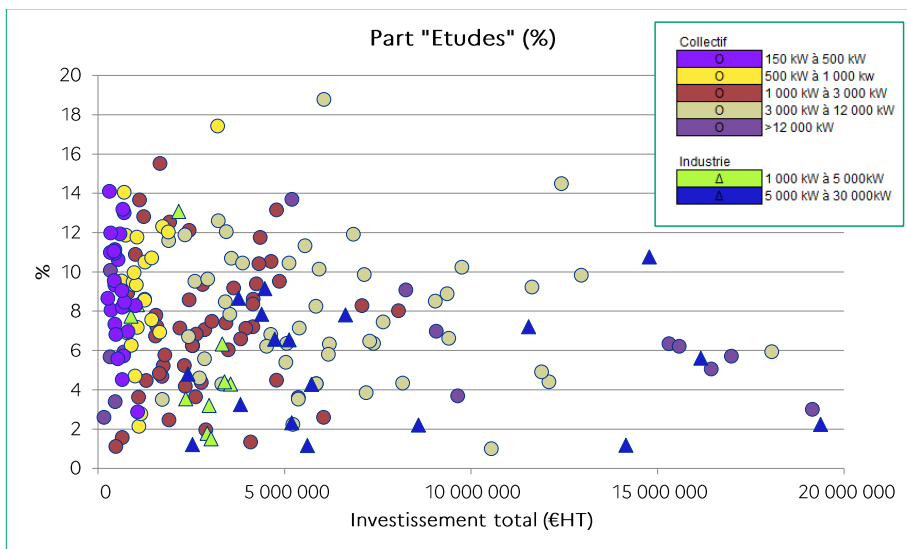


Figure 25 : Etudes - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif	1	19	8	164
Industrie	1	13	5	29

Tableau 22 : Etudes – Statistiques par typologie

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	3	14	9	25
500 kW à 1 000 kW	2	17	9	24
1 000 kW à 3 000 kW	1	16	7	52
3 000 kW à 12 000 kW	1	19	8	49
>12 000 kW	3	14	6	14
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	2	13	5	10
5 000 kW à 30 000 kW	1	11	5	18

Tableau 23 : Etudes - Statistiques par catégorie

Dans un premier temps, il est possible de remarquer que les résultats obtenus sont très dispersés et qu'aucune tendance ne semble se détacher. Il faut ensuite regarder les résultats en détails pour mieux appréhender ses résultats.

Pour les projets industriels, les investissements relatifs au poste « Etudes/Ingénierie » représentent en moyenne 5% de l'investissement total et ce quelle que soit la puissance de l'installation. Ce résultat est légèrement inférieur à celui des installations collectives : en moyenne 8% de l'investissement est dédiée au poste « Etudes/Ingénierie ». Une explication pourrait être que, dans le secteur industriel, les études sont souvent menées en interne par des maîtres d'ouvrages privés. Pour les installations collectives, la part des investissements relatifs au poste « Etudes/Ingénierie » évolue entre 9% et 6%. Cette part diminue légèrement à mesure que la puissance des installations augmente.

3.7. Synthèse des coûts d'investissement

Une synthèse des coûts d'investissement est maintenant proposée. Elle s'effectue en deux temps : d'abord, la présentation d'un récapitulatif des résultats obtenus par poste, puis, l'étude de la part de chacun de ses postes dans l'investissement total. Il est important de noter que pour chaque poste le nombre de dossiers étudiés est différent en fonction du nombre de dossiers écartés.

Moyenne €HT/kW _{bois}	Process bois	Process appoint	Génie civil	Distribution chaleur	Etudes Ingénierie	Coûts globaux
Collectif						
150 kW à 500 kW	577	120	411	523	145	1 776
500 kW à 1 000 kW	647	114	447	560	153	1 921
1 000 kW à 3 000 kW	438	123	406	644	120	1 731
3 000 kW à 12 000 kW	378	90	313	622	88	1 495
>12 000 kW	333	217	218	322	58	1 148
Industrie						
1 000 kW à 5 000 kW	422	42	205	46	34	749
5 000 kW à 30 000 kW	410	-	133	37	34	614

Tableau 24 : Synthèse des coûts d'investissement

Il est possible de remarquer que les coûts d'investissement ramenée à la puissance bois installée diminuent à mesure que la puissance bois des installations augmentent, et ce, dès que la puissance bois atteint 500 kW_{bois}. Ce résultat est vrai pour les installations collectives et industrielles même si l'écart est moindre pour le secteur industriel.

Il semble intéressant de connaître la part de chacun de ses postes dans l'investissement total. Dans ce but, deux graphiques sont réalisés : un premier en fonction de la typologie des installations (collectives ou industrielles) et un deuxième en fonction de la nature des installations collectives (réseaux de chaleur ou chaufferies dédiées).

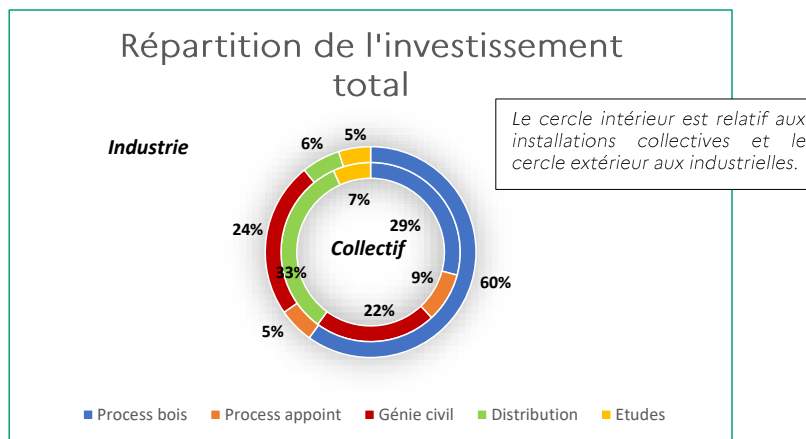


Figure 26 : Répartition de l'investissement total

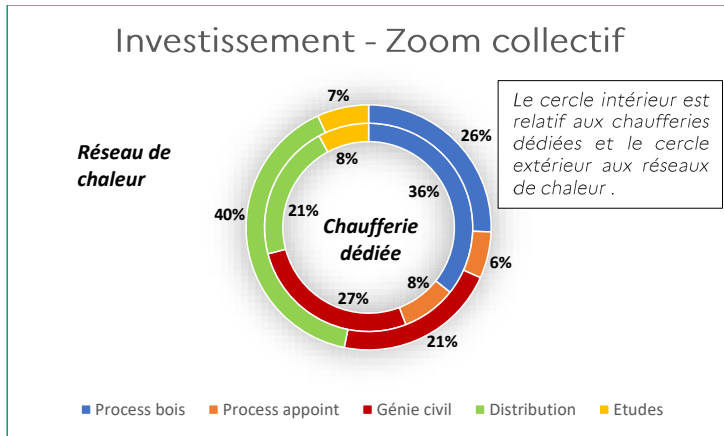


Figure 27 : Répartition investissement total – Zoom installations collectives

La synthèse par poste met en évidence que, pour les installations collectives, les investissements liés au process bois et ceux liés à la distribution sont les plus importants : ils représentent chacun à peu près 30% de l'investissement global. Pour les installations industrielles, c'est le poste « Process bois » qui contribue majoritairement à l'investissement total puisqu'il représente 59% de l'investissement total. Dans tous les types d'installations (industrielles ou collectives), le poste « Etudes/Ingénierie » est celui qui contribue le moins à l'investissement global (entre 5% et 7%).

Pour le poste « Distribution », une différence notable est observée entre les chaufferies dédiées et les réseaux de chaleur. En effet, ce poste représente 21% de l'investissement total des chaufferies dédiées et 40% de celui des réseaux de chaleur. Ce résultat s'explique par le fait que les réseaux de chaleur sont raccordés en général à plus de bâtiments (bâtiment pouvant appartenir à plusieurs entités) ce qui entraîne des investissements pour la partie distribution de chaleur plus importante.

4. Coûts d'exploitation

En préambule, il est important de souligner la difficulté de collecte et d'analyse des données. Les raisons suivantes ont été avancées :

- Contacts plus à jour ;
- Pas de retour des maîtres d'ouvrages ;
- Difficultés des maîtres d'ouvrages à récupérer les données ;
- Pas de documents de récolte des éléments d'exploitation avec un niveau de détails suffisant pour permettre une analyse précise. Chaque maître d'ouvrage effectue ainsi sa propre mise en forme avec des regroupements en lien avec son organisation et ses pratiques internes (comptable et non énergétique). Ces résultats peuvent être très sommaires, sans information exacte sur ce qui est inclus dans ces documents ;
- Récolte de données partielles : uniquement les données comptables et non énergétiques ou vice versa, ce qui empêche une contextualisation des données (ex : coût du combustible sans la quantité).

Le niveau de détails des données collectées et analysées présente des différences notables, entre les projets audités, malgré un travail de terrain conséquent en relation avec les maîtres d'ouvrages ou gestionnaires des installations.

Tout dossier écarté est analysé en détails afin de fournir une justification de cette exclusion, le tableau récapitulatif se trouve en annexe (Annexe 2).

4.1. Ratios énergétiques

4.1.1. Taux couverture bois

Dans un premier temps, le taux de couverture bois est étudié. Il est étudié en fonction de la typologie de l'installation (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie).

L'échantillon étudié est présenté ci-dessous :

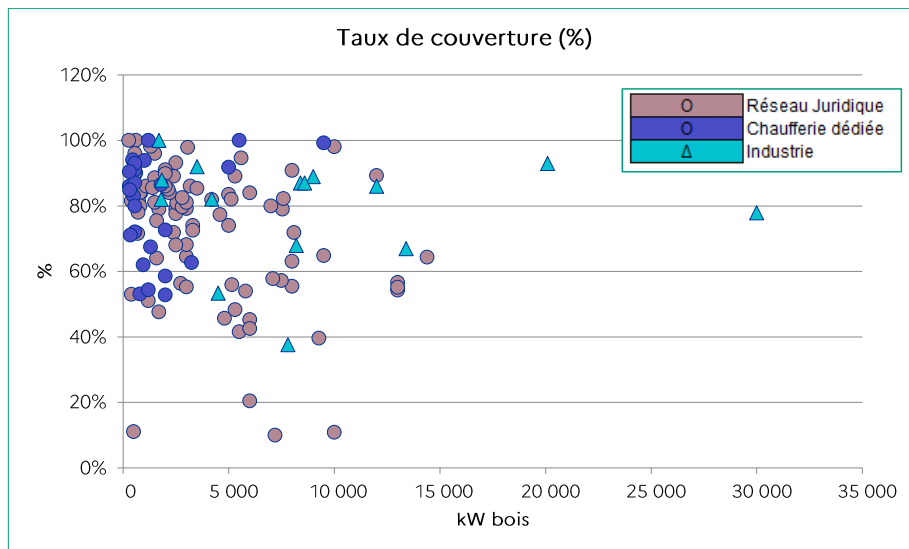


Figure 28 : Taux de couverture - Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Réseau de chaleur	10	100	73	91
Chaufferie dédiée	53	100	79	25
Industrie	38	100	79	15

Tableau 25 : Taux de couverture – Statistiques par typologie

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	53	100	83	8
500 kW à 1 000 kW	11	100	80	22
1 000 kW à 3 000 kW	48	100	78	35
3 000 kW à 12 000 kW	10	100	69	45
>12 000 kW	54	92	69	6
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	53	100	83	6
5 000 kW à 30 000 kW	38	93	77	9

Tableau 26 : Taux de couverture - Statistiques par catégorie

Quelle que soit la puissance, le taux de couverture moyen se situe autour de 75% pour les installations collectives et 79% pour les installations industrielles. Cependant, les valeurs du taux de couverture varient sur un important intervalle : de 10% à 100%.

4.1.2. Rendement global de production et de distribution

4.1.2.1. Rendement global de production et de distribution

Le rendement global (production et distribution) a été calculé en rapportant la quantité totale d'énergie distribuée aux abonnés (mesurée au niveau des compteurs d'énergie dans chaque sous-station) à celle entrant au niveau de la chaufferie (voir paragraphe suivant pour un zoom sur le rendement des chaudières bois). Il est étudié en fonction de la typologie de l'installation (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie).

L'échantillon étudié est présenté ci-dessous :

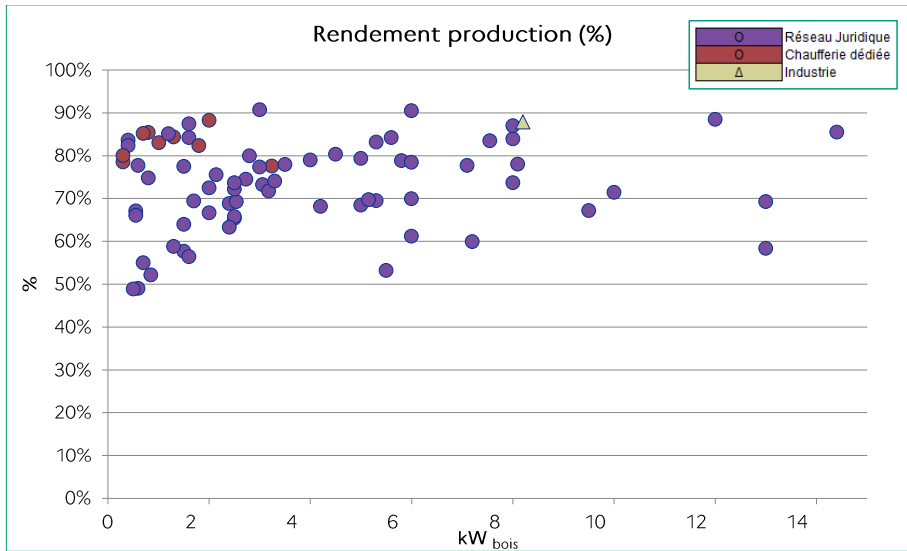


Figure 29 : Rendement de production – Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Réseau de chaleur	49	91	73	66
Chaufferie dédiée	78	88	83	9
Industrie	88	88	88	1

Tableau 27 : Rendement de production – Statistiques par typologie

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	82	84	83	2
500 kW à 1 000 kW	49	78	61	7
1 000 kW à 3 000 kW	56	87	71	21
3 000 kW à 12 000 kW	53	91	76	31
>12 000 kW	58	85	73	5
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	-	-	-	-
5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-

Tableau 28 : Rendement de production - Statistiques par catégorie (Uniquement réseau de chaleur)

Les rendements de production obtenus sont dispersés : ils varient de 49% à 91%. Les rendements pour les réseaux de chaleur sont plus dispersés que pour les chaufferies dédiées. Les rendements plus importants pour les chaufferies dédiées peuvent s'expliquer par le peu de données récoltées ou le fait que, dans la plupart des cas, les projets n'ont soit pas de réseaux de chaleur technique, soit de petits réseaux, ce qui limite les pertes. Une seule donnée de rendement de production est disponible pour les industries : il n'est donc pas possible d'analyser le rendement de production de ces installations.

4.1.2.2. Zoom rendement chaudières bois

Un zoom sur le rendement des chaudières bois est réalisé. Il a été calculé en rapportant l'énergie bois produite à celle entrant au niveau de la chaufferie (à partir des MWh_{bois} entrant estimés selon l'humidité et le tonnage livré). Il est étudié en fonction de la typologie de l'installation (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie). Ce rendement est représentatif de la performance énergétique et économique des chaudières bois installées.

L'échantillon étudié est présenté ci-dessous :

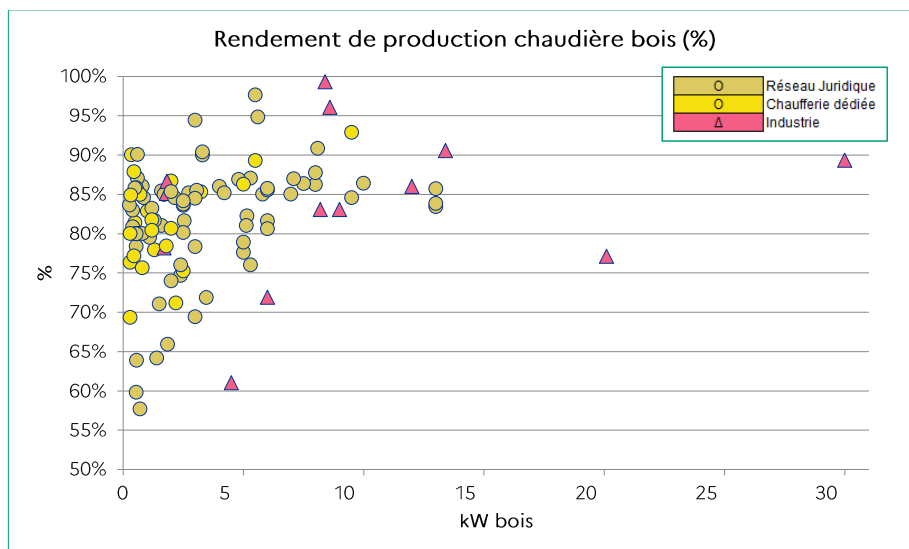


Figure 30 : Rendement chaudière - Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Réseau de chaleur	58	98	82	73
Chaufferie dédiée	69	93	81	27
Industrie	61	99	84	13

Tableau 29 : Rendement chaudière – Statistiques par typologie

%	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	69	90	81	10
500 kW à 1 000 kW	58	90	80	20
1 000 kW à 3 000 kW	64	87	79	29
3 000 kW à 12 000 kW	69	98	86	35
>12 000 kW	83	90	86	5
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	61	87	78	4
5 000 kW à 30 000 kW	72	99	86	9

Tableau 30 : Rendement chaudière - Statistiques par catégorie

Les résultats obtenus sont hétérogènes et dispersés et ne semblent suivre aucune loi : les rendements se situent entre 58% et 99%. Les résultats obtenus sont à prendre avec précaution car il y a beaucoup d'incertitude (par exemple, 99% de rendement semble peu probable). En moyenne, le rendement de production de la chaudière bois se situe autour de 82% quelle que soit la puissance ou la typologie des installations. Cette valeur semble cohérente et représentative de la réalité. Le faible rendement des

chaudières bois de certaines installations peut provenir de différentes causes : humidité, PCI du bois mal estimé, problème technique, surdimensionnement des chaudières, etc.

4.1.3. Consommation d'électricité en chaufferie

La consommation électrique est étudiée. Le ratio établi correspond aux consommations d'électricité en chaufferie (chaudières, systèmes d'alimentation automatique, traitement des fumées, pompes réseau, etc.) rapportées à la quantité totale d'énergie distribuée (mesurée au niveau des compteurs d'énergie). Cette énergie distribuée correspond à l'énergie produite s'il s'agit de chaufferies dédiées ou de l'énergie livrée pour les réseaux de chaleur.

Plusieurs dossiers ont été écartés à cause de leurs valeurs extrêmes (la justification de ces exclusions est détaillée en Annexe 2). L'échantillon étudié est présenté ci-dessous :

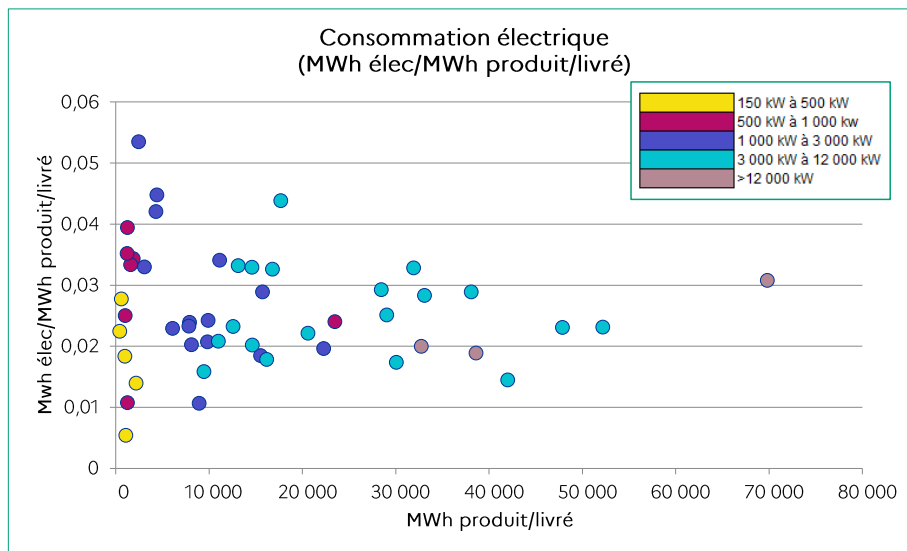


Figure 31 : Consommation d'énergie électrique - Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

MW élec/MWh produit/livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Réseau de chaleur	0,005	0,053	0,027	45
Chaufferie dédiée	0,011	0,029	0,017	4
Industrie	-	-	-	-

Tableau 31 : Consommation d'énergie électrique – Statistiques par typologie

MW élec/MWh produit/livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	0,005	0,028	0,018	5
500 kW à 1 000 kW	0,011	0,039	0,029	7
1 000 kW à 3 000 kW	0,011	0,053	0,028	15
3 000 kW à 12 000 kW	0,014	0,044	0,025	19
>12 000 kW	0,019	0,031	0,023	1
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	-	-	-	-
5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-

Tableau 32 ; Consommation d'énergie électrique - Statistiques par catégorie

Les valeurs des ratios obtenus évoluent dans une petite plage : entre 0,005 MWh_{élec}/MWh_{produit/livré} et 0,053 MWh_{élec}/MWh_{produit/livré}. La puissance bois ne semble pas avoir d'impact significatif sur ce ratio. En effet, en moyenne, ce ratio évolue entre 0,02 MWh_{élec}/MWh_{produit/livré} et 0,03 MWh_{élec}/MWh_{produit/livré} quelle que soit la puissance bois des installations. A noter qu'aucune valeur n'est disponible pour les installations industrielles.

4.2. Ratios économiques

Dans la partie suivante, les coûts d'exploitation des chaufferies biomasses sont étudiés au travers des postes suivants :

- Prix d'achat du combustible bois;
- Prix de l'énergie produite en sortie chaudière (bois et appoint);
- Prix d'achat de l'électricité;
- Prix de l'entretien et de la maintenance;
- Prix du gros entretien et du renouvellement.

4.2.1. Prix d'achat du combustible bois

Pour commencer l'étude des coûts d'exploitation, ce rapport s'intéresse au « prix d'achat du combustible bois ». Celui-ci est obtenu en fonction des MWh PCI_{bois} ce qui permet d'obtenir un ratio en €/HT/MWh PCI_{bois}. Ce paramètre est essentiel pour permettre un temps de retour sur investissement intéressant. Il est étudié en fonction de la typologie de l'installation (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie).

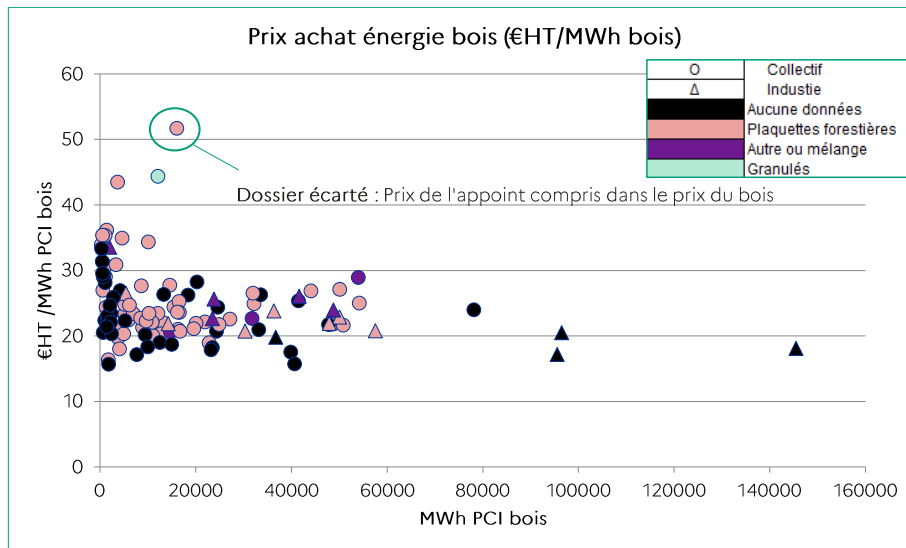


Figure 32 : Prix combustible bois - Echantillon de base

Après avoir écarté un dossier à cause de sa valeur incohérente et les dossiers où le type de combustible n'était pas renseigné, on obtient l'échantillon d'étude suivant :

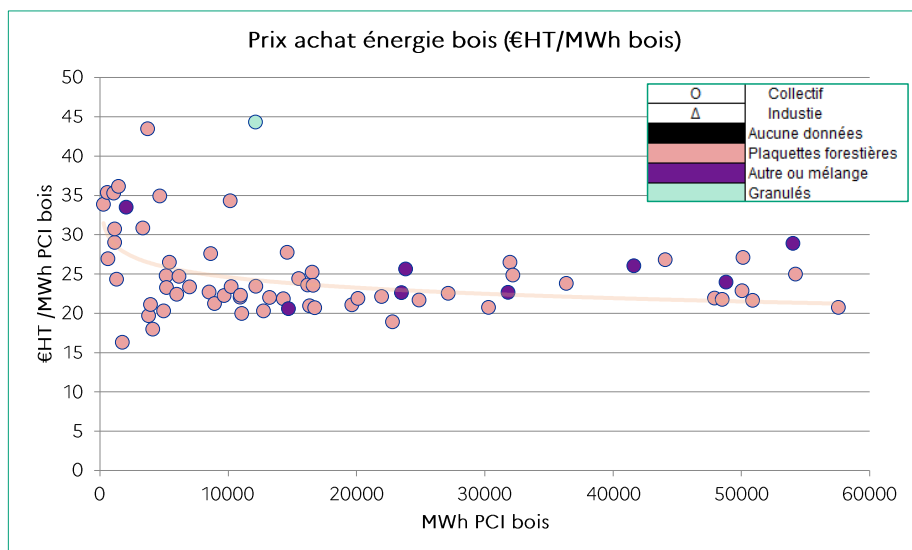


Figure 33 : Prix combustible bois - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€HT/MWh _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Plaquettes forestières	16	43	25	60
Autre ou mélange	21	34	25	8
Granulés	44	44	44	1

Tableau 33 : Prix du combustible – Statistiques par typologie

€HT/MWh _{bois}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	20	36	31	11
500 kW à 1 000 kW	16	29	23	18
1 000 kW à 3 000 kW	16	43	24	29
3 000 kW à 12 000 kW	18	44	24	34
>12 000 kW	16	29	23	1
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	22	34	26	5
5 000 kW à 30 000 kW	17	26	21	11

Tableau 34 : Prix combustible - Statistiques par catégorie

Le prix d'achat du combustible bois diminue avec la puissance bois : il passe, en moyenne, de 31 €HT/MWh PCI_{bois} pour des installations de puissance de 150-500 kW_{bois} à 23 €HT/MWh PCI_{bois} pour des installations de puissance supérieure à 12 MW_{bois}. Différents paramètres peuvent expliquer ces

résultats : les volumes de combustible livrés, le mode de livraison, l'humidité du combustible ou encore sa filière.

4.2.2. Prix de l'énergie produite en sortie des chaudières bois et appoint

Le calcul du prix de l'énergie produite (en €HT/MWh_{total}) a été réalisé en effectuant le quotient entre la dépense totale de combustible (bois et appoint) et la quantité totale de chaleur produite. Il est étudié en fonction de la typologie de l'installation (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie).

L'échantillon de base sélectionné pour cette étude est présenté ci-dessous :

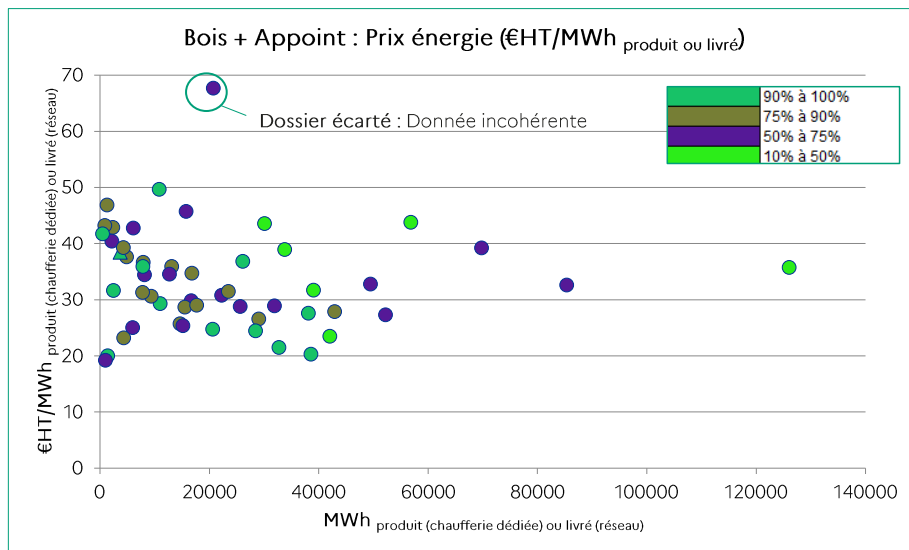


Figure 34 : Prix combustible total - Echantillon de base

Après avoir écarté un dossier à cause de sa valeur incohérente, on obtient l'échantillon d'étude suivant :

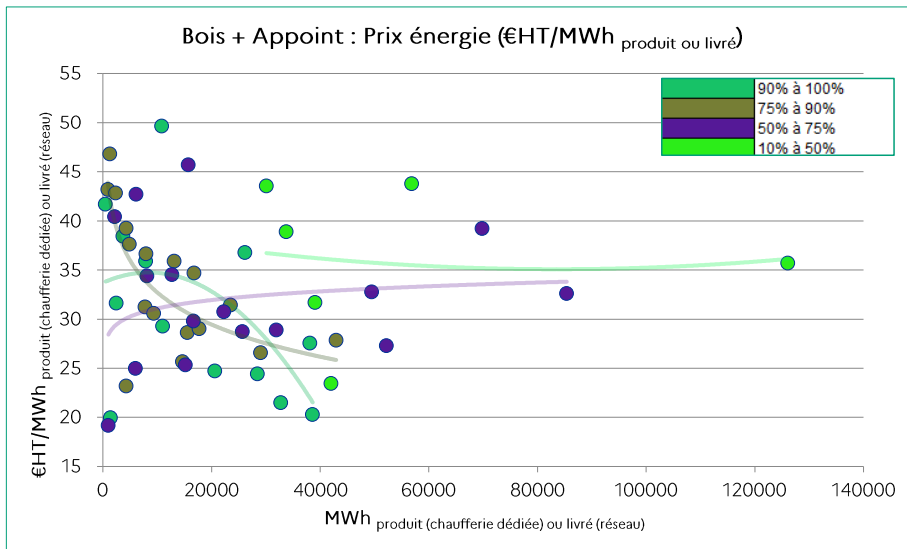


Figure 35 : Prix combustible total - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€HT/MWh produit ou livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
10% à 50%	23	44	36	6
50% à 75%	19	46	32	16
75% à 90%	23	47	34	17
90% à 100%	20	50	31	13

Tableau 35 : Prix de l'énergie produite – Statistiques par typologie

€HT/MWh produit ou livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	19	42	34	3
500 kW à 1 000 kW	31	47	41	4
1 000 kW à 3 000 kW	20	46	33	16
3 000 kW à 12 000 kW	23	50	32	24
>12 000 kW	20	39	28	4
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	38	38	38	1
5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-

Tableau 36 : Prix de l'énergie produite - Statistiques par catégorie

Les valeurs du prix de l'énergie produite (chaufferie dédiée) ou livrée (réseau) (bois et appoint) sont regroupées : elles se situent toutes entre 19 €HT/MWh produit ou livré et 50 €HT/MWh produit ou livré, l'écart-type est faible. Cependant, on remarque une diminution du prix de l'énergie produite en fonction de la catégorie de l'installation : de 40 €HT/MWh produit ou livré pour des puissances de 500 kW_{bois} à 1000kW_{bois}, il atteint 28 €HT/MWh produit ou livré pour des installations ayant une puissance supérieure à 12 MW_{bois}.

Seulement une valeur est disponible pour l'industrie : le résultat obtenu peut ne pas être représentatif de la réalité.

4.2.3. Electricité en chaufferie

Le prix d'achat de l'électricité est ensuite étudié. Il est rapporté aux MWh_{élec} et est étudié en fonction de la typologie de l'installation (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie). Les données sur le prix d'achat de l'électricité ont été récupérées et sont présentées ci-dessous.

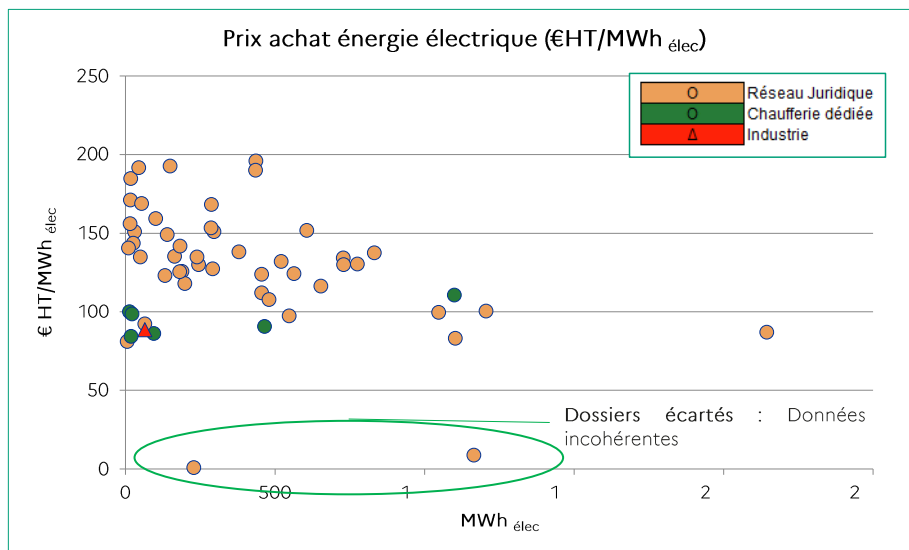


Figure 36 : Prix achat électricité - Echantillon de base

Après que certaines données aient été écartées à cause de leurs valeurs incohérentes, l'échantillon retenu est le suivant :

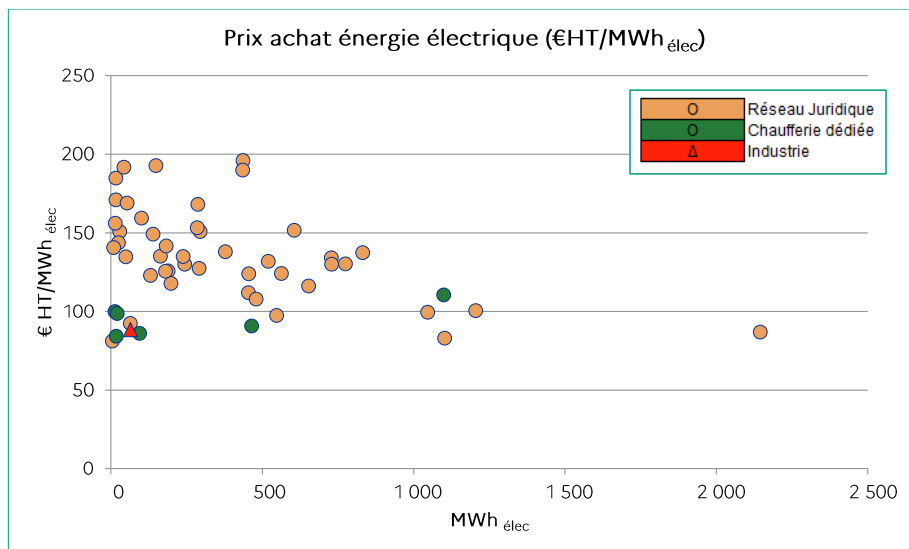


Figure 37 : Prix achat électricité - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€/MWh _{élec}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Réseau de chaleur	81	196	136	45
Chaufferie dédiée	84	110	95	6
Industrie	88	88	88	1

Tableau 37 : Prix achat électricité – Statistiques par typologie

€/MWh _{élec}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	81	185	138	7
500 kW à 1 000 kW	92	192	132	8
1 000 kW à 3 000 kW	86	196	132	15
3 000 kW à 12 000 kW	83	193	131	18
>12 000 kW	87	134	112	3
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	88	88	88	1
5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-

Tableau 38 : Prix achat électricité - Statistiques par catégorie

Le prix de l'électricité est relativement stable sur la majorité de la plage de puissance bois. Cependant, une légère diminution est observée pour une puissance bois supérieure à 12 000 kW_{bois}. Ainsi, le prix de l'électricité est, en moyenne, de 132 €/MWh_{élec} pour une puissance bois comprise entre 150 kW_{bois} et 12 000 kW. Au-dessus de cette puissance, le prix de l'électricité tombe à 112 €/MWh_{élec}.

Dans la suite de l'analyse, le prix de l'électricité en fonction du MWh_{produit ou livré} est étudié. Il est étudié en fonction de la typologie de l'installation (réseau de chaleur, chaufferie dédiée ou industrie). L'échantillon étudié est le suivant :

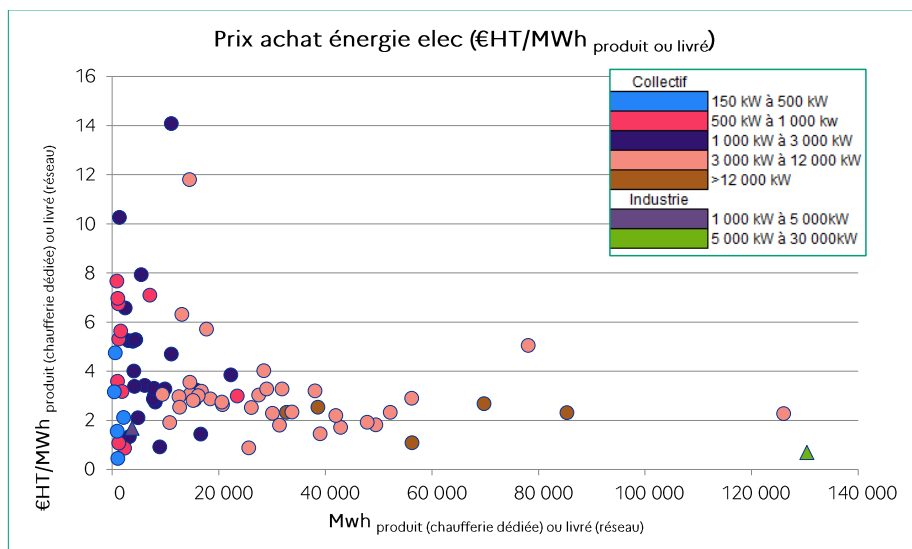


Figure 38 : Prix achat électricité en fonction du MWh produit ou livré - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la typologie et de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€HT/MWh produit ou livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	0	5	2	5
500 kW à 1 000 kW	1	8	5	11
1 000 kW à 3 000 kW	1	14	4	25
3 000 kW à 12 000 kW	1	12	3	34
>12 000 kW	1	3	2	5
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	2	2	2	1
5 000 kW à 30 000 kW	1	1	1	1

Le prix de l'électricité ramené au MWh produit (chaufferie dédiée) ou livré (réseau), diminue avec la quantité de chaleur produit. Il passe ainsi de 5 €HT / MWh produit ou livré pour les chaufferies de 500 à 1000 kW bois à 2 €HT / MWh produit ou livré pour les chaufferies de plus de 12 000 kW bois.

4.2.4. Entretien / Maintenance

4.2.4.1. Entretien / Maintenance

Dans cette partie, les coûts d'entretien et de maintenance sont étudiés. Ces coûts ne sont pas toujours récupérés de façon uniforme et sécurisée. Les causes peuvent être diverses :

- Si l'exploitation est effectuée en interne : pas de séparation d'avec les autres services techniques du maître d'ouvrage ;
- Si l'exploitation est effectuée en externe : marge de l'exploitant non connue ;
- Etc.

Il est décidé d'étudier le prix de l'entretien et de la maintenance ramené à la puissance totale (bois et appoint) en fonction de la présence ou de l'absence d'un système de cogénération au gaz. Certaines

installations permettent à la fois la production de chaleur et d'électricité: elles fonctionnent en cogénération. Il semble intéressant d'étudier l'impact de la présence d'un tel système sur les coûts de l'entretien et de la maintenance.

Les coûts d'entretien et de maintenance obtenus correspondent aux coûts d'entretien et de maintenance déclarés par les maîtres d'ouvrage ou exploitants lors de la réalisation de l'enquête.

L'échantillon de base est présenté ci-dessous :

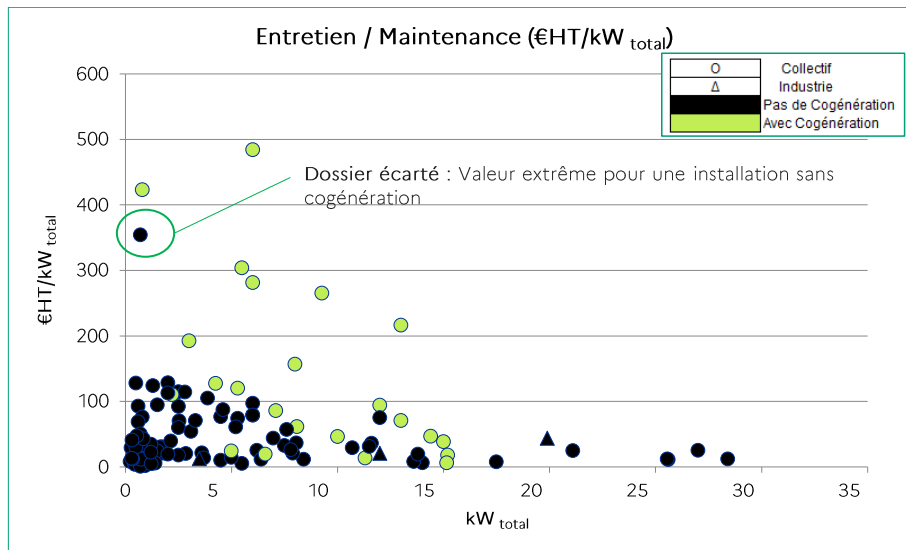


Figure 39: Entretien et maintenance - Echantillon de base

La présence d'un système de cogénération semble avoir un impact sur l'évolution des prix de l'entretien et de la maintenance. Pour les installations fonctionnant en cogénération, les coûts sont plus dispersés que ceux obtenus pour des installations sans cogénération. Ils sont donc écartés dans la suite de l'étude, ainsi que le dossier ayant une valeur jugée incohérente. L'échantillon retenu est donc le suivant :

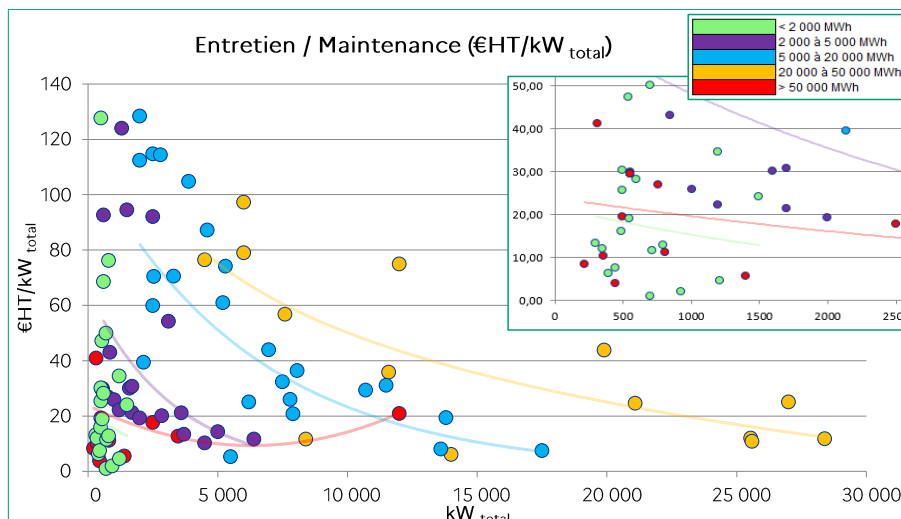


Figure 40 : Entretien et maintenance - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€/kW _{total}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
< 2 000 MWh	1	128	29	21
2 000 à 5 000 MWh	10	124	41	18
5 000 à 20 000 MWh	5	128	55	24
20 000 à 50 000 MWh	6	97	40	14
> 50 000 MWh	4	41	20	16

Tableau 39 : Entretien et maintenance - Statistiques par quantité d'énergie produite (sans cogénération)

€/kW _{total}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	2	76	18	15
500 kW à 1 000 kW	1	128	37	21
1 000 kW à 3 000 kW	6	128	48	30
3 000 kW à 12 000 kW	5	105	43	22
>12 000 kW	57	57	57	1
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	13	21	17	2
5 000 kW à 30 000 kW	21	44	32	2

Tableau 40 : Entretien et maintenance - Statistiques par catégorie (sans Cogénération)

Les valeurs se situent alors entre 16 €/kW_{total} et 128 €/kW_{total}. Les résultats sont hétérogènes et sont à prendre avec précaution (faute de précision sur ce qui est inclus dans ces prix). Le prix de l'entretien et de la maintenance ramené à la puissance totale installée a tendance à diminuer à mesure que la puissance totale augmente. Il a été ensuite regardé le prix de l'entretien et de la maintenance ramené au MWh_{produit} ou livré :

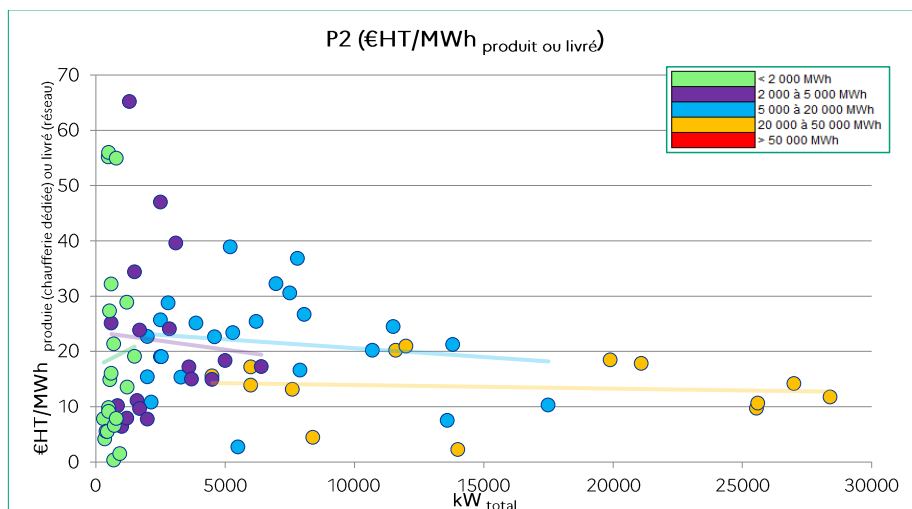


Figure 41 : Entretien et maintenance - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés ci-dessous :

€HT/ MWh produit ou livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
< 2 000 MWh	1	56	20	20
2 000 à 5 000 MWh	6	65	22	18
5 000 à 20 000 MWh	3	39	22	24
20 000 à 50 000 MWh	2	21	14	14
> 50 000 MWh	-	-	-	-

Tableau 41 : Entretien et maintenance - Statistiques par quantité d'énergie produite (sans cogénération)

€HT/ MWh produit ou livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
Avec Réseau				
150 kW à 500 kW	5	55	27	6
500 kW à 1 000 kW	7	56	22	11
1 000 kW à 3 000 kW	4	65	25	23
3 000 kW à 12 000 kW	8	32	18	20
>12 000 kW	13	13	13	1
Sans Réseau				
150 kW à 500 kW	1	14	7	4
500 kW à 1 000 kW	10	10	10	2
1 000 kW à 3 000 kW	6	29	13	5
3 000 kW à 12 000 kW	2	3	2	2
>12 000 kW	-	-	-	-
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	10	10	10	1
5 000 kW à 30 000 kW	18	18	18	1

Tableau 42 : Entretien et maintenance - Statistiques par catégorie (sans Cogénération)

Le prix moyen de l'entretien et de la maintenance a tendance à diminuer avec l'augmentation de la puissance en chaufferie pour les installations avec réseau de chaleur. Il passe ainsi de 27 €HT/ MWh_{produit ou livré} pour la tranche de 150 à 500 kW bois à 13 €HT/ MWh_{produit ou livré} pour les chaufferies de plus de 12 000 kW bois. L'écart type diminue quand la puissance totale de l'installation augmente. En effet sur une petite chaufferie, les prix liés à l'entretien et la maintenance sont plus variables. Le cout pour les installations sans réseau de chaleur est moins important qu'avec un réseau de chaleur. Ces résultats sont à prendre avec précaution car beaucoup moins de données étaient disponible.

4.2.5. Gros entretien / Renouvellement

4.2.5.1. Gros entretien / Renouvellement

Le prix du gros entretien et du renouvellement des installations est analysé. Il est rapporté aux MWh_{produit ou livré} afin d'obtenir un coût en €HT/ MWh_{produit ou livré}. Il est étudié en fonction de la typologie de l'installation (avec ou sans cogénération). L'échantillon de base est présenté ci-dessous :

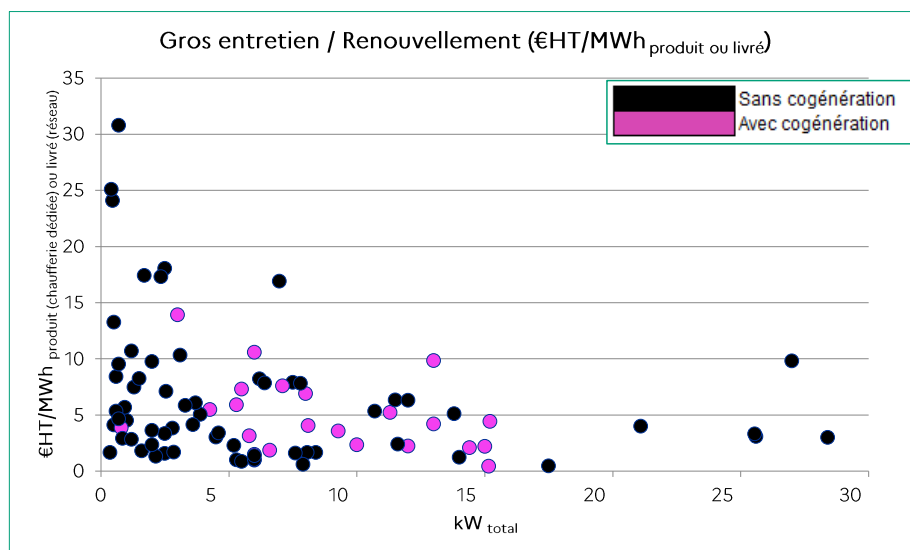


Figure 42 : Gros entretien - Echantillon de base

Les dossiers avec cogénération sont écartés dans la suite de l'étude pour permettre une interprétation plus précise du coût du gros entretien et du renouvellement des installations biomasses. Pour cela, l'analyse de ces coûts se fait en fonction de différentes catégories de MWh. L'échantillon retenu est le suivant :

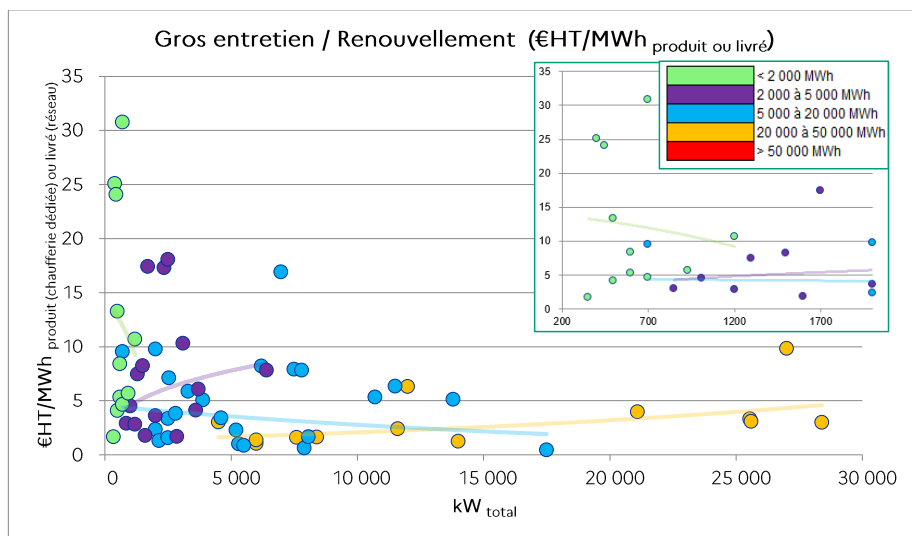


Figure 43 : Gros entretien - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

€HT/ MWh produit ou livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
< 2 000 MWh	2	31	12	11
2 000 à 5 000 MWh	2	18	8	15
5 000 à 20 000 MWh	0	17	5	24
20 000 à 50 000 MWh	1	10	3	13
> 50 000 MWh	-	-	-	-

Tableau 43 : Gros entretien - Statistiques par quantité d'énergie produite (sans cogénération)

€HT/ MWh produit ou livré	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
Avec Réseau				
150 kW à 500 kW	17	25	22	3
500 kW à 1 000 kW	2	17	9	7
1 000 kW à 3 000 kW	1	18	6	21
3 000 kW à 12 000 kW	1	17	5	18
>12 000 kW	2	2	2	1
Sans Réseau				
150 kW à 500 kW	2	6	4	2
500 kW à 1 000 kW	3	31	13	3
1 000 kW à 3 000 kW	3	11	6	5
3 000 kW à 12 000 kW	1	1	1	2
>12 000 kW	-	-	-	-
Industrie				
1 000 kW à 5 000 kW	-	-	-	-

5 000 kW à 30 000 kW	-	-	-	-
----------------------	---	---	---	---

Tableau 44 : Gros entretien - Statistiques par catégorie (sans cogénération)

Le prix du gros entretien et du renouvellement de l'installation a tendance à diminuer avec la puissance bois installée, bien qu'un écart-type important soit observé pour les puissances variant de 150 à 1 000 kW total. En effet, pour cette plage de puissance, le prix varie de 2 €/HT/ MWh produit ou livré à 31 €/HT/ MWh produit ou livré. A noter qu'aucune donnée relative aux industries n'est disponible.

4.2.5.2. Zoom sur le lien Gros entretien / Renouvellement et Investissement process bois

Il semble intéressant d'étudier l'évolution du gros entretien et du renouvellement du matériel en fonction de l'investissement du process bois (exprimé en %). Il est étudié en fonction des catégories de MWh définies ci-dessous.

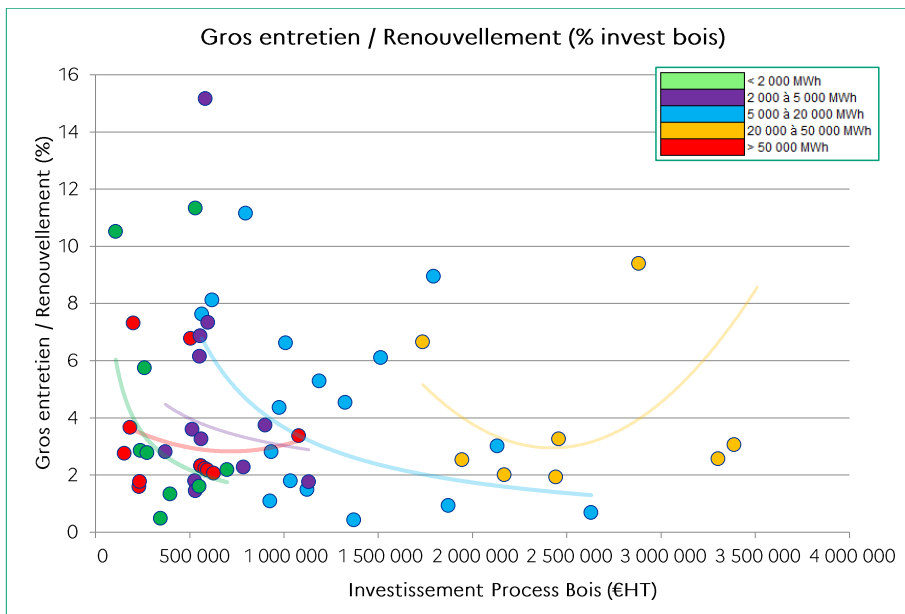


Figure 44 : Proportion du Gros entretien et du renouvellement en fonction de l'investissement du Process Bois

D'après le graphique, le prix du gros entretien et du renouvellement du matériel se situe entre 1 et 15% de l'investissement bois. Le pourcentage ne varie pas en de manière significative en fonction de la puissance ou de la production de chaleur. La moyenne est de 4%.

4.3. Zoom sur les réseaux de chaleur

Pour certaine chaufferie bois, la chaleur est vendue via un réseau de chaleur à différents abonnés. La facturation est divisée en deux grands postes :

- R1 : les consommations énergétiques ;
- R2 : l'abonnement comprenant la maintenance, l'exploitation, le gros entretien et l'amortissement des investissements.

Chacun de ces postes sera expliqué et détaillé en fonction de leurs charges et de leurs produits. Une comparaison charges/produits sera réalisée pour chacun des deux ratios.

Pour cette étude, seuls les dossiers pour lesquels les données liées aux charges et produits sont disponibles seront conservés. Ce nombre limité de dossiers permettra d'établir des ratios et de déterminer les tendances relatives à ces données.

4.3.1. Ratio économique R1

4.3.1.1. Charges

Le ratio permettant d'étudier les dépenses relatives à R1 est calculé comme le rapport des dépenses liées aux combustibles (bois et appoint) par la quantité d'énergie livrée. Il est exprimé en €HT/MWh_{livré} et est étudié en fonction de la puissance bois des installations. Dans un premier temps, les charges relatives à R1 sont étudiées à travers l'échantillon suivant :

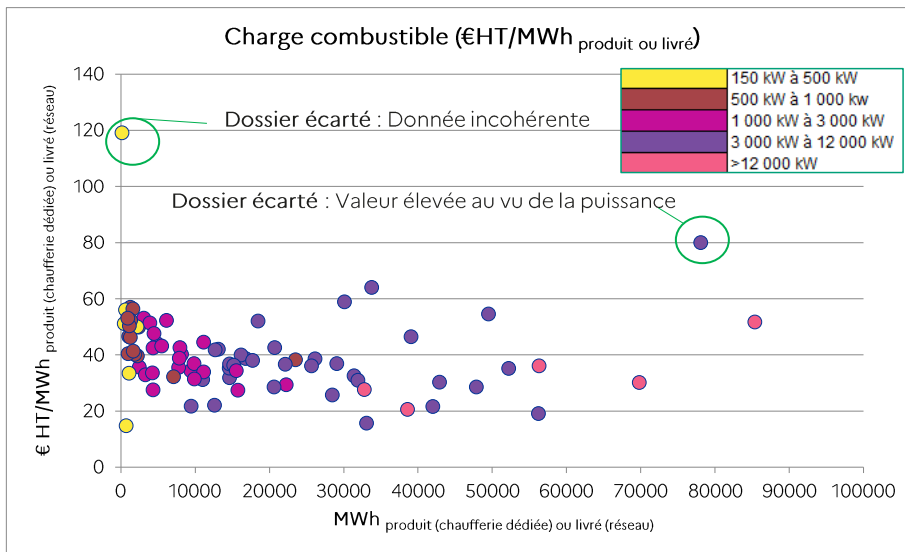


Figure 45 : Charges combustible - Echantillon de base

Après avoir écarté deux dossiers au vu de leur valeur incohérente, l'échantillon retenu est le suivant :

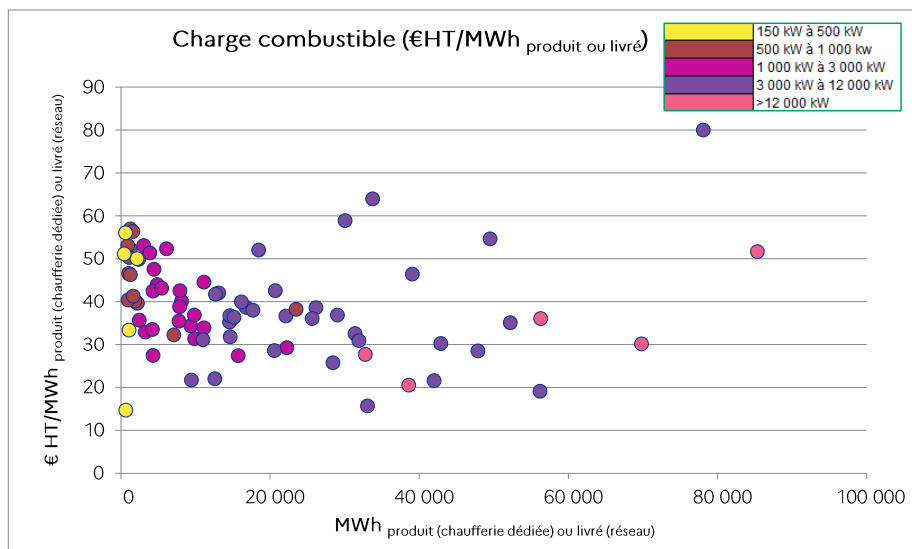


Figure 46 : Charges combustible - Echantillon retenu

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

€HT/MWh _{produit/livré}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	15	56	41	5
500 kW à 1 000 kW	32	57	46	14
1 000 kW à 3 000 kW	27	53	39	22
3 000 kW à 12 000 kW	16	80	37	34
>12 000 kW	20	52	33	5

Tableau 45 : Charges combustible - Statistiques par catégorie

Les charges liées au combustible sont relativement constantes quelle que soit la puissance bois. Toutefois, il y a une légère diminution du prix à mesure que la puissance bois des installations augmente. En effet, R1 varie en moyenne de 41 €HT/MWh_{produit/livré} pour des puissances bois comprises entre 150 kW_{bois} et 1000 kW_{bois} à 33 €HT/MWh_{produit/livré} pour des puissances bois supérieures à 12 MW_{bois}. Différents paramètres peuvent expliquer ces résultats : les volumes de combustible livrés, le mode de livraison, l'humidité du combustible ou encore sa filière.

4.3.1.2. Produits

Le terme « Produits » correspond au montant payé par l'abonné. Le ratio permettant d'étudier les produits relatifs à R1 est calculé comme le rapport des produits liés au combustible (bois et appoint) par la quantité d'énergie livrée (exprimé en €HT/MWh_{livré}). Ces produits sont analysés en fonction du taux de couverture et sont présentés à travers l'échantillon suivant :

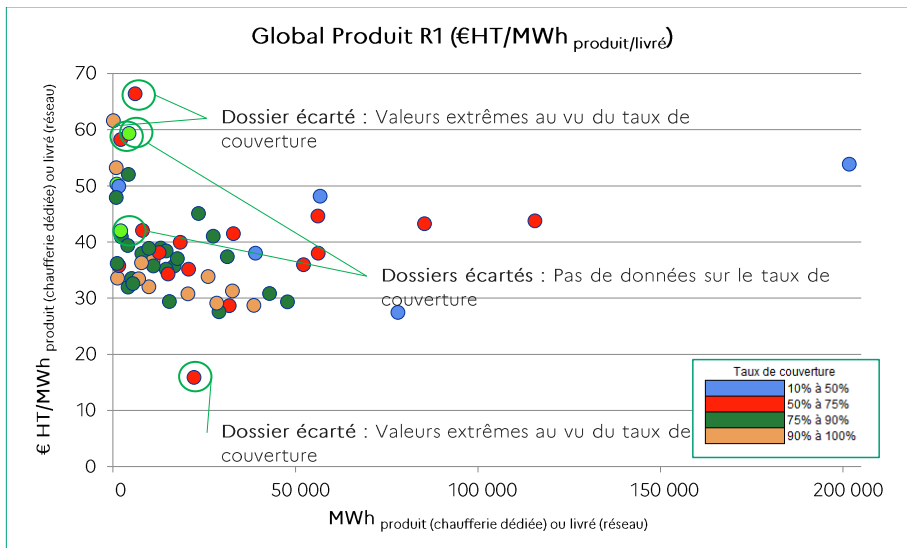


Figure 47 : Produits R1 - Echantillon de base

Après avoir éliminé certains dossiers dont les valeurs étaient extrêmes et empêchaient une représentation correcte de la tendance, l'échantillon d'étude obtenu est le suivant :

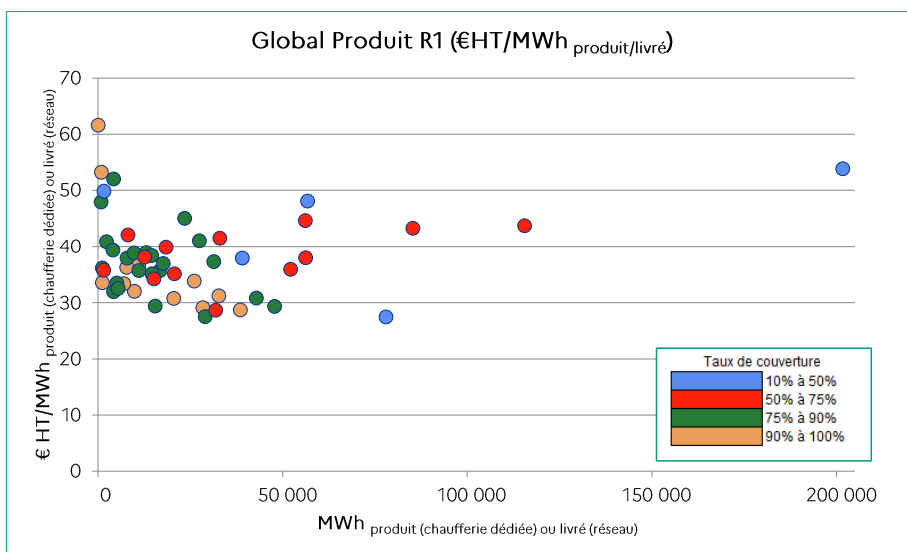


Figure 48 : Produits R1 - Echantillon retenu

Un zoom pour des énergies inférieures à 100 000 MWh_{livré} est réalisé afin d'avoir une vue détaillée ainsi que la tendance des coûts sur cette plage d'énergie.

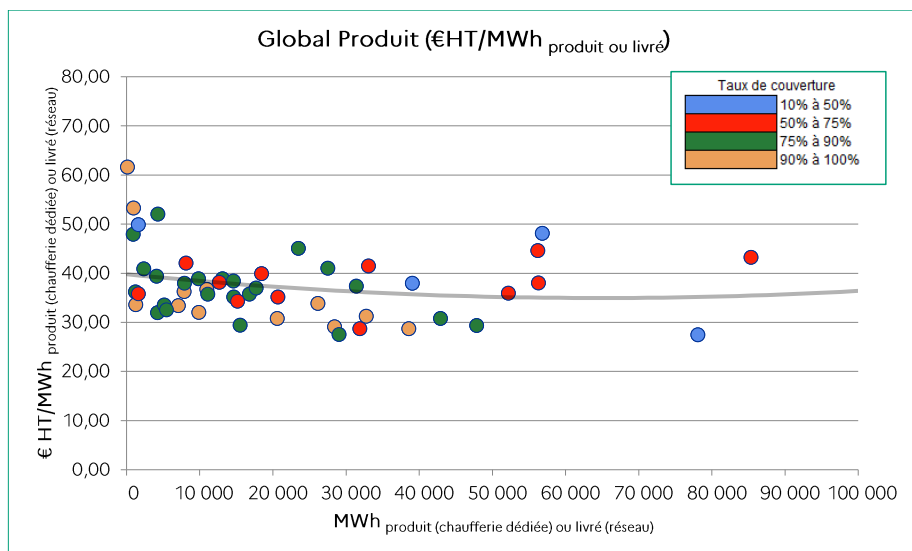


Figure 49: Produits R1 - Zoom pour des énergies inférieures à 100 000 MWh_{produit/livré}

€HT/MWh _{produit/livré}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Taux de couverture				
10 – 50 %	27	54	43	5
50 – 75 %	29	45	39	14
75 – 90 %	28	52	37	23
90 – 100 %	29	62	37	12

Tableau 46: Produits combustible - Statistiques par taux de couverture

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

€HT/MWh _{produit/livré}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	62	62	62	1
500 kW à 1 000 kW	33	53	42	9
1 000 kW à 3 000 kW	16	52	35	12
3 000 kW à 12 000 kW	27	54	36	27
>12 000 kW	29	44	37	5

Tableau 47: Produits combustible - Statistiques par catégorie

Les produits relatifs au R1 diminuent quand le taux de couverture augmente. Ils évoluent, en moyenne, entre 43 €HT/MWh_{produit/livré} pour un taux de couverture inférieur à 50% et 38 €HT/MWh_{produit/livré} pour un taux de couverture supérieur à 50%. Lorsque le taux de couverture est inférieur à 50%, c'est le combustible d'appoint qui a un impact plus important sur le prix. Inversement, lorsqu'il est supérieur à 50%, c'est le combustible bois qui a un rôle prédominant dans le prix relatif à R1. Une diminution des produits avec la

puissance bois des installations est observée. En effet, pour des puissances bois inférieures à 500 kW_{bois}, les produits relatifs au R1 valent 62 €HT/MWh_{produit/livré} alors que pour des puissances bois supérieures à 3 MW_{bois} ils valent, en moyenne, 36,5 €HT/MWh_{produit/livré}.

4.3.1.3. Comparaison

Une comparaison entre les charges et les produits relatifs au ratio R1 est effectuée. Cela permettra de mettre en évidence les plages de puissance pour lesquelles les charges sont supérieures aux produits et ainsi repérer les projets n'ayant pas trouvé un équilibre économique.

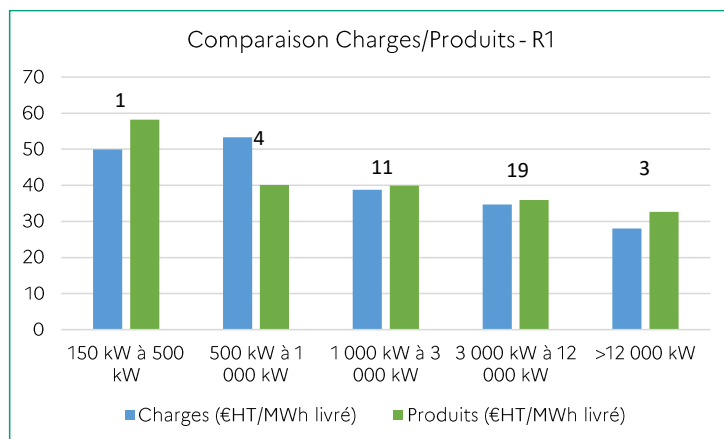


Figure 50 : Comparaison Charges/Produits - R1

Le nombre de valeurs récoltés pour chaque catégorie est indiqué sur le graphique.

Les produits moyens relatifs au R1 sont globalement supérieurs aux charges : ils sont inférieurs sur une seule plage de puissance, celle comprise entre 500 kW_{bois} et 1 000 kW_{bois}. Cela peut finir par poser un problème économique pour les installations concernées.

Les explications suivantes peuvent être considérées :

- Le nombre de valeurs restreint : pour certaines plages de puissance très peu de données sont disponibles, ce qui amène à considérer les résultats obtenus avec précaution dans la mesure où ils peuvent ne pas être représentatifs de la tendance globale ;
- La valeur de la performance des installations peut-être mal estimée dans le calcul du tarif de vente de la chaleur, elle peut, par exemple, être inférieure à celle considérée pour le calcul.

4.3.2. Ratio économique R2

Le ratio R2 correspond à la partie « abonnement » et comprend les sous-postes suivants : prix d'achat de l'électricité (R21), entretien/maintenance (R22), gros entretien/renouvellement (R23) et financement/amortissement (R24). Les sous-postes ont été détaillés dans la partie précédente. Il s'agit ici d'étudier le poste R2 dans sa globalité.

4.3.2.1. Charges

Dans un premier temps, les charges relatives à R2 sont analysées. Elles sont ramenées au kW_{total} (Chaudières Appoint + bois) car la grandeur kW_{total} est représentative de la taille des installations. Ainsi, le ratio étudié permet d'étudier la corrélation entre la taille des installations et les charges relatives à R2. De plus, elles sont étudiées en fonction de la puissance bois des installations. Pour cela, l'échantillon suivant est considéré :

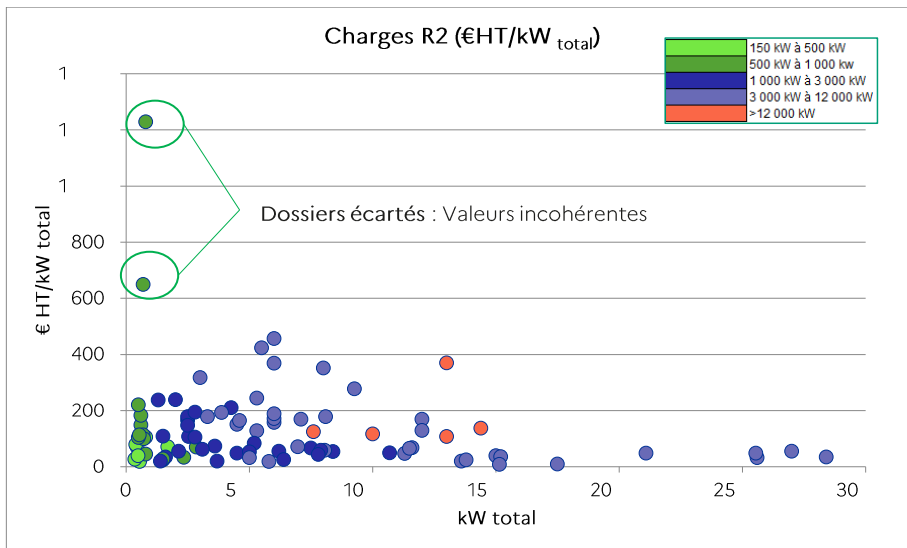


Figure 51 : Charges R2 - Echantillon de base

Après avoir écarté deux dossiers à cause de leur valeur incohérente, l'échantillon d'étude suivant est retenu :

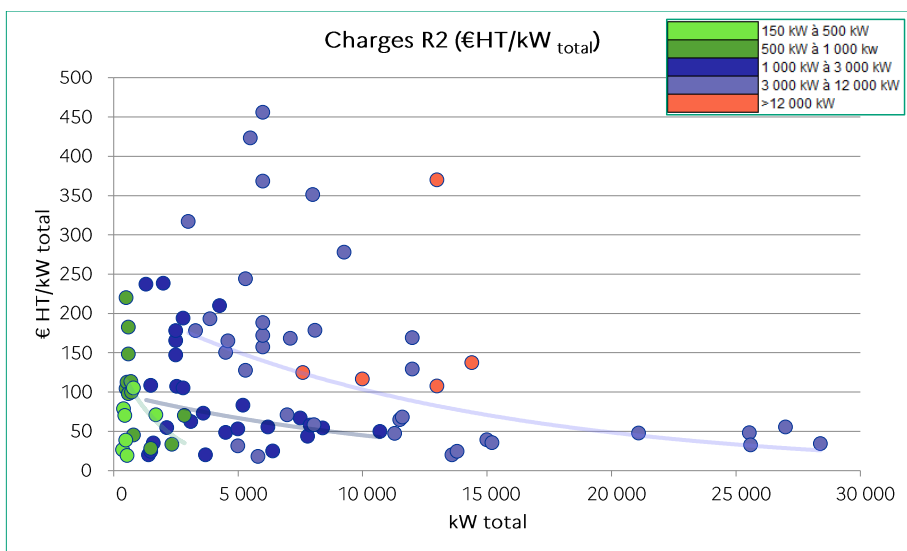


Figure 52 : Charges R2 - Echantillon retenu

Faute de données suffisantes pour une puissance supérieure à 18 MW_{total}, il est décidé de faire un focus sur les puissances inférieures et d'en observer la tendance.

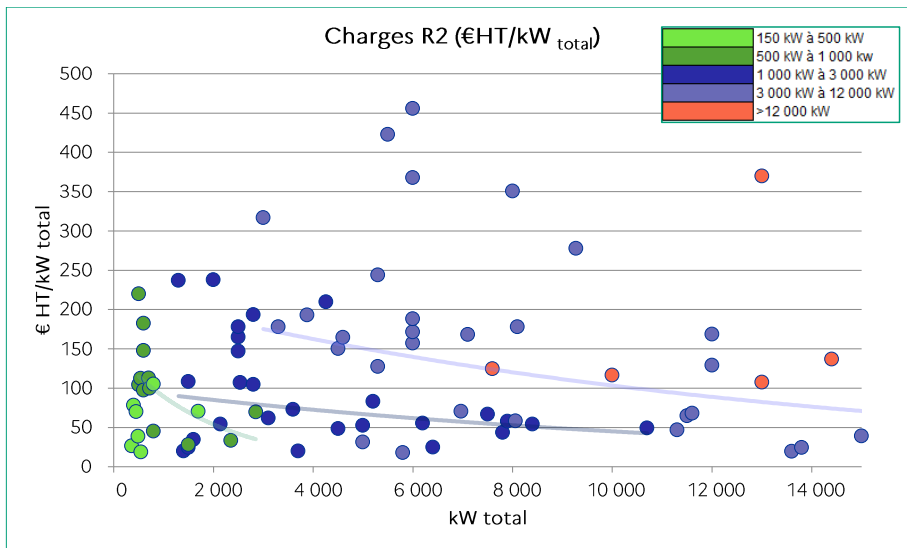


Figure 53 : Charges R2 inférieur à 15 000 kW total - Echantillon retenu

D'après le graphique, les charges relatives au R2 diminuent à mesure que la puissance totale augmente comme le montre les courbes de tendance qui ont été tracées.

Afin d'avoir une vue plus détaillée de ces charges, un tableau récapitulatif des charges de R2 par catégorie de puissance bois est réalisé.

€HT/kW _{total}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	19	105	58	7
500 kW à 1 000 kW	28	220	104	12
1 000 kW à 3 000 kW	20	238	93	27
3 000 kW à 12 000 kW	18	456	146	35
>12 000 kW	108	370	171	5

Tableau 48 : Charges R2 - Statistiques par catégorie

Dans le tableau, les plages de puissances sont les plages de puissance bois, or les charges relatives aux R2 concerne l'ensemble de la chaufferie, le phénomène de diminution des coûts avec la puissance bois n'est donc pas observé car concerne la puissance totale.

Commenté [E-MP4R3]: C'était une erreur sur la précédente version en effet nous somme dans la partie Réseau de chaleur et les chiffre de l'industrie n'ont pas lieu d'être dans cette partie.

Commenté [HL3]: Les lignes industrie ont disparu ?

4.3.2.2. Recettes

Les produits relatifs à R2 sont maintenant étudiés. De même que pour les charges, ils sont ramenés à la grandeur kW_{total} et sont analysés en fonction de la puissance bois des installations.

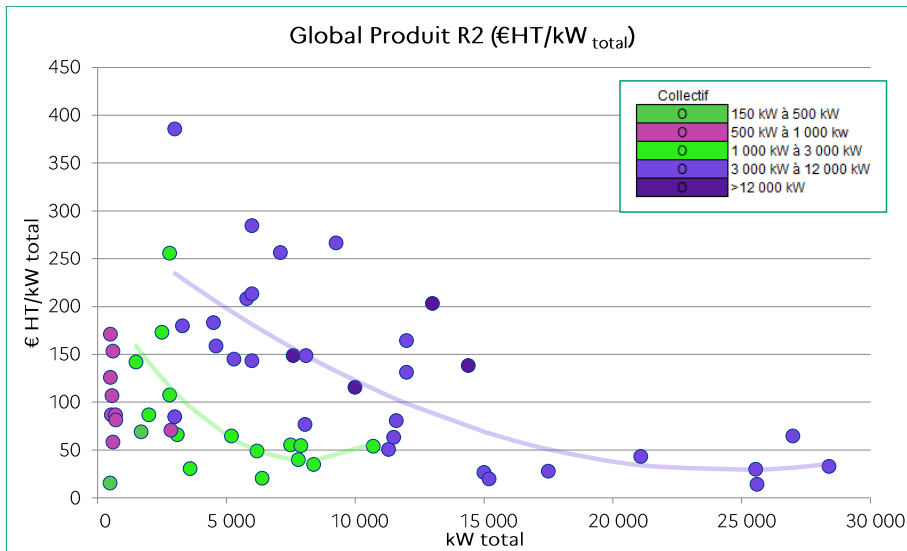


Figure 54 : Produits R2 - Echantillon étudié

Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

€HT/kW _{total}	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre de valeurs
Collectif				
150 kW à 500 kW	15	69	42	2
500 kW à 1 000 kW	58	171	105	9
1 000 kW à 3 000 kW	20	256	82	15
3 000 kW à 12 000 kW	14	386	129	27
>12 000 kW	115	203	151	4

Tableau 49 : Produits R2 - Statistiques par catégorie

D'après le graphique, les produits relatifs à R2 diminuent à mesure que la puissance totale augmente comme le montre les courbes de tendance qui ont été tracées. Un écart-type significatif est observé : de 14 €HT/kW_{total} à 386 €HT/kW_{total}. Ces produits augmentent avec l'augmentation de la puissance bois. En effet, ils évoluent, en moyenne, entre 4 €HT/kW_{total} pour des puissances bois inférieures à 500 kW_{bois} et 151 €HT/kW_{total} pour des puissances bois supérieures à 12 000 kW_{bois}.

4.3.2.3. Comparaison

De même que pour R1, il semble intéressant de comparer les charges et produits relatifs à R2.

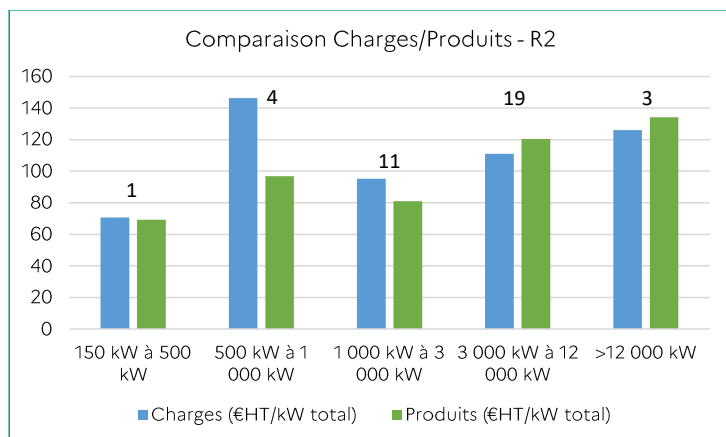


Figure 55: Comparaison Charges/Produits - R2

Le nombre de valeurs récoltés pour chaque catégorie est indiqué sur le graphique.

Les produits sont, en moyenne, supérieurs aux charges pour seulement deux catégories de puissance bois : 3 000 kW_{bois} – 12 000 kW_{bois} et supérieures à 12 000 kW_{bois}. Pour les autres catégories, les charges sont supérieures aux produits. Lorsque les charges sont supérieures aux produits, des déséquilibres économiques peuvent apparaître. Plusieurs situations peuvent être envisagées pour expliquer les résultats obtenus :

- Un nombre de valeurs restreint : pour certaines plages de puissance très peu de données étaient disponibles, ce qui amène à considérer les résultats obtenus avec précaution dans la mesure où ils peuvent ne pas être représentatifs de la tendance globale ;
- Le P3 est provisionné de façon constante dans les recettes mais les dépenses réelles varient en fonction des années, elles peuvent donc être élevées les années considérées ;
- Les charges peuvent être sous ou surestimées ;
- Les charges en phase exploitation peuvent être mal maîtrisées.

4.4. Synthèse des coûts d'exploitation

Deux synthèses des coûts d'exploitation ont été réalisées : une synthèse des ratios énergétiques et une des ratios économiques. Il est important de noter que pour chaque process le nombre de dossiers étudiés est différent en fonction des particularités repérées pour chaque situation. Tous les dossiers écartés dans cette partie sont regroupés en annexe (Annexe 2) et leur exclusion justifiée.

	Taux de couverture (%)	Rendement production (%)	Consommation électrique (MWh _{élec} /MWh _{produit/livré})
Collectif			
150 kW à 500 kW	83	81	0,018
500 kW à 1 000 kW	83	66	0,029
1 000 kW à 3 000 kW	78	73	0,028
3 000 kW à 12 000 kW	73	76	0,025
>12 000 kW	69	73	0,023
Industrie			
1 000 kW à 5 000 kW	83	-	-
5 000 kW à 30 000 kW	77	88	-

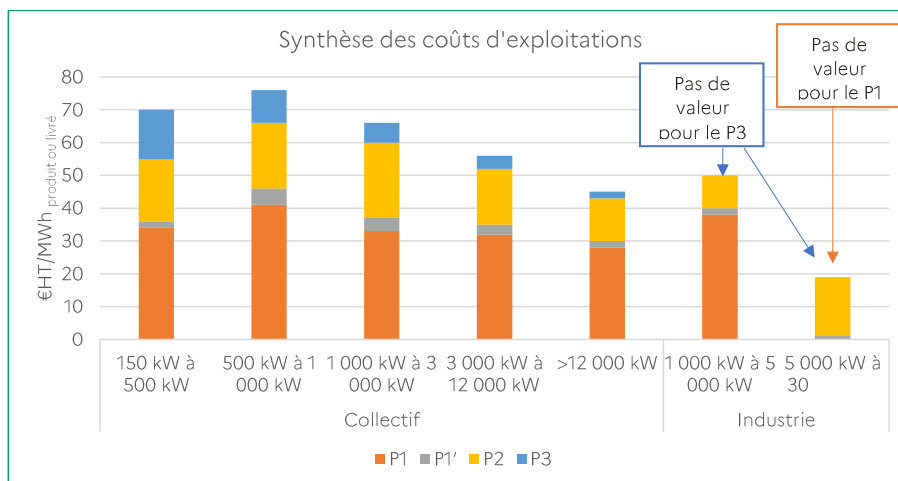
Tableau 50: Synthèse exploitation - Ratios énergétiques

Trois ratios énergétiques ont été étudiés : le taux de couverture, le rendement de production et la consommation électrique. Les conclusions obtenues sont les suivantes :

- Le **taux de couverture** diminue avec l'augmentation de la puissance bois et vaut, en moyenne, 75% pour les installations collectives et 79% pour les installations industrielles ;
- Le **rendement de production** des installations collectives est globalement stable pour des puissances bois supérieures à 1 000 kW. Sur l'ensemble de la plage de puissance bois étudiée, le rendement de production évolue entre 81% et 73% pour les installations collectives. L'unique valeur obtenue pour les installations industrielles ne permet pas de tirer de conclusion ;
- La **consommation électrique** évolue très peu avec la puissance bois et vaut, en moyenne 0,26 MWh_{élec}/MWh_{produit/livré}. Aucune donnée n'était disponible pour les installations industrielles.

€/MWh _{produit} ou livré	P1 – Bois	P1 – Total	P1'	P2	P3
Collectif					
150 kW à 500 kW	34	34	2	19	15
500 kW à 1 000 kW	32	41	5	20	10
1 000 kW à 3 000 kW	26	33	4	23	6
3 000 kW à 12 000 kW	22	32	3	17	4
>12 000 kW	19	28	2	13	2
Industrie					
1 000 kW à 5 000 kW	29	38	2	10	-
5 000 kW à 30 000 kW	19	-	1	18	-

Tableau 51 : Synthèse exploitation - Ratios économiques



L'étude des ratios économiques a montré que P1 et P1' diminuaient à mesure que la puissance bois des installations augmentait. Le phénomène inverse est observé pour les ratios P2 et P3. Peu de résultats ont été obtenus concernant les installations industrielles.

Il semble maintenant intéressant de connaître la part de chacun de ses ratios dans les coûts totaux d'exploitation. Dans ce but, deux graphiques sont réalisés : un premier global sur les installations collectives (le nombre de données récoltées pour les installations industrielles n'étaient pas suffisant) et un deuxième en fonction de la typologie des installations collectives (réseaux de chaleur ou chaufferies dédiées).

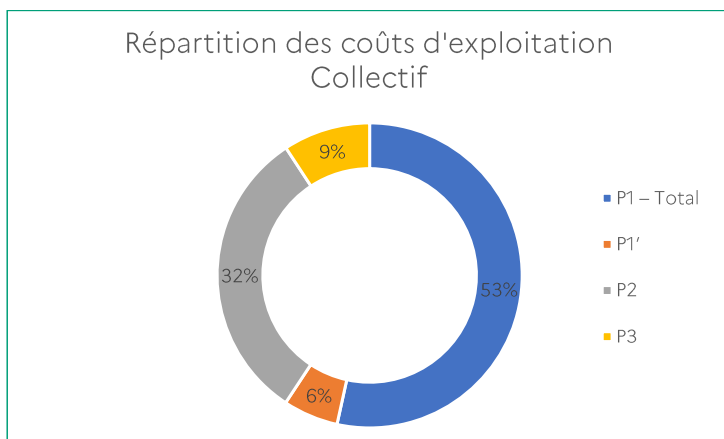


Figure 56 : Répartition des coûts d'exploitation

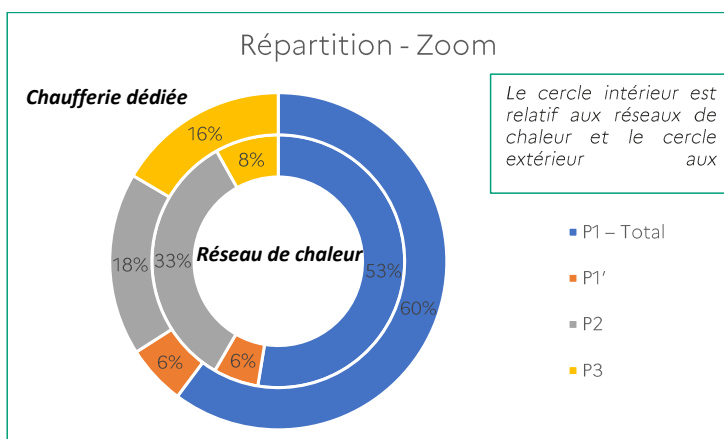


Figure 57 : Répartition des coûts d'exploitation - Zoom installations

Pour les installations collectives dans leur globalité, le ratio P1, qui représente le prix d'achat des combustibles (bois et appoint), est celui qui occupe la plus grande part dans les coûts d'exploitation : il représente 53% de ceux-ci. Viennent ensuite, les coûts relatifs au P2, c'est-à-dire à l'entretien et à la maintenance.

Les seules différences la répartition des coûts d'exploitation des chaufferies dédiées et celle des réseaux de chaleur résident dans les valeurs de P2 et P3. En effet, l'entretien et la maintenance (P2) sont plus élevés pour les réseaux de chaleur que pour les chaufferies dédiées du fait, notamment, du raccordement de plusieurs bâtiments sur une même chaufferie. Le gros entretien et le renouvellement (P3) a donc une part plus importante pour les chaufferies dédiées que pour les réseaux de chaleur.

Il est important de préciser que pour collecter les données nécessaires à l'étude il a fallu contacter les différents exploitants. Trop peu de données ont été collectées pour obtenir un véritable état des lieux

des installations biomasse-énergie. C'est notamment le cas des installations industrielles : pour certains dossiers aucune donnée exploitable n'a été fournie.

5. Conclusion / Perspectives

Cette étude se place dans un contexte de lutte contre le réchauffement climatique : l'utilisation de bois-énergie pourrait permettre d'atteindre les objectifs fixés par la loi transition énergétique pour la croissance verte. Afin d'inciter l'utilisation du bois-énergie et de le rendre compétitif vis-à-vis des énergies fossiles une aide financière est mise en place : le Fonds Chaleur.

Les objectifs principaux de cette étude étaient de faire un état des lieux des installations (collectives et industrielles) déjà en exploitation et d'actualiser les ratios énergétiques et économiques relatifs à ce type d'installations. De plus, il était question d'analyser et d'étudier les coûts d'investissement et d'exploitation des chaufferies et réseaux de chaleur bois-énergie soutenus par le Fonds Chaleur.

La présente étude a ainsi permis de mettre en évidence certains résultats concernant les investissements et coûts d'exploitation des installations biomasse-énergie.

► Les coûts d'investissement :

- Un effet d'échelle a été observé : les coûts d'investissement diminuent avec l'augmentation de la puissance des installations, que ce soit pour les installations collectives ou industrielles. L'investissement est toutefois moins élevé pour les installations industrielles.
- Quatre postes étudiés ont été étudiés : process bois, génie civil, distribution de chaleur et études/ingénierie. C'est le poste « Process bois » qui occupe la part la plus importante des coûts d'investissement. En effet, ce poste représente plus de 30% de l'investissement total des installations industrielles et plus de 60% pour le secteur industriel. Le poste « Génie civil » représente environ 25% de l'investissement final quel que soit le type d'installations (collectives ou industrielles). Enfin, les postes ayant le moins d'impact sur l'investissement sont les postes « Process Appoint » et « Etudes/ Ingénierie » puisqu'ils représentent chacun moins de 10% de l'investissement total.

► Les coûts d'exploitation :

- Récupération des données difficile : il est important de préciser que pour collecter les données nécessaires à l'étude il a fallu contacter les différents exploitants. Trop peu de données ont été collectées pour obtenir un véritable état des lieux des installations biomasse-énergie ;
- Etude de ratios énergétiques : taux de couverture bois, rendement de production des installations et consommation électrique. Le taux de couverture moyen est de 75% pour les installations collectives et de 79% pour les installations industrielles. Concernant les installations collectives, le rendement de production diminue avec l'augmentation de la puissance bois des installations et passe de 81% à 73% pour des puissances bois variant de 150 kW_{bois} à plus de 12 000 kW_{bois}. Ce phénomène est causé par le raccordement des projets à des réseaux de chaleur pour les puissances importantes. La consommation électrique évolue très peu avec la puissance bois et vaut, en moyenne 0,26 MWh_{élec}/MWh_{produit/livré} ;
- Etude de ratios économiques : prix d'achat du combustible bois, prix d'achat de l'électricité, prix de la maintenance et prix du gros entretien. Une diminution du prix d'achat de l'énergie ramené aux MWh avec l'augmentation de la puissance bois a été observée. Les coûts d'exploitation et de maintenance des installations divisés par la puissance, diminue lorsque la puissance augmente. Le prix du gros entretien et du renouvellement du matériels ramené au MWh produit sortie chaufferie, diminue lorsque la puissance augmente ;
- Bilans moyens déficitaires : l'étude des ratios économiques R1 et R2 a mis en évidence des bilans moyens déficitaires. Une cause possible est une mauvaise estimation des charges initiales ou des charges en phase exploitation. De plus, ces résultats portent sur les catégories d'installations et non sur chaque installation.

Perspectives :

- **Questionnaire unique** : il est important de rappeler que toutes les données utiles à l'étude n'ont pas pu être récupérées. Le niveau de détails obtenu est différent pour chaque dossier : il serait donc intéressant de proposer un questionnaire uniforme pour chaque dossier. Cela permettrait une homogénéisation des données et une étude plus complète. Un exemple d'un tel questionnaire est proposé en annexe (Annexe 1). Ce manque de données, notamment concernant le type de technologie mise en place, a parfois empêché d'établir un critère discriminant pour expliquer les tendances observées ;

- ▶ **Contacts avec les bureaux d'études** : afin de faciliter la récolte des données, il serait intéressant d'envisager de contacter directement les bureaux d'études pour obtenir les informations nécessaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Kalice, Biomasse Normandie. 2015. *Etude des coûts d'investissement et d'exploitation associés aux installations biomasse énergie des secteurs collectifs et industriels*. 78 pages.

[2] Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération [en ligne]. Syndicat énergies renouvelables (SER). Edition 2021. Disponible à l'adresse : <https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/panorama-chaleur-2021-web.pdf> [consulté en mai 2022].

[3] Bilan Fonds Chaleur 2021, Chiffres clés 2009-2021, Pistes 2022. CNA Climat Air Energie 01 Mars 2022 [consulté en mai 2022].

[4] Etude Perdurance. 2009. *Coûts d'investissements relatifs aux installations collectives bois-énergie (2000-2006)*

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Statistiques sur la puissance du panel.....	13
Tableau 2 : Répartition du panel en fonction de la puissance et de la présence d'un réseau de chaleur technique.....	14
Tableau 3 : Indices des prix de l'énergie.....	15
Tableau 4 : Indice des prix hors énergie.....	16
Tableau 5 : Investissement global – Statistiques par catégorie.....	21
Tableau 6 : Process Bois – Statistiques par typologie.....	24
Tableau 7 : Process Bois - Statistiques par catégorie.....	24
Tableau 8 : Process Bois en fonction du combustible – Statistiques.....	25
Tableau 9 : Filtration des fumées – Statistiques par type de filtration.....	26
Tableau 10 : Filtration des fumées (excepté les multicyclones) – Statistiques par catégorie.....	27
Tableau 11 : Filtration des fumées par multicyclones - Statistiques par catégorie.....	28
Tableau 12 : Process Appoint - Statistique par typologie.....	30
Tableau 13 : Process Appoint - Statistique par catégorie.....	30
Tableau 14 : Génie civil – Statistiques par typologie.....	33
Tableau 15 : Génie civil - Statistiques par catégorie.....	33
Tableau 16 : Génie civil en fonction du type de silo – Statistiques.....	34
Tableau 17 : Distribution – Statistiques par longueur de réseau.....	36
Tableau 18 : Distribution - Statistiques par catégorie.....	36
Tableau 19 : Réseau de chaleur – Statistiques par typologie.....	37
Tableau 20 : Réseau de chaleur - Statistiques par catégorie.....	37
Tableau 21 : Sous-stations – Statistiques par catégorie.....	39
Tableau 22 : Etudes – Statistiques par typologie.....	41
Tableau 23 : Etudes - Statistiques par catégorie.....	41
Tableau 24 : Synthèse des coûts d'investissement.....	42
Tableau 25 : Taux de couverture – Statistiques par typologie.....	45
Tableau 26 : Taux de couverture - Statistiques par catégorie.....	45
Tableau 27 : Rendement de production – Statistiques par typologie.....	47
Tableau 28 : Rendement de production - Statistiques par catégorie (Uniquement réseau de chaleur).....	47
Tableau 29 : Rendement chaudière – Statistiques par typologie.....	48
Tableau 30 : Rendement chaudière - Statistiques par catégorie.....	48
Tableau 31 : Consommation d'énergie électrique – Statistiques par typologie.....	50
Tableau 32 ; Consommation d'énergie électrique - Statistiques par catégorie.....	51
Tableau 33 : Prix du combustible – Statistiques par typologie.....	52
Tableau 34 : Prix combustible - Statistiques par catégorie.....	52
Tableau 35 : Prix de l'énergie produite – Statistiques par typologie.....	55
Tableau 36 : Prix de l'énergie produite - Statistiques par catégorie.....	55
Tableau 37 : Prix achat électricité – Statistiques par typologie.....	58
Tableau 38 : Prix achat électricité - Statistiques par catégorie.....	58
Tableau 39 : Entretien et maintenance - Statistiques par quantité d'énergie produite (sans cogénération).....	61
Tableau 40 : Entretien et maintenance - Statistiques par catégorie (sans Cogénération).....	61
Tableau 41 : Entretien et maintenance - Statistiques par quantité d'énergie produite (sans cogénération).....	62
Tableau 42 : Entretien et maintenance - Statistiques par catégorie (sans Cogénération).....	63
Tableau 43 : Gros entretien - Statistiques par quantité d'énergie produite (sans cogénération).....	64
Tableau 44 : Gros entretien - Statistiques par catégorie (sans cogénération).....	65
Tableau 45 : Charges combustible - Statistiques par catégorie.....	67
Tableau 46 : Produits combustible - Statistiques par taux de couverture.....	69
Tableau 47 : Produits combustible - Statistiques par catégorie.....	69
Tableau 48 : Charges R2 - Statistiques par catégorie.....	72
Tableau 49 : Produits R2 - Statistiques par catégorie.....	73
Tableau 50 : Synthèse exploitation - Ratios énergétiques.....	74
Tableau 51 : Synthèse exploitation - Ratios économiques.....	75

FIGURES

Figure 1 : Répartition des chaufferies bois-énergie dans les secteurs collectif, industriel et tertiaire en 2020.....	8
Figure 2: Répartition du nombre de dossiers du panel en fonction du type de projet (collectif ou industriel).....	12
Figure 3: Répartition du panel en fonction de la puissance installée.....	13
Figure 4 : L'évolution des indices du prix de l'énergie.....	15
Figure 5 : L'évolution des indices du prix hors énergie.....	16
Figure 6 : Investissement global - Echantillon de base.....	20
Figure 7 : Investissement global - Echantillon retenu.....	21
Figure 8 : Process Bois - Echantillon de base.....	23
Figure 9 : Process Bois - Echantillon retenu.....	23
Figure 10 : Process Bois en fonction du combustible - Echantillon d'étude.....	24
Figure 11 : Filtration des fumées - Echantillon étudié.....	25
Figure 12 : Zoom filtration des fumées (excepté les multicyclones).....	27
Figure 13: Zoom filtration des fumées (ayant un ou des multicyclones).....	28
Figure 14 : Process Appoint - Echantillon de base.....	29
Figure 15 : Process Appoint - Echantillon retenu.....	29
Figure 16 : Génie civil - Echantillon de base.....	31
Figure 17 : Génie civil - Echantillon retenu.....	32
Figure 18 : Génie civil en fonction du type de silo - Echantillon étudié.....	34
Figure 19 : Distribution - Echantillon de base.....	35
Figure 20 : Distribution - Echantillon retenu.....	35
Figure 21 : Réseau de chaleur - Echantillon étudié.....	37
Figure 22 : Sous-Stations - Echantillon de base.....	38
Figure 23 : Sous-Stations - Echantillon retenu.....	39
Figure 24 : Etudes - Echantillon de base.....	40
Figure 25 : Etudes - Echantillon retenu.....	40
Figure 26 : Répartition de l'investissement total.....	42
Figure 27 : Répartition investissement total – Zoom installations collectives.....	43
Figure 28 : Taux de couverture - Echantillon étudié.....	44
Figure 29 : Rendement de production – Echantillon étudié.....	46
Figure 30 : Rendement chaudière - Echantillon étudié.....	48
Figure 31 : Consommation d'énergie électrique – Echantillon étudié.....	50
Figure 32 : Prix combustible bois - Echantillon de base.....	51
Figure 33 : Prix combustible bois - Echantillon retenu.....	52
Figure 34 : Prix combustible total - Echantillon de base.....	54
Figure 35 : Prix combustible total - Echantillon retenu.....	55
Figure 36 : Prix achat électricité - Echantillon de base.....	57
Figure 37 : Prix achat électricité - Echantillon retenu.....	57
Figure 38 : Prix achat électricité en fonction du MWh produit ou livré - Echantillon retenu.....	59
Figure 39: Entretien et maintenance - Echantillon de base.....	60
Figure 40 : Entretien et maintenance - Echantillon retenu.....	61
Figure 41 : Entretien et maintenance - Echantillon retenu.....	62
Les ratios relatifs à ce poste sont définis en fonction de la catégorie des installations et sont présentés ci-dessous :	62
Figure 42 : Gros entretien - Echantillon de base.....	63
Figure 43 : Gros entretien - Echantillon retenu.....	64
Figure 44 : Proportion du Gros entretien et du renouvellement en fonction de l'investissement du Process Bois.....	65
Figure 45 : Charges combustible - Echantillon de base.....	66
Figure 46 : Charges combustible - Echantillon retenu.....	67
Figure 47 : Produits R1 - Echantillon de base.....	68
Figure 48 : Produits R1 - Echantillon retenu.....	68
Figure 49 : Produits R1 - Zoom pour des énergies inférieures à 100 000 MWh produit/livré.....	69
Figure 50 : Comparaison Charges/Produits - R1.....	70
Figure 51 : Charges R2 - Echantillon de base.....	71
Figure 52 : Charges R2 - Echantillon retenu.....	71
Figure 53 : Charges R2 inférieur à 15 000 kW total - Echantillon retenu.....	72
Figure 54 : Produits R2 - Echantillon étudié.....	73
Figure 55 : Comparaison Charges/Produits - R2.....	74
Figure 56 : Répartition des coûts d'exploitation.....	76
Figure 57 : Répartition des coûts d'exploitation - Zoom installations collectives.....	76

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AMO	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
BCIAT	Biomasse, Chaleur, Industrie, Agriculture et Tertiaire
BT01	Indice national du bâtiment - tous corps d'Etat
BT40	Indice national du bâtiment – chauffage central
CNR REG EA-IT	Indice Comité National Routier Régional
CSPS	Coordinateur de Sécurité et Protection de la Santé
DIB	Indice Déchets Industriels Banals
EMT	Indice Electricité Moyenne Tension
FOD C4	Indice Fuel Oil Domestique quantité C4
FSD1	Frais et Services Divers – modèle de référence n°1
FSD2	Frais et Services Divers – modèle de référence n°2
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
HT	Hors Taxe
ICHT IME	Indice du Coût Horaire du Travail Industries Mécaniques et Electroniques
ING	Ingénieur
LTECV	Loi de Transition Energétique pour la Croissante Verte
ml	Mètres Linéaires
P1	Ratio économique relatif au prix d'achat du combustible
P1'	Ratio économique relatif au prix d'achat de l'électricité
P2	Ratio économique relatif au prix de l'entretien et de la maintenance
P3	Ratio économique relatif au prix du gros entretien et du renouvellement
P4	Ratio économique relatif au financement
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PEG	Indice Point d'Echange de Gaz
PPE	Programmation Pluriannuelle de l'Energie
R1	Ratio économique relatif aux dépenses liées aux combustibles
R2	Ratio économique relatif à « l'abonnement » (comprend P1', P2 et P3)
RC	Réseau de Chaleur
SST	Sous-Station
TP01	Indice général Travaux Publics – tous travaux
URF	Unités de Répartition Forfaitaire
UVE	Unités de Valorisation Energétiques

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.