



Août
2020

ARTICULATION DES USAGES ENTRE GRANULES ET PLAQUETTES POUR LES CHAUFFERIES BIOMASSE

Rapport final



En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Propellet France (Eric VIAL), le SNPGB (Hugues de CHERISEY) et le CIBE (Romain BEGON, Stéphane COUSIN, Clarisse FISCHER et Elodie PAYEN) remercient Alice FAUTRAD et Simon THOUIN (ADEME) ainsi que les professionnels qui ont partagé leurs retours d'expérience : Christelle BOUT (CCI 48), Mathieu CAMPARGUE (RAGT Energie), Éric CASENOVE (Bois Energie 66), Céline CHAPELLE (SIED 70), Daniel CHAZE (Résidence St Nicolas – Langogne 48), Bruno CHIEZE (Compte R.), François CLAIROUIN (Weya), Serge DEFAYE (Débat / Best Energies), Cyril DEROUT (Weiss France), Mathieu FAYRET (Atlanbois), Sébastien GAUTREAU (Piveteau), Raphaëlle GOUEDARD (Ecossoles - 44), Marc LE TREIS (AILE), Denis MAUVISSEAU (Régie de chauffage de Fontenay-sous-Bois - 94), Cyrille MERCIER (Anjou Bois Energie), Thomas PERRISSIN (Ökofen / Easypell), Damien PUECH (Energies 15), Blandine ROBERT (Inddigo), Isabelle RODOT (SERM - 34), Christophe SAINT CYR (Vert Deshy), Denis SCHULTZ (KWB), Olivier SPILLEBOUT (SB Thermique / Herz / Binder) et Karim TABEL (Dalkia France).

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, France Bois Forêt, Propellet, SNPGB, CIBE, 2020. Articulation des usages entre granulés et plaquettes pour les chaufferies biomasse. Rapport final. 63 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

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'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1803C0046

Étude réalisée par Propellet, le SNPGB et le CIBE et cofinancée
par l'ADEME et France Bois Forêt

Coordination technique - ADEME : FAUTRAD Alice, ingénieur
Direction productions et énergies durables / Service forêt,
alimentation et bioéconomie

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	6
1. Objectifs et déroulement de l'étude	7
1.1. Objectifs de l'étude	7
1.2. Déroulement de l'étude	7
2. État des lieux de la filière granulés de bois en France	8
2.1. Ressources utilisées et caractéristiques des granulés de bois	8
2.1.1. Ressources utilisées	8
2.1.1.1. Une ressource principale : les produits connexes de scierie	8
2.1.1.2. Une ressource en devenir : les rondins forestiers	8
2.1.1.3. Un défi : l'adaptation au profil des ressources forestières françaises	9
2.1.2. Process de fabrication	9
2.1.3. Caractéristiques des granulés de bois et démarches qualité associées	9
2.1.3.1. Des caractéristiques variant selon les usages	9
2.1.3.2. Des certifications pour attester de la qualité des granulés.....	10
2.2. Production et consommation de granulés de bois en France	10
2.2.1. Production, import et export.....	10
2.2.2. Consommation	12
2.2.2.1. Chauffage domestique	12
2.2.2.2. Chauffage collectif / industriel.....	13
2.3. Prix de vente des granulés de bois	15
2.3.1. Prix des granulés en sortie d'usine par camion complet	15
2.3.2. Prix des granulés livrés chez le consommateur	16
3. Impacts des caractéristiques des granulés et plaquettes de bois	19
3.1. Rappel sur les plaquettes de bois	19
3.2. Aspects techniques	20
3.2.1. Impacts liés à la densité énergétique	20
3.2.2. Impacts liés à l'homogénéité	20
3.3. Aspects économiques	21
3.3.1. Coût d'investissement.....	21
3.3.2. Coût d'exploitation	21
3.3.3. Coût du combustible bois	21
3.3.4. Coût global de la chaleur	21
3.4. Aspects environnementaux	22
4. Articulation granulés / plaquettes en chaufferie dédiée	24
4.1. Logique présidant à la réalisation des chaufferies dédiées aux granulés de bois	24
4.2. Zones de pertinence technico-économique des chaufferies dédiées aux granulés de bois 26	
4.2.1. Objectifs de l'analyse technico-économique	26
4.2.2. Méthodologie et outils développés	26
4.2.2.1. Données sources et principales hypothèses pour les simulations.....	26
4.2.2.2. Avertissement et précisions.....	31



4.2.3.	Simulations	33
4.2.3.1.	Raisonnement en coût global	33
4.2.3.2.	Sensibilité des résultats à la variation de paramètres technico-économiques.....	34
4.2.3.3.	Compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles	36
4.2.3.4.	Évolution des zones de pertinence selon le prix des combustibles bois.....	41
5.	Usage des granulés de bois sur réseau de chaleur	44
6.	Annexe : méthodologie de recueil des données.....	45
6.1.	<i>Méthodologie d'identification de la logique présidant à la réalisation des installations aux granulés de bois.....</i>	45
6.1.1.	Structure du questionnaire expert.....	45
6.1.2.	Choix des experts	45
6.1.3.	Synthèse des échanges	45
6.1.4.	Questionnaires d'entretien "expert".....	46
6.2.	<i>Méthodologie pour déterminer les zones de pertinence technico-économique des installations aux granulés de bois</i>	53
6.2.1.	Méthodologie	53
6.2.2.	Champ de l'étude.....	53
6.2.3.	Choix des régions pour la collecte des données économiques	53
6.2.4.	Collecte de données économiques.....	54
6.2.5.	Questionnaire d'entretien "maître d'ouvrage"	55
7.	Annexe confidentielle : comptes rendus d'entretiens.....	59
	Index des tableaux et figures	60

RÉSUMÉ

La consommation en granulés de bois des chaufferies collectives et industrielles en France ne représente qu'environ 5 % du marché français national des granulés, très largement dominé par les usages domestiques dans les poêles et les chaudières des particuliers, et seulement 2 % de l'énergie entrant dans les chaufferies collectives et industrielles (alors que le nombre de chaufferies aux granulés représente près de 20 % de l'ensemble), la très large majorité étant fournie par le bois déchiqueté (plaquettes forestières, connexes des industries du bois, broyats de bois en fin de vie...).

Face à ce constat, **il est important pour la filière bois-énergie de mieux connaître les chaufferies utilisant des granulés de bois et d'accompagner leur développement grâce à une meilleure appréhension de la logique présidant à leur réalisation et une connaissance approfondie de l'articulation possible entre l'usage des granulés et des plaquettes.** C'est la condition pour proposer une offre complète de solutions et toucher ainsi un plus large public. La présente étude vise à répondre à cette attente.

Les entretiens menés avec des experts de la filière et des maîtres d'ouvrage d'installations ont permis d'identifier que les solutions plaquettes et granulés sont très souvent étudiées en parallèle, que **les atouts des granulés (densité énergétique et homogénéité) font que ceux-ci sont les mieux adaptés en cas de disponibilité foncière limitée pour la réalisation de la chaufferie (compacité des équipements) ou de difficulté d'accès au silo de stockage du combustible pour les livraisons (recours à un camion souffleur)** et, enfin, que la facilité d'exploitation d'une chaudière aux granulés peut également orienter le choix du maître d'ouvrage. **Lorsqu'il n'y a pas de difficulté technique particulière pour la réalisation d'une chaufferie aux plaquettes ou de volonté d'utiliser l'un ou l'autre des combustibles, l'arbitre est le coût global de la chaleur.** Une constante revient alors : la compétitivité des granulés et des plaquettes est en général assurée face au fioul domestique ou au propane, elle est beaucoup plus difficile à obtenir face au gaz naturel. Quand les deux solutions bois sont comparées entre elles, il ressort que **les granulés ont souvent l'avantage pour les petites puissances (en général inférieures à 150-200 kW, la plage observable pouvant aller jusqu'à 400 kW voire 500 kW) et que leur pertinence vis-à-vis des installations aux plaquettes augmente avec l'intermittence d'usage des bâtiments.** C'est effectivement ce que confirment les simulations effectuées dans le cadre de cette étude, qui précisent les zones de pertinence économique des installations aux granulés au regard de l'usage des plaquettes et broyats.

La cible de développement prioritaire des granulés (au-delà des usages domestiques) est ainsi les chaufferies dédiées de petite puissance pour des bâtiments à intermittence de besoins de chauffage forte (établissements scolaires, locaux tertiaires) ou moyenne (logements collectifs), plus rarement forte (établissements sanitaires et sociaux), tout particulièrement dans les zones non desservies par le gaz naturel.

Une utilisation des granulés peut aussi être envisagée en **industrie**, majoritairement pour le chauffage des locaux et éventuellement pour le process (petites fromageries notamment). De même, les **réseaux de chaleur** représentent une cible potentielle mais les installations existantes sont peu nombreuses et les situations sont diverses (remplacement du charbon, usage en appoint d'une chaudière aux plaquettes, usage en base pour un éco-quartier).



ABSTRACT

The consumption of wood pellets from collective and industrial boilers in France accounts for only about 5% of the French pellet market, which is largely dominated by domestic uses in private stoves and boilers, and only 2% of the energy entering collective and industrial boilers (while the number of pellet boilers accounts for almost 20% of the total), the vast majority are supplied by shredded wood (wood chip, wood industry related products, chipped branch-wood).

Considering this observation, **it is important for the wood-energy sector to better know the boilers using wood pellets and to accompany their development through a better understanding of the logic of their realization and an in-depth knowledge of the possible articulation between the use of pellets and wood chips.** This is the condition for offering a complete range of solutions and thus reaching a wider audience. The purpose of this study is to meet this expectation.

Interviews with experts and plant owners have identified that wood chip and pellet solutions are very often studied in parallel. **The advantages of pellets (energy density and homogeneity) make them best suited in case of limited land availability for the realization of the boiler (compact equipment) or in case of difficult accessibility of the fuel storage silo for deliveries (using a blower truck)** and, finally, the ease of operation of a boiler with pellets can also influence the choice of the owner. **When there is no technical difficulty in making a wood chip boiler or willingness to use any other fuel, the arbiter is the overall cost of heat.** A constant then returns pellets and wood chips are generally more competitive than domestic fuel oil or propane, however, it is often the opposite with natural gas. When the two wood solutions are compared to each other, it appears that **pellets often have the advantage for smaller powers (usually less than 150-200 kW, the observable range can be as high as 400 kW or 500 kW) and that their relevance to wood chip installations increases the more irregular the use of buildings is.** This is indeed confirmed by the simulations carried out in the context of this study, which specify the situations of economic relevance of the pellet installations in relation to the use of wood chip.

Thus, the priority development target for pellets (beyond domestic uses) is small-power dedicated boilers for buildings with irregular and high heating needs (schools, tertiary premises) or medium (collective housing), less frequently high (health and social establishments) and especially in areas not served by natural gas.

The use of pellets can also be considered for the **industry**, mainly for the heating of the premises and for the process (small cheese factories in particular). Similarly, heat **networks** are a potential target, but existing facilities are few and situations are diverse (replacement of coal, use in addition to a boiler with wood chip, use as a base for an eco-neighborhood).

1. Objectifs et déroulement de l'étude

1.1. Objectifs de l'étude

Le marché du bois-énergie évolue avec, notamment, le développement d'installations collectives et industrielles aux granulés, seules ou en appoint d'installations plaquettes, pour répondre à des cibles et besoins différents. Il est important pour la filière bois-énergie de mieux appréhender l'articulation granulés / plaquettes et d'accompagner ce développement afin de proposer une offre complète de solutions et toucher ainsi un plus large public.

Les objectifs de la présente étude, financée par l'ADEME et France Bois Forêt (FBF), portée par Propellet et réalisée par Propellet, le SNPGB et le CIBE sont ainsi :

- faire un état des lieux de la production et des marchés des granulés de bois ;
- identifier et mieux connaître les installations collectives, tertiaires et industrielles utilisant des granulés de bois et la logique présidant à leur réalisation ;
- évaluer les zones de pertinence économique de ces installations au regard de l'usage des plaquettes et broyats (actualisation de l'étude réalisée en 2011 par le SNPGB et le CIBE pour l'ADEME et la DRAAF des Pays-de-la-Loire).

1.2. Déroulement de l'étude

L'étude a été conduite en quatre phases :

- établissement de l'état des lieux de la filière granulés de bois en France ;
- réalisation d'entretiens avec des experts de la filière bois-énergie et des maîtres d'ouvrage d'installations aux granulés afin de déterminer la logique amenant à la réalisation d'installations aux granulés de bois ;
- collecte de données technico-économiques pour un panel d'installations aux granulés, de manière à alimenter le simulateur utilisé lors de phase suivante ;
- réalisation des simulations technico-économiques en vue de préciser les zones de pertinence économique des installations aux granulés au regard de l'usage des plaquettes et broyats.

L'état des lieux a été réalisé par regroupement et mise en perspectives d'éléments disponibles auprès de Propellet, du SNPGB et du CIBE, lesquels ont été complétés par des informations issues d'études et d'échanges avec des professionnels.

Les experts de la seconde phase ont été choisis pour représenter au mieux la diversité des acteurs de la filière, mais également de façon à avoir une vision à différentes échelles de chaque activité. En effet, des structures d'animation opérant à l'échelle départementale n'auront pas la même vision de la filière que des structures régionales. De même, des industriels ayant une activité au niveau national n'auront pas la même expertise que des entreprises travaillant sur un territoire moins vaste. Il est également intéressant de comparer les professionnels dont le granulé constitue le cœur d'activité et ceux chez qui il ne représente qu'une part minoritaire du chiffre d'affaire. Propellet, le SNPGB et le CIBE ont proposé des structures et des interlocuteurs qualifiés afin d'avoir des retours de qualité. 16 experts ont ainsi été interrogés : 5 structures d'animation, 3 bureaux d'études, 4 constructeurs de chaudières, 2 producteurs / distributeurs de granulés et 2 exploitants de chauffage. Les premiers experts interrogés ont été des animateurs bois-énergie ainsi que des bureaux d'études pour avoir une vision générale du montage de projets de chaufferies aux granulés. Les retours des producteurs, fabricants de chaudières et exploitants ont permis de préciser certaines questions soulevées par les animateurs et bureaux d'étude. Le guide d'entretien type figure en annexe, avec ses variantes pour les constructeurs et les producteurs / distributeurs.

De la même manière, les entretiens auprès des maîtres d'ouvrage ont été menés afin d'avoir un éclairage global sur le montage et la conduite d'installations variées, en particulier des réseaux de chaleur (sur lesquels l'utilisation de granulés est rare). 7 maîtres d'ouvrage ont ainsi été interrogés : 2 pour un réseau de chaleur avec utilisation des granulés en remplacement du charbon, 2 pour un réseau de chaleur avec une chaudière aux granulés en appoint d'une chaudière aux plaquettes, 1 pour un réseau de chaleur sur un éco-quartier avec une chaudière aux granulés en base, 1 pour des chaufferies dédiées dans le secteur médico-social et 1 pour une chaufferie dédiée desservant des locaux tertiaires. Le guide d'entretien type figure en annexe.

La collecte de données technico-économiques d'installations aux granulés a été effectuée par sollicitation d'animateurs bois-énergie, qui ont transmis les informations qu'ils avaient déjà en leur possession ou qu'ils ont récupérées par contact avec les maîtres d'ouvrage. Des données exploitables ont ainsi été obtenues pour 107 installations (37 établissements d'enseignement, 22 installations pour le chauffage de logements, 18 établissements médico-sociaux, 3 piscines et 27 établissements tertiaires). La démarche suivie pour mener à bien cette collecte est explicitée en annexe.

Enfin, les simulations technico-économiques ont été réalisées en adaptant aux besoins de l'exercice l'outil que le CIBE a conçu dans le cadre de sa commission « montage de projets ».



2. État des lieux de la filière granulés de bois en France

Les granulés de bois proviennent du compactage de sciures ou d'autres sources de bois finement broyées. La matière première tout d'abord séchée, éventuellement broyée ou affinée, est ensuite comprimée mécaniquement sous la forme de cylindres. La taille de ces cylindres est généralement comprise entre 15 à 20 mm de longueur pour 6 à 8 mm de diamètre.

En France, la fabrication des granulés est assurée par une soixantaine d'usines et la consommation, quasi équivalente à la production (le solde import-export est faible) est le fait, pour une très large part (plus de 90 %), de plus d'un million de ménages pour le chauffage de leur logement et, pour le reste, de plus d'un millier de chaufferies collectives et industrielles.

Dans la suite de l'étude, les expressions « granulés de bois » et « granulés » sont, sauf mention contraire, considérées comme équivalentes.

2.1. Ressources utilisées et caractéristiques des granulés de bois

2.1.1. Ressources utilisées

2.1.1.1. Une ressource principale : les produits connexes de scierie

Les granulés de bois produits et utilisés en France sont très majoritairement issus de **sciures et de chutes de bois broyées provenant de scieries qui, en France, transforment majoritairement des bois résineux.**

Ces matières ont été historiquement des déchets, parfois coûteux à éliminer pour ceux qui les produisaient. Les industries du panneau de particules et de la pâte à papier ont accru leur consommation de cette ressource, lui conférant une valeur qui est longtemps restée modeste. Plus récemment, les utilisations par les chaufferies bois et les unités de production de granulés sont venu accroître les usages de ces connexes, qui sont désormais des matières premières recherchées.

Le volume de leur gisement dépend de l'activité des scieries, et donc des fabrications de leur produit principal : les sciages. Ceux-ci répondent principalement à la demande du secteur de la construction en bois. Les scieries françaises sont en intense compétition avec celles de Scandinavie, d'Allemagne et de Belgique. Tous ces concurrents disposent d'incitations publiques au développement de cogénérations leur permettant de sécher, de façon très compétitive, leurs sciages mais aussi leurs connexes pour la fabrication sur site de granulés. En France, l'interruption des soutiens à la cogénération dans les scieries dessert leur compétitivité face à ces concurrents du Nord-Est de l'Europe, et ainsi leur développement. En conséquence, les quantités de connexes générées peuvent être limitantes pour la production de granulé de bois mais ce dernier bénéficie toutefois de la baisse de consommation des connexes tant par l'industrie du panneau de bois, à mesure que celle-ci accroît ses usages de bois recyclés comme matières premières, que par le secteur de la pâte à papier (fermetures ou reconversions d'unités). Selon les données statistiques du Ministère de l'agriculture (Agreste), le secteur de la trituration représentait en 2005 un débouché de 4 511 000 t alors qu'en 2019 il n'est plus que de 2 725 000 t, soit une baisse de 40 % en 15 ans ; d'où l'importance du développement de nouveaux usages des connexes. Dans le futur, le gisement de matières premières restera le principal facteur limitant à la poursuite du développement de la production française de granulé et du maintien de notre autonomie nationale sur une énergie renouvelable pour laquelle la demande ne cesse de croître.

2.1.1.2. Une ressource en devenir : les rondins forestiers

Il existe une alternative aux connexes de scieries : l'usage de **certains bois forestiers dont l'exploitation est nécessaire à une bonne croissance des arbres et à la production de grumes de qualité.**

La fabrication de granulés offre ainsi une valorisation aux rondins provenant d'éclaircies réalisées en forêts privées, opérations sylvicoles habituellement difficilement rentables, notamment dans les régions sans unités de trituration.

Quelques unités de production de granulés ont recours à cette nouvelle source de matière première. Celle-ci requiert toutefois des étapes supplémentaires de préparation, en comparaison d'une utilisation directe de sciures (un écorçage et deux broyages). En effet, l'écorçage et le premier broyage sont des étapes préalables indispensables à la granulation. Dans le cas de l'utilisation de sciures, ces étapes ont lieu en scierie, dans celui de l'utilisation de rondins forestiers, elles s'imposent chez le granulateur. Néanmoins, quel que soit le process, il y a donc la même consommation d'énergie.

Le gisement disponible est essentiellement composé de feuillus, pour lesquels les bois de faibles diamètres ou de mauvaise qualité ne trouvent actuellement pas de débouchés. En valorisant mieux ces produits, le sylviculteur pourrait retrouver un équilibre économique pour l'amélioration de ces peuplements vers une production de bois d'œuvre de qualité. Le granulateur doit maîtriser la qualité de ses matières premières et des différents assemblages

qu'il réalise, les bois de feuillus montrant des taux de cendres et en certains microéléments plus élevés que ceux de résineux mais restant généralement compatibles avec les standards normatifs.

2.1.1.3. Un défi : l'adaptation au profil des ressources forestières françaises

La forêt française est composée aux deux tiers de peuplements feuillus alors que les sciages produits par les scieries hexagonales sont pour près des trois quarts issus d'essences résineuses. Ce constat résume à lui seul l'effort qui incombe à la filière granulé nationale pour être en mesure d'augmenter sa production et ainsi conserver sa capacité à être quasiment auto-suffisante (l'alternative étant l'import de granulés).

Pour que la fabrication de granulés poursuive son développement en France, la diversification de son gisement matières premières doit être recherchée. L'usage de rondins de feuillus offre des opportunités nouvelles, tant pour la bonne gestion de la forêt que pour accroître les ressources pour la production de granulés.

Il est nécessaire que cette mobilisation supplémentaire de bois se fasse dans le cadre d'une gestion durable de la forêt, ce qui oriente vraisemblablement vers la systématisation de la certification PEFC (ou FSC ou équivalent) de la matière première des granulés de bois.

2.1.2. Process de fabrication

Les granulés sont obtenus par compression de fines particules. Des étapes préalables de préparation des bois peuvent donc s'avérer nécessaires selon la ressource utilisée :

- les sciures sont affinées (broyage fin, tamisage) pour obtenir la granulométrie souhaitée ;
- les plaquettes de scierie requièrent un broyage pour obtenir la granulométrie souhaitée ;
- les rondins doivent être écorcés puis transformés en plaquettes, lesquelles sont ensuite broyées.

Les sciures ou particules obtenues sont introduites dans une presse via une trémie, équipée d'un système de dosage et de mélange. La compression est assurée par la rotation d'un rouleau dans un cylindre percé de trous, appelé filière. L'apport de vapeur d'eau permet la lubrification et facilite la granulation qui se fait sans ajout d'agent de liaison, la lignine du bois jouant ce rôle.

A leur sortie de la filière, les granulés sont coupés à la longueur souhaitée puis dirigés vers un refroidisseur (la compression provoque une augmentation importante de la température du bois). Ils sont ensuite tamisés afin de séparer les fines (recyclées en tête de process) et enfin stockés.

S'ils sont destinés au marché des particuliers équipés de poêles, les granulés sont conditionnés en sacs (principalement de 15 kg). La livraison des chaudières domestiques et collectives est quant à elle effectuée en vrac, généralement par des camions équipés d'un système de déchargement pneumatique et éventuellement, pour les plus grandes installations, par des conteneurs, des bennes simples ou à fond mouvant.

2.1.3. Caractéristiques des granulés de bois et démarches qualité associées

2.1.3.1. Des caractéristiques variant selon les usages

Les caractéristiques des granulés de bois et les matières premières admissibles pour leur production sont précisées dans la norme NF EN ISO 17225-2 selon deux grandes catégories, chacune étant divisée en trois classes :

- usage domestique, pour la production de chaleur par les ménages et les chaufferies collectives ;
- usage industriel, pour les installations de forte puissance.

Sont notamment définies les exigences en matière de taux d'humidité, de granulométrie, de pouvoir calorifique inférieur (PCI), de taux de cendres, de teneurs en azote et chlore.



Principales caractéristiques des granulés de bois définies dans la norme NF EN ISO 17225-2

Usages	Classes	Humidité	Cendres	PCI	Résistance mécanique	Fines	Azote	Chlore		
		% masse brute	% masse sèche	kWh/t	% masse brute	% masse brute	% masse sèche			
Résidentiel et collectif	A1	< 10 %	<0,7	> 4 600	>97,5	<1%	<0,3	<0,02		
	A2		<1,2				<0,5			
Collectif	B		<2				<1	<0,03		
Industriel	I1		<1				97,5 à 99	<4%	<0,3	<0,03
	I2		<1,5				97 à 99	<5%	<0,05	
	I3		<3				97,5 à 99	<6%	<0,6	<0,1

En France, seule la catégorie A1 (granulés de qualité « premium ») est produite : les usines ne souhaitent pas multiplier les références et visent donc la catégorie relative à leur marché, qui est très majoritairement la vente aux particuliers. Ainsi les chaufferies collectives sont approvisionnées en catégories A1, bien qu'elles soient susceptibles de consommer également des granulés des catégories A2 et B. La qualité industrielle n'est présente en France que via l'importation, pour une partie de l'approvisionnement de la chaudière de la Compagnie parisienne de chauffage urbain à Saint-Ouen.

En matière d'essences de bois, les granulés français sont majoritairement issus de résineux. Seuls 10-12 % de la production proviennent d'un mix feuillus / résineux (avec 30 à 60 % de feuillus selon les producteurs) et rares sont les granulés purement feuillus.

Des informations supplémentaires sur les caractéristiques des granulés de bois et les protocoles de mesure associés sont disponibles dans le document « Référentiels combustibles bois-énergie de l'ADEME » (www.ademe.fr/referentiels-combustibles-bois-energie-lademe).

2.1.3.2. Des certifications pour attester de la qualité des granulés

L'historique du développement de la certification des granulés en France a abouti à la présence de trois marques différentes et concurrentes (NF Biocombustibles solides, DINplus et ENplus), certifiant chacune du respect de la même norme NF EN ISO 17225-2 par les producteurs et les distributeurs. Dans d'autres pays, on ne trouve qu'une ou deux certifications actives. La marque NF est celle de signature française, principalement utilisée par des producteurs de taille moyenne dont le marché est régional. DINplus est une certification allemande, la plus ancienne et celle bénéficiant de la plus grande notoriété dans notre pays. ENplus, également d'origine allemande, est gérée par le Conseil européen du granulé (EPC) qui réunit les associations nationales de promotion de la filière.

Les trois certifications « produits » coexistent, avec cependant des éléments de positionnement un peu différents quant à la proximité avec les opérateurs, à leur coût ou aux spécifications supplémentaires ajoutées à celles de la norme. ENplus présente toutefois la particularité d'être une certification « système » (produits et entreprises). Ainsi, des trois marques, elle est la seule à traiter l'ensemble de la chaîne logistique du producteur au client, allant même jusqu'à intégrer les caractéristiques du silo de stockage chez le client. Dans ce cas, un formulaire contradictoire est signé par ce dernier et le fournisseur peut émettre des réserves, ne pas s'engager par exemple sur le taux de fines, voire refuser la livraison si l'installation du silo n'est pas de qualité suffisante (coudes trop nombreux, absence de tapis de réception des granulés...).

Outre ces certifications relatives aux granulés, deux programmes de certification de la gestion durable des forêts sont actifs en France, apportant au consommateur final la garantie qu'un produit portant la marque de l'organisme certificateur s'inscrit dans une démarche de gestion durable de la forêt :

- PEFC (Programme de reconnaissance des certifications forestières) ;
- FSC (Forest stewardship council).

Les granulés de bois peuvent également bénéficier de l'une ou l'autre de ces certifications.

2.2. Production et consommation de granulés de bois en France

2.2.1. Production, import et export

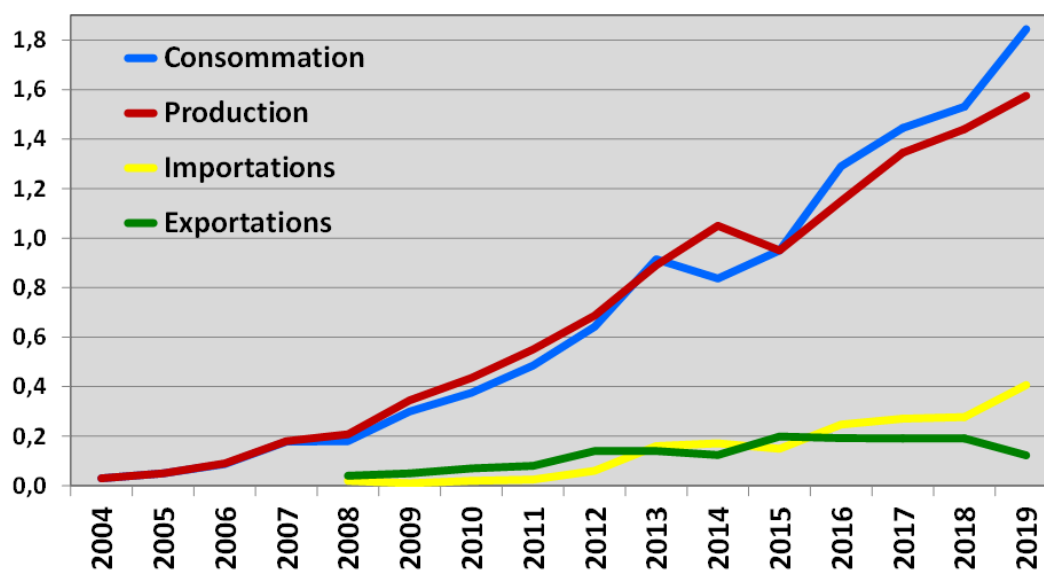
Inventés dans les années 70 aux Etats-Unis, à la suite du premier choc pétrolier, les granulés de bois sont apparus en France entre 1980-1982, produits par une dizaine d'entreprises dont très peu ont survécu au contre-choc pétrolier de 1985-1986. Au début des années 2000, la production nationale était d'environ 15 000 tonnes par an.

En 2019, la production de granulés avoisinait les 1,65 million de tonnes, soit une multiplication par 100 en moins de 20 ans. Depuis 2008, la production évolue de manière quasi linéaire avec en moyenne un accroissement de l'ordre de 125 000 tonnes chaque année.

Les sites de production couvrent une large partie du territoire national (excepté au nord où ils se font plus rares) et sont pour partie adossés à des scieries, qui valorisent ainsi en interne leurs produits connexes. Les régions Bourgogne Franche-Comté, Auvergne Rhône-Alpes et Nouvelle Aquitaine regroupent le plus grand nombre de producteurs.

La totalité de la production de granulés en France est certifiée, à l'exception d'une très faible part issue de petits ou très petits producteurs alimentant des marchés de proximité.

*Évolution de la production et du marché français du granulés de bois (en millions de tonnes)
(source : SNPGB)*



La France présente la particularité d'avoir vu sa consommation et sa production se développer à des rythmes très voisins, le pays restant majoritairement autosuffisant. Les importations (principalement de Belgique mais aussi d'Allemagne, d'Espagne et de pays du Nord-Est de l'Europe) et les exportations (principalement vers l'Italie) permettent d'ajuster l'offre et la demande. Ces dernières années, la croissance de la production montre un léger retard sur celle de la consommation. Plusieurs projets français de nouvelles unités ou d'accroissement de capacités de production sont en cours de développement mais le manque d'incitations à la cogénération dans les scieries françaises limite le développement de nouvelles unités de granulation,

Les granulés importés proviennent d'Europe : la Belgique en fournit la moitié (135 000 tonnes en 2018), suivie de loin par l'Allemagne, l'Espagne et la Russie. Ceci s'explique par le fait que dans les Flandres, une loi, défendue par les industriels de la trituration, interdit la délivrance de certificats verts à l'électricité à base de granulés belges : des granulés nord-américains ou russes sont alors importés pour les centrales thermiques et la production belge est exportée vers les pays voisins. Par ailleurs, la France n'est pas la cible des grands exportateurs mondiaux (USA, Canada, pays baltes), ceux-ci préférant depuis quelques années le marché des grandes centrales thermiques à celui du chauffage domestique.

À l'export, la première destination des granulés français est l'Italie (75 % du marché), suivie de la Suisse (15 %) et de la Belgique (5 %).

La France s'efforce de maintenir une situation d'autosuffisance avec une production qui croît au rythme de la consommation. Pourtant des flux transfrontaliers sont inévitables pour équilibrer les marchés, les différences de prix conjoncturelles entre les pays pouvant également influencer l'import-export.



Carte des producteurs de granulés de bois en France en 2018 (source : SNPGB)



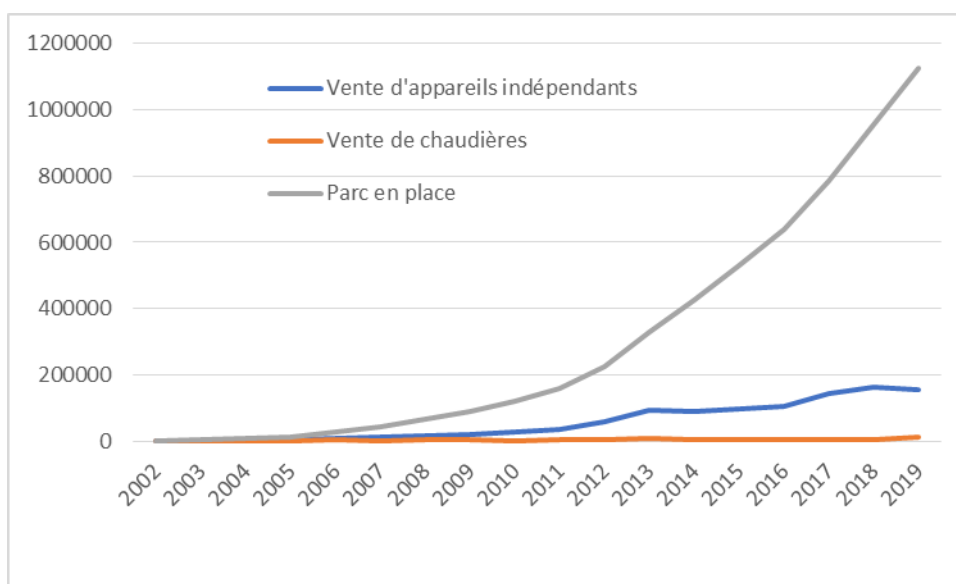
2.2.2. Consommation

2.2.2.1. Chauffage domestique

La production de granulés étant destinée à plus de 90 % au secteur domestique, la croissance du parc d'installations de chauffage utilisant ce combustible chez les particuliers depuis près de 20 ans explique la forte hausse des consommations. Le nombre d'appareils aux granulés vendus est en effet passé de 1 000 en 2002 à près de 172 000 en 2019¹ (87% de poêles, 8 % de chaudières et 5 % de foyers fermés, inserts et cuisinières), contrairement à celui des équipements aux bûches qui diminue depuis 10 ans. Depuis 2018, la majorité des poêles et chaudières vendus, tous combustibles bois confondus, sont aux granulés (les foyers fermés, inserts et cuisinières étant majoritairement aux bûches). **Depuis 2019, plus d'un million de ménages français (1,11) utilisent les granulés pour se chauffer.**

¹ « Suivi du marché 2019 des appareils domestiques de chauffage au bois », ADEME / Observ'ER, 2020

Évolution des ventes et du parc d'appareils de chauffage domestique aux granulés de 2002 à 2019 (source : SNPGB et Propellet d'après ADEME / Observ'ER)



Depuis une quinzaine d'années le granulé s'est imposé comme le combustible bois de référence, notamment dans les constructions neuves et pour les particuliers s'équipant d'un appareil biomasse pour la première fois. La forte progression des ventes de poêles à granulés en France depuis 2016 la singularise au niveau européen, alors que la baisse du prix du pétrole en 2014 a ralenti la croissance du marché dans de nombreux pays. En Italie, la vente de poêles et chaudières n'est plus à ses records mais reste très active (au-dessus de la France). En Espagne, le marché est encore limité mais le développement s'accélère ces dernières années.

2.2.2.2. Chauffage collectif / industriel

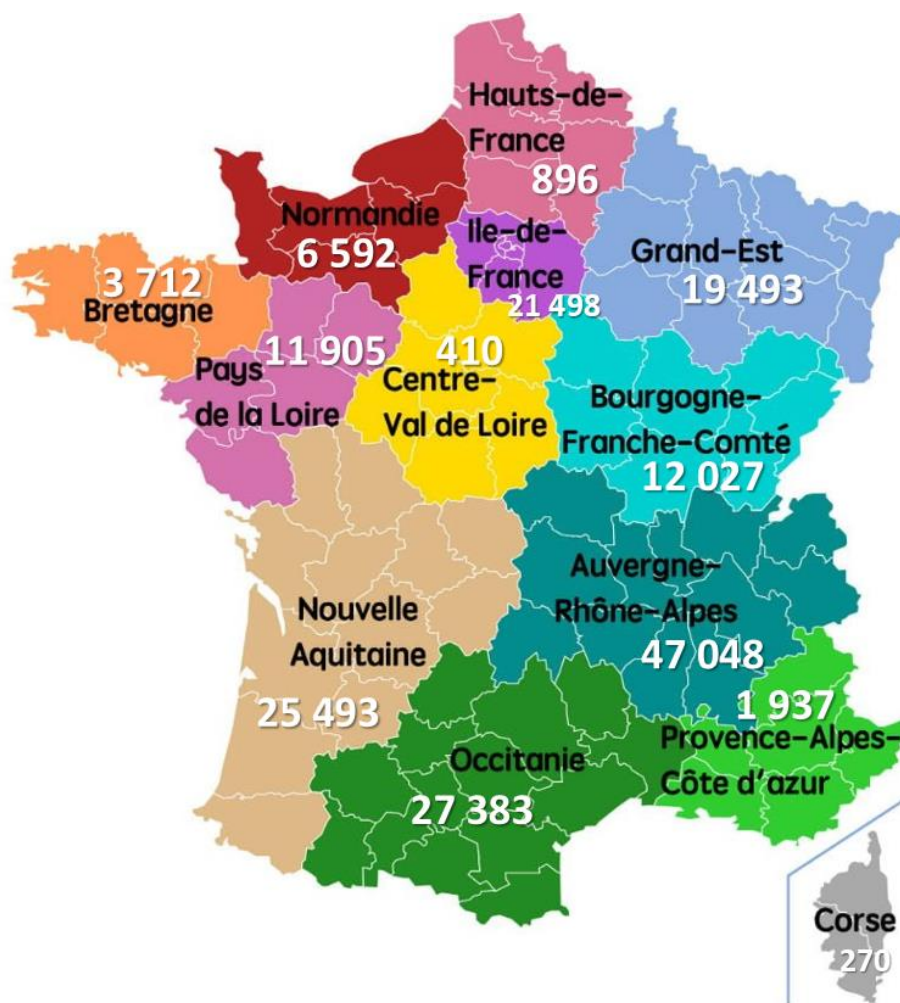
Dans le secteur collectif / industriel, le CIBE recense, en 2018, 1 156 chaufferies de plus de 50 kW aux granulés de bois qui représentent une puissance cumulée de 178 MW. Une installation n'est toutefois pas intégrée dans ce bilan du fait de son caractère très atypique : la chaudière de CPCU (Compagnie parisienne de chauffage urbain), implantée à Saint-Ouen (93), d'une puissance de 250 MW et consommant plus de 100 000 t/an (140 000 t prévues en 2020) de granulés de bois de qualité industrielle, actuellement d'importation.

Hors CPCU, les chaufferies aux granulés représentent 18 % du nombre et 2 % de la puissance des installations bois-énergie de plus de 50 kW. Plus de 90 % des chaudières aux granulés ont une puissance inférieure à 300 kW. La consommation cumulée de granulés s'élève à **70 000 t/an pour le secteur collectif et industriel, ce qui représente de l'ordre de 5 % de la consommation de granulés de bois en France** (il est intéressant de noter qu'au début des années 2000, la situation était très différente : la consommation en granulés des chaufferies collectives, de l'ordre de 12 000 t/an, représentait 80 % de la production annuelle française). À l'échelle mondiale, la consommation de granulés 2019 a dépassé les 40 millions de tonnes, qui se répartissaient en 22 millions de tonnes de qualité industrielle pour la production d'électricité et environ 19 millions de tonnes pour la production de chaleur, chez les particuliers (pour 15 millions de tonnes), ainsi que dans les installations collectives et industrielles (pour 4 millions de tonnes).

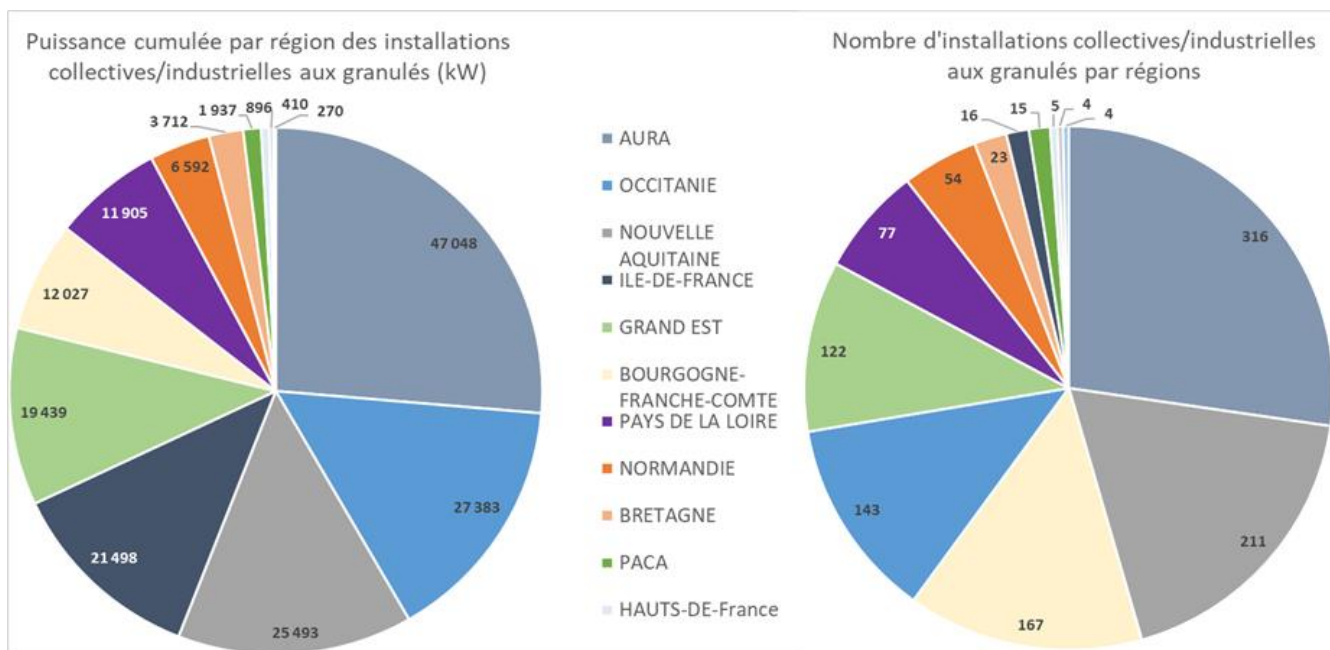
Le recensement effectué par le CIBE ne permet pas à ce jour de distinguer les installations collectives des installations industrielles pour les puissances inférieures à 1 MW. Toutefois, des retours d'animateurs territoriaux indiquent que les chaufferies aux granulés sont à plus de 95 % des installations collectives. Les 5 % restant sont des installations industrielles où le granulé est utilisé pour le chauffage des locaux ou pour la satisfaction des besoins de process (agro-alimentaire essentiellement).



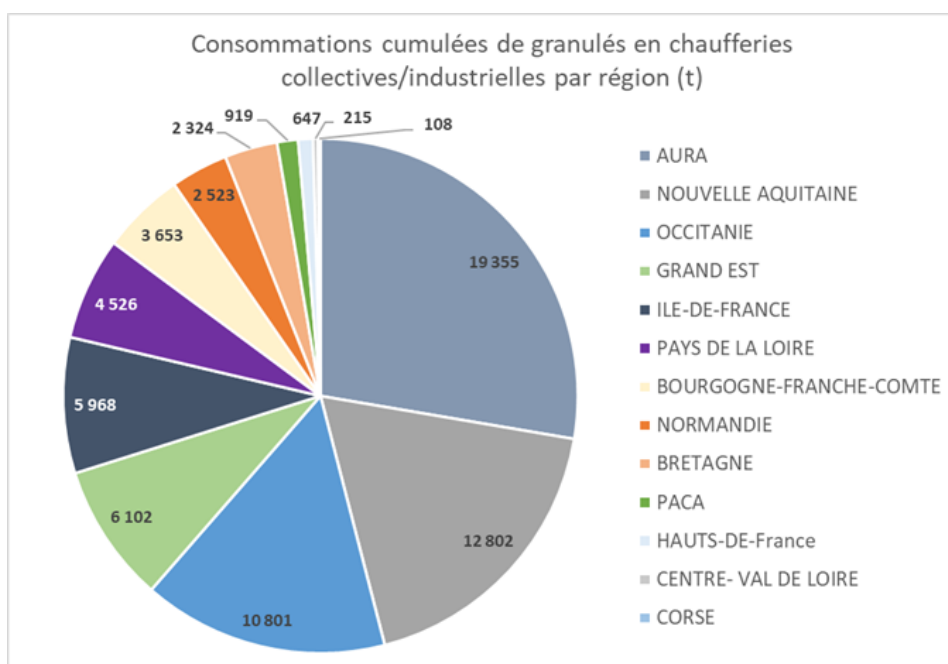
Répartition régionale de la puissance cumulée (en kW) des installations collectives et industrielles aux granulés de bois identifiées par le réseau des animateurs bois-énergie (Source : CIBE - 2019)



Répartition régionale des puissances cumulées (en kW) et du nombre d'installations collectives et industrielles aux granulés de bois identifiées par le réseau des animateurs bois-énergie (source : CIBE)



Répartition régionale de la consommation de granulés de bois par les installations collectives et industrielles identifiées par le réseau des animateurs bois-énergie (source : CIBE)

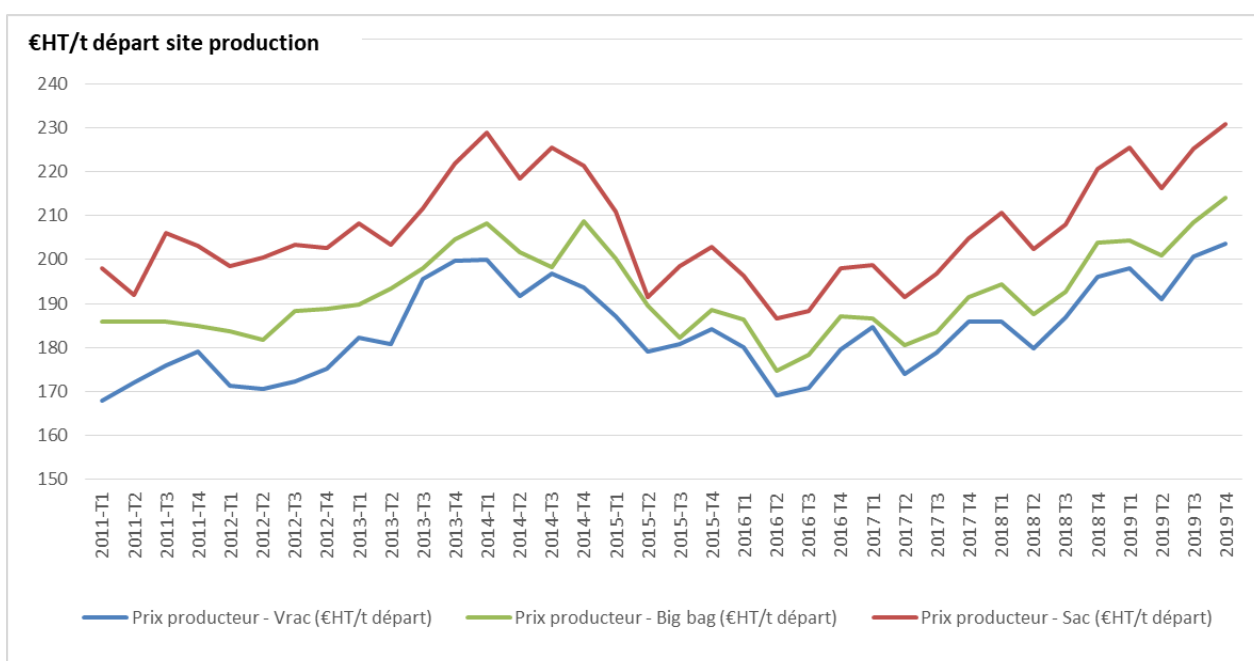


2.3. Prix de vente des granulés de bois

2.3.1. Prix des granulés en sortie d'usine par camion complet

Tous les trimestres, le CEEB (Centre d'études de l'économie du bois) produit une mercuriale du bois-énergie, dans laquelle figurent les prix (HT) et/ou indices d'évolution des prix des combustibles utilisés par les particuliers et les chaufferies collectives et industrielles, au départ de leur site de production (les indices sont mensuels). Les données sont disponibles sur le site du CEEB depuis 2014 (www.ceebois.fr) et sur le site du CIBE depuis 2011 (www.cibe.fr/prix-du-bois-energie).

Prix des granulés en sortie d'usine (source : CEEB)



Sur la période 2011-2019, le prix des granulés en vrac se situe entre 170 et 200 €HT/t départ usine, avec une évolution cyclique entre ces deux valeurs : hausse de 2011 à 2013, baisse de 2014 à 2016, hausse de 2016 à 2019.

2.3.2. Prix des granulés livrés chez le consommateur

Dans ses mercuriales, le CEEB présente également des prix (et les indices associés) payés par le consommateur (TTC) :

- pour les particuliers : granulés en sacs avec enlèvement chez le distributeur par palette complète ;
- pour les particuliers et éventuellement les chaufferies collectives : granulés en vrac livrés par 5 tonnes jusqu'à 50 km.

Il existe une source complémentaire : l'ADEME confie chaque année à CODA Stratégies la réalisation d'une étude sur les prix des combustibles bois, que ceux-ci soient consommés par les particuliers ou les chaufferies collectives (www.ademe.fr/enquete-prix-combustibles-bois-2019). Pour ces dernières, la méthodologie est différente selon les combustibles :

- pour les plaquettes forestières, connexes de scierie, broyats et mélanges : exploitation des données des mercuriales du CEEB ;
- pour les granulés : enquête auprès d'une soixantaine de chaufferies.

L'étude ADEME / CODA Stratégies montre que le prix des granulés livré en chaufferie varie, en moyenne selon la puissance de cette dernière, de 214 à 234 €HT/t pour la saison 2017/2018 et de 231 à 248 €HT/t pour la saison 2018/2019.

La comparaison entre les deux sources de données permet de dégager des enseignements sur :

- l'écart au prix moyen constaté auprès des distributeurs : les chaufferies collectives bénéficient d'une décote de 10 à 20 % selon la puissance de la chaudière (et donc la quantité consommée) et la saison de chauffe ;
- le coût moyen de l'ensemble transport + marge du distributeur : de 30 à 55 €HT/t selon la quantité annuelle livrée et la saison de chauffe.

Prix des granulés pour les chaufferies collectives (source : CIBE d'après CEEB et ADEME / CODA Stratégies)

Puissance chaudière (kW)	Prix ou coût en €HT/t (granulés en vrac)				
	CEEB		ADEME / CODA	Ecart moyen de prix	Coût moyen transport + marge distributeur
	Sortie usine	Entrée chaufferie	Entrée chaufferie	Entrée chaufferie	
	A	B	C	(C-B) / B	C-A
Saison 2017/2018					
< 70			234	-11%	51
70 à 150	183	263	226	-14%	43
150 à 400			219	-17%	36
> 400			214	-19%	31
Saison 2018/2019					
< 70			248	-10%	55
70 à 150	193	276	243	-12%	50
150 à 400			232	-16%	39
> 400			231	-16%	38

Les granulés d'origine agricole

Conçus dans le but de valoriser les co-produits de l'agriculture, les granulés constitués de matières premières d'origine agricole (Miscanthus, paille...) représentent une faible partie des granulés vendus en France. Ces granulés, apparus relativement récemment, sont composés soit à 100 % de matière première herbacée soit d'un mélange avec des sciures de bois.

Ils ont un contenu énergétique moindre que les granulés de bois (en moyenne environ 4 MWh PCI par tonne contre 4,8 pour le bois), génèrent plus de cendres et émettent plus d'oxydes d'azote (à cause de la matière première utilisée). Des additifs sont généralement ajoutés pour la formulation de ces granulés pour limiter la formation de mâchefers et les émissions de monoxyde de carbone. La norme NF EN ISO 17225-6 relative aux « granulés d'origine agricole » définit les matières premières autorisées pour leur fabrication ainsi que leurs caractéristiques physico-chimiques. En s'appuyant sur cette norme, des certifications NF biocombustibles ont été mises en place pour ces « agro pellets » qualité haute performance (A) et qualité industrielle (B).

Principales caractéristiques des « agro pellets » définies dans la norme NF EN ISO 17225-6

Usages	Classes	Humidité	Cendres	Résistance mécanique	Fines	PCI	Azote	Soufre	Chlore	Fusibilité des cendres
		% masse brute	% masse sèche	% masse brute	% masse brute	MJ/kg	% masse sèche			°C
Résidentiel et collectif	A	< 12 %	≤ 6	≥ 97,5	≤ 2,0	≥ 14,5	≤ 1,5	≤ 0,2	≤ 0,1	A mentionner
	B	< 15 %	≤ 10	≥ 96,0	≤ 3,0		≤ 2,0	≤ 0,3	≤ 0,3	
Collectif	Pailles de céréales	< 10 %	≤ 6	≥ 97,5	≤ 1,0	A mentionner	≤ 0,7	≤ 0,1	≤ 0,1	
Industriel	Miscanthus		≤ 4	≥ 97,5			≤ 0,5	≤ 0,05	≤ 0,08	
	Phalaris (roseau)		≤ 8	≥ 96,5			≤ 2,0	≤ 0,2	≤ 0,1	

Le principal marché potentiel des « agro pellets » sont les chaufferies de forte puissance (le réseau du quartier de la Défense – métropole du Grand Paris – devrait en consommer de l'ordre de 30 000 tonnes en 2021). Il peut toutefois être envisageable que des maîtres d'ouvrages souhaitant valoriser une ressource agricole très locale les orientent vers des chaufferies collectives de petite puissance.

Hormis les futures 30 000 tonnes qui seront consommées à la Défense, il n'a pas été possible d'obtenir plus de données sur le marché des « agro pellets » en France.



Les granulés de bois traité thermiquement

Deux technologies de traitement thermique font l'objet de développements depuis de longues années :

- la torréfaction : un traitement « doux » pour éliminer l'eau et casser les fibres de la biomasse pour permettre une meilleure combustion ; l'opération s'effectue par chauffage au four de la biomasse entre 200 et 320 °C ;
- l'explosion à la vapeur (steam explosion) : ce procédé s'opère en deux phases distinctes :
 - o la première, le vapocraquage, implique l'injection de vapeur d'eau sous haute pression dans un réacteur afin qu'elle s'introduise dans la biomasse ; on parle alors de biomasse « mouillée » ;
 - o la seconde étape consiste à faire baisser brutalement la pression, dans le réacteur (procédé par lots) ou en sortie du réacteur (procédé continu), afin que la revaporisation de l'eau, contenue dans la biomasse « mouillée », entraîne l'éclatement de la structure de la biomasse ; cette étape est appelée décompression explosive.

Quelle que soit la technologie utilisée, les avantages attendus d'un traitement thermique sont un broyage facilité grâce à une matière plus friable, un pouvoir calorifique plus important et un stockage en extérieur possible grâce à l'hydrophobicité du combustible (peu de reprise d'humidité). Les granulés de bois traité thermiquement visent à remplacer le charbon dans les centrales thermiques électriques à convertir à la biomasse mais aussi dans de grands réseaux de chaleur.

Principales caractéristiques des granulés de bois traité thermiquement définies dans la norme ISO/TS 17225-8

Granulé de bois torréfié et black pellets ISO/TS 17225-8 (projet)	Catégorie	Humidité	Taux de cendres	PCI	Durabilité	Taux de fines	Chlore
		%m	%m	kWh/t	%m	%m	%m
	TW1	< 10	< 2	> 5600	97,5	< 1	< 0,03
	TW2	< 10	< 5	> 5600	97,5	< 2	< 0,05
	TW3	< 10	< 10	> 5300	96,5	< 2	< 0,1

En France, la production de granulés de bois vapocraqué doit démarrer en 2020, sur le site de l'entreprise Européenne de Biomasse à Pomacle (Marne), avec un objectif de 120 000 tonnes par an. Il n'y a, dans le monde, toujours aucune production industrielle de granulés de biomasse traitée thermiquement

Pour plus d'information, se référer à la synthèse de l'étude ADEME / Hugues de Cherisey « Etat des lieux de la filière des granulés de biomasse torréfiée ou explosée à la vapeur » (www.ademe.fr/etat-lieux-filiere-granules-biomasse-torrefiee-explosee-a-vapeur).

3. Impacts des caractéristiques des granulés et plaquettes de bois

Les granulés et les plaquettes sont des combustibles bois issus d'itinéraires de production distincts et présentant des caractéristiques physico-chimiques différentes. Cet état de fait impacte directement un certain nombre d'aspects énergétiques, techniques, économiques et environnementaux qui doivent nécessairement être pris en compte pour concevoir puis réaliser des installations de combustion répondant de manière optimisée aux besoins de leurs maîtres d'ouvrage.

Cette partie vise donc à apporter un éclairage sur les principales différences entre les granulés et les plaquettes et les conséquences qui en découlent. En aucun cas toutefois il ne s'agit de conclure sur la prééminence de l'un ou l'autre des combustibles, chacun ayant des atouts qu'il lui est possible de faire valoir grâce à la diversité des situations rencontrées sur le terrain.

3.1. Rappel sur les plaquettes de bois

Les plaquettes sont produites par le déchetage de bois issus de deux sources majeures :

- arbres sur pied : bois forestiers, bocagers, urbains et de bords de routes ;
- produits connexes des industries du bois : dosses et délignures, chutes de tronçonnage, chutes courtes de menuiserie.

A l'état brut et livrées en flux tendu, elles ont une forte humidité (à l'exception des plaquettes issues des chutes de menuiserie) mais elles peuvent être stockées et séchées sous abri avant livraison. Leur granulométrie dépend des matériels utilisés et de leurs réglages (déchetuse, crible) et doit être adaptée aux caractéristiques des installations de combustion approvisionnées (systèmes de dessilage et de convoyage, foyer).

Afin de faciliter la caractérisation des produits et la communication entre les différents acteurs de la filière bois-énergie concernés par la production et la fourniture de combustibles, deux outils sont actuellement utilisés.

Le premier regroupe des **référentiels de combustibles développés par l'ADEME** (www.ademe.fr/referentiels-combustibles-bois-energie-lademe). Utilisés dans le cadre de la contractualisation des projets soutenus par le Fonds Chaleur, ils ne constituent en aucune manière des normes mais sont des règles nécessaires au suivi des conventions de financement et permettent de connaître l'origine du gisement du combustible (forêt, bocage, industrie du bois...).

Le second outil est la **classification professionnelle du CIBE** (www.cibe.fr/classification). S'appuyant sur la reconnaissance de la relation classes normatives / type de combustible bois décheté / technologie utilisée, elle a pour objet d'harmoniser les approches régionales et nationale, de simplifier l'utilisation des référentiels et normes en les rendant aisément applicables dans la pratique usuelle, de permettre un meilleur suivi des prix à travers une indexation représentative des catégories de combustibles et de fluidiser l'utilisation contractuelle du bois-énergie.

Enfin, la création récente de la **norme ISO 17225-9 relative aux combustibles bois utilisés dans les chaufferies de taille industrielle**, adaptée au contexte français, vient renforcer les démarches qualité en place.

Dans le cadre de la présente étude sont considérées deux des catégories de combustibles définies dans la classification du CIBE :

- **C1 : produit calibré fin et sec (petites plaquettes), adapté aux chaufferies de petite puissance (moins de 200-500 kW) ;**
- **C2 : produit calibré et ressuyé (plaquettes), adapté aux chaufferies de moyenne puissance (de 300 kW à 2 MW).**

Caractéristiques comparées des granulés et plaquettes de bois (source : CIBE)

	Taux d'humidité (% sur masse brute)	Pouvoir calorifique (MWhPCI/t)	Densité (t/m ³ apparent)	Densité énergétique (MWhPCI/m ³ apparent)
Granulés	8	4,8	0,70	3,36
Plaquettes de type C1	25	3,7	0,25	0,93
Plaquettes de type C2	35	3,1	0,30	0,93



Les mercuriales du CEEB (Centre d'études de l'économie du bois) fournissent, chaque trimestre, les indices d'évolution des prix des combustibles bois de types plaquettes / broyats suivant la classification établie par le CIBE. Les données sont disponibles sur le site du CEEB depuis 2014 (www.ceebois.fr) et sur le site du CIBE depuis 2011 (www.cibe.fr/prix-du-bois-energie). Le recours aux deux types C1 et C2 permet donc de disposer également d'éléments économiques qui seront utilisés dans les simulations.

3.2. Aspects techniques

3.2.1. Impacts liés à la densité énergétique

La forte densité énergétique des granulés permet d'envisager deux types d'impacts en comparaison des plaquettes, les situations réelles relevant en général d'une combinaison de ceux-ci :

- **pour une autonomie de l'installation équivalente : le volume de stockage est trois à quatre fois moindre, ce qui réduit fortement l'emprise au sol et le génie civil lié au silo** (d'autant que les granulés peuvent, pour les faibles puissances, être stockés dans des silos textiles) ;
- **pour un volume de stockage identique : le nombre de livraisons se trouve réduit, ce qui limite les contraintes et risques liés à la circulation des camions.**

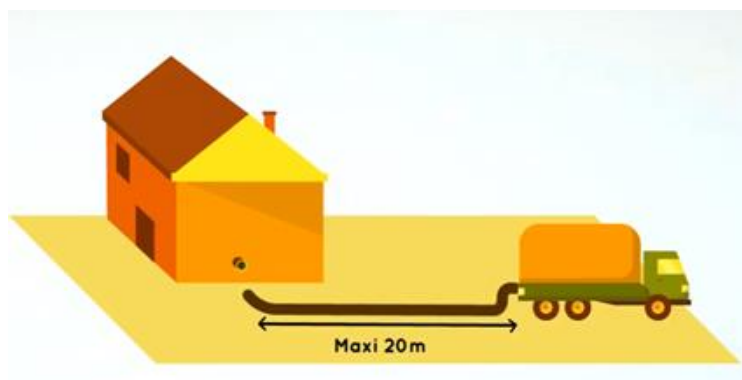
*Stockage des granulés : silo textile (à gauche) et silo maçonné attenant à la chaufferie (à droite)
(source : Propellet)*



3.2.2. Impacts liés à l'homogénéité

La petite taille régulière des granulés leur assure une fluidité telle qu'il est possible de les véhiculer aisément par suspension dans un flux d'air. **Leur livraison en chaufferie peut ainsi être effectuée par des camions souffleurs, qui ont l'avantage de pouvoir réaliser leur déchargement de manière déportée par rapport au silo de stockage**, des tuyaux souples assurant la liaison entre le camion et la bouche d'entrée du silo (distance maximale de l'ordre de 20 mètres). La granulométrie plus grossière et moins régulière des plaquettes n'autorise pas, sauf rare exception, une livraison par voie pneumatique : les camions benne (ampliroll ou fond mouvant) doivent nécessairement être accolés au silo pour déverser le combustible et requièrent une surface suffisante sur le site de la chaufferie pour manœuvrer. Les granulés peuvent également être livrés par camions benne mais cette solution ne s'observe, selon l'étude ADEME / CODA Stratégies, que dans 4 % des cas et uniquement pour des chaufferies de forte taille.

Livraison de granulés de bois par camion souffleur (source : Propellet)



Les granulés présentent une plus grande homogénéité (granulométrie, taux d'humidité) que les plaquettes, ce qui permet d'une livraison à l'autre mais aussi au sein de la même livraison, ce qui permet :

- un système d'alimentation automatique moins volumineux et un foyer potentiellement plus compact : l'encombrement de la chaudière est alors moindre ;
- une régulation plus fine de la combustion avec notamment un fonctionnement possible à faible taux de charge (de l'ordre de 10-15 % de la puissance nominale contre 25-30 % pour les plaquettes) ainsi qu'un risque plus faible de pannes (en particulier celles liées au dessilage ou au convoyage du combustible) : la disponibilité de l'installation aux granulés est donc plus importante, autorisant un plus fort taux de couverture des besoins par le bois et un moindre recours à l'énergie fossile d'appoint.

3.3. Aspects économiques

3.3.1. Coût d'investissement

Les investissements à consentir pour la construction d'une chaufferie aux granulés sont généralement inférieurs à ceux à engager pour une chaufferie aux plaquettes, à puissance installée équivalente. Cette différence, parfois notable, est due :

- à l'emprise globale de la chaufferie et du silo, plus faible pour les installations aux granulés ; à noter que dans certains cas, particulièrement pour les faibles puissances, les équipements (y compris le silo) peuvent être intégrés dans un bâtiment existant, limitant ainsi très fortement les coûts de génie civil ;
- à la plus grande simplicité des matériels de production d'énergie, de désilage et de convoyage du combustible, du fait de l'homogénéité du combustible.

3.3.2. Coût d'exploitation

La simplicité des installations aux granulés et leur plus grande disponibilité permet de réduire les coûts d'exploitation, à la fois sur le personnel, le remplacement des pièces et l'énergie fossile d'appoint.

3.3.3. Coût du combustible bois

Par contre, le granulé étant un combustible plus manufacturé que le bois déchiqueté, son coût ramené à l'unité énergétique est sensiblement plus élevé que celui des plaquettes.

On notera que deux taux de TVA peuvent être appliqués aux combustibles bois (plaquettes et granulés) :

- une TVA à taux réduit (10 %) si le combustible est facturé à l'utilisateur final de la chaleur ; c'est le cas de figure considéré dans l'ensemble des simulations conduites dans le cadre de la présente étude ;
- une TVA à taux plein (20 %) si le combustible est fourni dans le cadre d'une prestation de service (contrat de type P1).

3.3.4. Coût global de la chaleur

Lorsque l'on raisonne en coût global de la chaleur (c'est-à-dire en cumulant l'ensemble des coûts précédemment évoqués) on constate que :

- les coûts d'investissement et d'exploitation sont moindres pour les granulés que pour les plaquettes pour une même puissance installée ;
- le coût des granulés est supérieur à celui des plaquettes pour une même quantité d'énergie consommée.



Il en ressort qu'il existe des binômes « puissance de la chaudière bois » et « production annuelle d'énergie à partir du bois » pour lesquels le coût global de la chaleur est identique pour les granulés et les plaquettes. Dans ce cas, deux situations sont possibles :

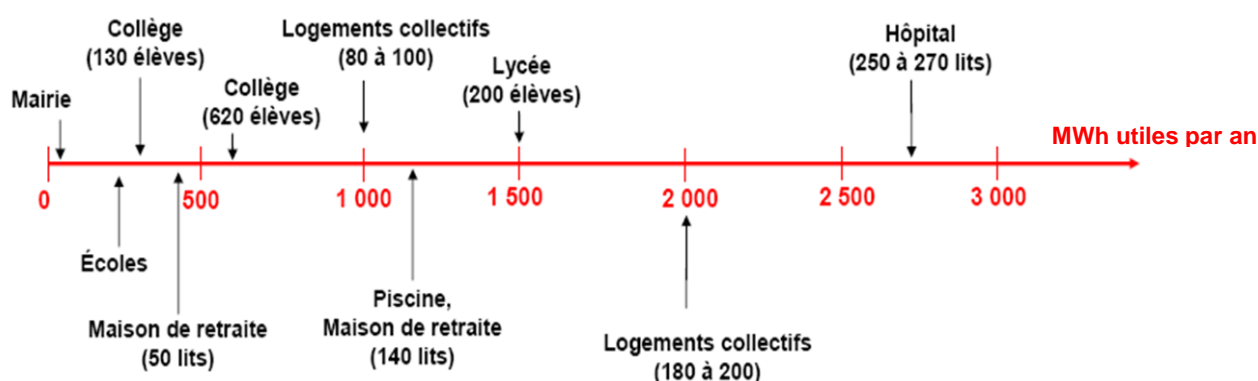
- pour la puissance concernée, la solution granulés sera compétitive si la consommation de combustible est moindre que celle requise pour ce point d'équilibre ;
- pour la production d'énergie concernée, la solution granulés sera compétitive si la puissance de la chaudière est plus élevée que celle requise pour ce point d'équilibre.

Ces deux possibilités peuvent être réunies en une en prenant en compte le rapport « production / puissance », qui définit un nombre d'heures de fonctionnement à équivalent pleine puissance au-delà duquel la chaleur produite par les plaquettes est plus compétitive que celle produite à partir des granulés et en-deçà duquel ce sont à l'inverse les granulés qui permettent d'obtenir le plus faible coût de chaleur.

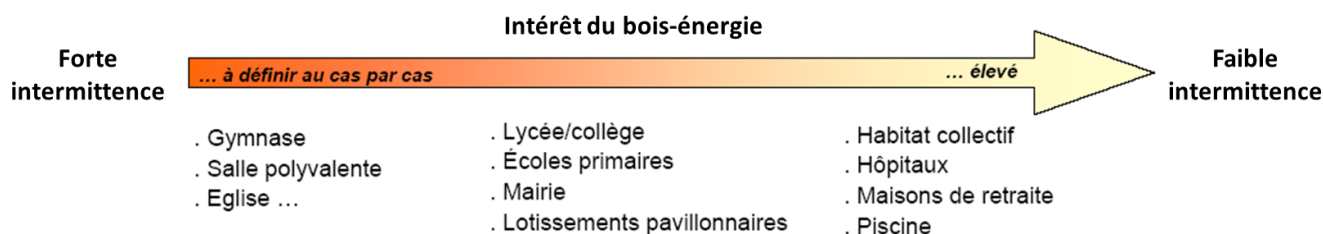
Le rapport production / puissance est intimement lié au profil des besoins thermiques du bâtiment chauffé et reflète le degré d'intermittence d'usage de la chaleur : plus les besoins sont constants dans le temps, moindre est l'intermittence et plus le nombre annuel d'heures de fonctionnement à équivalent pleine puissance est élevé. Ce dernier sera ainsi élevé pour les établissements sanitaires (hôpitaux, maisons de retraite... qui ont une longue saison de chauffe), plus faible pour le résidentiel collectif (saison de chauffe de mi-octobre à mi-mai) et encore plus faible pour les établissements scolaires (pas de chauffage pendant les week-ends et les vacances).

Pour les bâtiments peu consommateurs ou dont l'intermittence d'usage est forte, le surcoût d'investissement des installations aux plaquettes n'est pas compensé par les économies sur l'achat de combustible et la solution aux granulés devient alors plus intéressante.

Ordres de grandeur de consommation annuelle d'énergie (source : Biomasse Normandie)



Intermittence d'usage et intérêt du bois-énergie (source : Biomasse Normandie)



3.4. Aspects environnementaux

Les granulés et les plaquettes sont des combustibles issus de la biomasse et présentent de ce fait les atouts liés à l'utilisation de cette dernière (énergie renouvelable bas-carbone...).

L'objectif de ce paragraphe est d'aborder l'élément différenciant majeur que sont les itinéraires de production / livraison / combustion des granulés et des plaquettes et en particulier l'impact en matière de **bilan énergétique**.

Pour effectuer la comparaison entre les combustibles (granulés, plaquettes de type C1, plaquettes de type C2), il est déterminé la quantité d'énergie utile disponible en sortie chaudière pour une tonne de bois vert

transformé (taux d'humidité de 50 %), déduction faite des consommations et pertes d'énergie tout au long de la chaîne (en particulier pour le séchage, qu'il s'agisse d'un séchage naturel des plaquettes en tas avec perte de matière anhydre ou d'un séchage forcé des sciures avant granulation avec consommation de combustible).

Pour les **plaquettes de type C1** :

- la consommation de carburant pour l'abattage, le débardage, le déchiquetage, le criblage et le transport représente de l'ordre de 6 litres (soit 0,06 MWhPCI) par tonne de bois vert transformée ;
- le séchage des plaquettes en tas et le criblage occasionnent une perte de matière correspondant à environ 20 % de la masse anhydre (respectivement de l'ordre de 10-15 % et 5-10 %).

Pour une tonne de bois vert transformée, il est ainsi livré en chaufferie 0,53 tonne de plaquettes à 3,7 MWhPCI/t soit 1,97 MWhPCI. Après déduction de la consommation de carburant, on obtient une énergie nette entrée chaudière de 1,91 MWhPCI soit, avec un rendement moyen de combustion de 82 %, 1,57 MWh en sortie chaudière.

Le criblage n'est toutefois pas systématique. Lorsqu'il n'est pas effectué, il est livré en chaufferie 0,58 tonne de plaquettes à 3,7 MWhPCI/t soit 2,15 MWhPCI. Après déduction de la consommation de carburant, on obtient une énergie nette entrée chaudière de 2,09 MWhPCI soit, avec un rendement moyen de combustion de 82 %, 1,71 MWh en sortie chaudière.

En faisant l'hypothèse que le criblage est réalisé sur 50 % des plaquettes, on obtient en moyenne 1,64 MWh en sortie chaudière.

Pour les **plaquettes de type C2**, la consommation de carburant pour l'abattage, le débardage, le déchiquetage et le transport représente de l'ordre de 6 litres (soit 0,06 MWhPCI) par tonne de bois vert transformée. La perte d'humidité est obtenue par ressuyage des perches / rondins avant broyage, ce qui ne nécessite aucune consommation d'énergie, que ce soit sous la forme de perte de matière anhydre ou de combustible sous chaudière. Pour une tonne de bois vert transformée, il est ainsi livré en chaufferie 0,77 tonne de plaquettes à 3,1 MWhPCI/t soit 2,38 MWhPCI. Après déduction de la consommation de carburant, on obtient une énergie nette entrée chaudière de 2,32 MWhPCI soit, avec un rendement moyen de combustion de 82 %, 1,90 MWh en sortie chaudière.

Pour les **granulés** (il est considéré que les sciures sont granulées sur leur site de production) :

- l'opération de séchage consomme de l'ordre de 1,4 MWhPCI par tonne d'eau évaporée (source FBF / SNPGB / FCBA 2012) soit 0,64 MWhPCI par tonne verte ;
- la granulation consomme 0,16 MWh d'électricité par tonne anhydre (source FBF / SNPGB / FCBA 2012) soit 0,08 MWh par tonne verte ;
- la consommation de carburant pour la livraison en chaufferie est estimée à environ 1,5 litre par tonne de granulés livrée soit environ 3 litres (soit 0,03 MWhPCI) par tonne verte.

Pour une tonne de bois vert transformée, il est ainsi livré en chaufferie 0,54 tonne de granulés à 4,8 MWhPCI/t soit 2,61 MWhPCI. Après déduction des consommations d'énergie pour la production et la livraison, on obtient une énergie nette entrée chaudière de 1,86 MWhPCI soit, avec un rendement moyen de combustion de 87 %, 1,62 MWh en sortie chaudière.

Si les granulés sont produits à partir de rondins, il convient de considérer la consommation de carburant et d'électricité pour l'ensemble des opérations supplémentaires nécessaires (abattage, débardage, transport, écorçage et double broyage) ; celle-ci peut vraisemblablement être estimée à environ 0,10-0,12 MWh par tonne verte. Pour une tonne de bois verte transformée, on obtient ainsi une énergie nette entrée chaudière de 1,75 MWhPCI soit 1,52 MWh en sortie chaudière. Toutefois, étant donnée la faible quantité de rondins utilisés pour la production de granulés en France, ce chiffre n'est pas retenu pour la suite.

En synthèse, l'énergie obtenue en sortie chaudière pour une tonne de bois vert transformé est, déduction faite des consommations de carburant, de combustible et/ou d'électricité :

- **1,62 MWh pour les granulés ;**
- **1,64 MWh pour les plaquettes de type C1 ;**
- **1,90 MWh pour les plaquettes de type C2.**

Les granulés et les plaquettes de type C1 présentent un bilan énergétique équivalent : de ce point de vue, l'utilisation de l'un ou l'autre des combustibles se vaut. Il est à noter que les consommations d'énergie pour le séchage (utilisation d'un combustible pour les granulés et perte de matière anhydre pour les plaquettes) combinées aux rendements des installations de combustion sont in fine quasi identiques pour les deux combustibles bois.

Par contre, le bilan énergétique des plaquettes de type C2 est de 17 % supérieur à celui des granulés, en particulier du fait que le séchage s'effectue de manière naturelle (donc sans consommation d'énergie) et sans perte de matière anhydre. **Il est toutefois à noter que les plaquettes de type C2 sont adaptées aux chaudières de plus de 300 kW : relativement peu d'installations aux granulés dépassent cette puissance et l'arbitrage entre les deux combustibles reste donc occasionnel.**



4. Articulation granulés / plaquettes en chaufferie dédiée

Les installations aux granulés sont quasi exclusivement des chaufferies dédiées, c'est-à-dire desservant un seul bâtiment ou un ensemble de bâtiments appartenant au même maître d'ouvrage.

L'objectif de cette partie est, d'une part, d'appréhender les principaux critères pris en compte lors de l'étude des projets de chaufferies aux granulés et ainsi la logique qui préside à leur réalisation et, d'autre part, d'effectuer des simulations afin de définir les situations économiquement favorables pour ces installations aux granulés.

4.1. Logique présidant à la réalisation des chaufferies dédiées aux granulés de bois

Les animateurs bois-énergie et ingénieurs de bureaux d'études interrogés ont mentionné, qu'à l'occasion de l'accompagnement des maîtres d'ouvrage pour une installation biomasse (dans le cadre de notes d'opportunité pour les premiers et d'études de faisabilité pour les seconds), **ils étudient en parallèle les solutions plaquettes et granulés**. Il est toutefois possible qu'une seule des solutions soit étudiée lorsque la puissance est trop élevée pour les granulés ou à l'inverse trop faible pour les plaquettes : ces niveaux de puissance sont toutefois variables selon les territoires (rigueur climatique, prix des combustibles disponibles localement...) et leur appréciation fait appel à l'expertise de l'animateur ou de l'ingénieur.

La possibilité de recourir à des plaquettes ou à des granulés est ainsi bien souvent introduite par les structures d'animation ou les bureaux d'études auprès des maîtres d'ouvrage. Ces derniers ont généralement le souhait que du bois soit utilisé, à l'exception notable de ceux qui veulent valoriser une ressource locale afin de dynamiser le territoire ; c'est dans ce cas en grande majorité des plaquettes forestières ou bocagères (pour les chaufferies de faible puissance, il est impératif que les plaquettes soient d'une qualité irréprochable en termes de granulométrie et taux d'humidité sinon il est préférable d'utiliser des granulés), mais cela peut être des granulés si une unité de production se situe à proximité.

Dans le cadre de la comparaison à une énergie fossile, un propos systématique est tenu : **il y a peu de chaudières collectives aux granulés dans les secteurs desservis par le gaz naturel**. En effet, le faible différentiel de prix des combustibles (majoritairement en faveur des granulés, mais il se trouve que ces derniers sont parfois plus chers que le gaz) permet difficilement l'amortissement de l'investissement. **Face au fioul domestique ou au propane, les installations aux granulés sont, au contraire, compétitives**. D'une manière générale toutefois, ce constat de non-compétitivité face au gaz naturel et de compétitivité face au fioul ou au propane vaut tout autant pour les installations aux plaquettes.

Dans le cadre de la comparaison avec les plaquettes, deux éléments d'ordre technique sont regardés en priorité :

- **la superficie du site pressenti pour accueillir la chaufferie** ; si elle n'est pas suffisante pour implanter une chaudière à plaquettes et son silo de stockage, la solution granulés est la seule possibilité ;
- **l'accessibilité du site aux camions de livraison** ; si les camions transportant les plaquettes ne peuvent pas se positionner contre le silo pour assurer un déchargement dans de bonnes conditions (aire de manœuvre sur site trop exigüe, configuration des bâtiments alentour empêchant l'accès), la solution granulés est quasiment la seule envisageable grâce à la livraison par camion souffleur (les plaquettes peuvent parfois être livrées ainsi mais cela est très rare).

Deux autres critères sont également à prendre en considération car susceptibles d'orienter le choix, sans nécessairement remettre en cause l'une ou l'autre des options :

- **les moyens dont le maître d'ouvrage dispose pour assurer l'exploitation de l'installation** ; lorsque cette dernière utilise des plaquettes, elle requiert plus de compétences et nécessite des visites quotidiennes alors qu'une chaudière aux granulés est plus simple à conduire, avec un passage hebdomadaire ; si le maître d'ouvrage ne dispose pas en interne du personnel pour l'exploitation d'une chaudière à plaquettes, il lui faut opter pour un contrat d'exploitation avec une entreprise spécialisée ou faire le choix d'une installation aux granulés ;
- **l'analyse en coûts différenciés investissement / fonctionnement** pour les maîtres d'ouvrage qui adoptent ce raisonnement ; cette situation semble a priori relativement rare mais il importe de savoir l'identifier car selon les préférences ou obligations du maître d'ouvrage, la décision peut être infléchie vers la solution plaquettes ou la solution granulés.

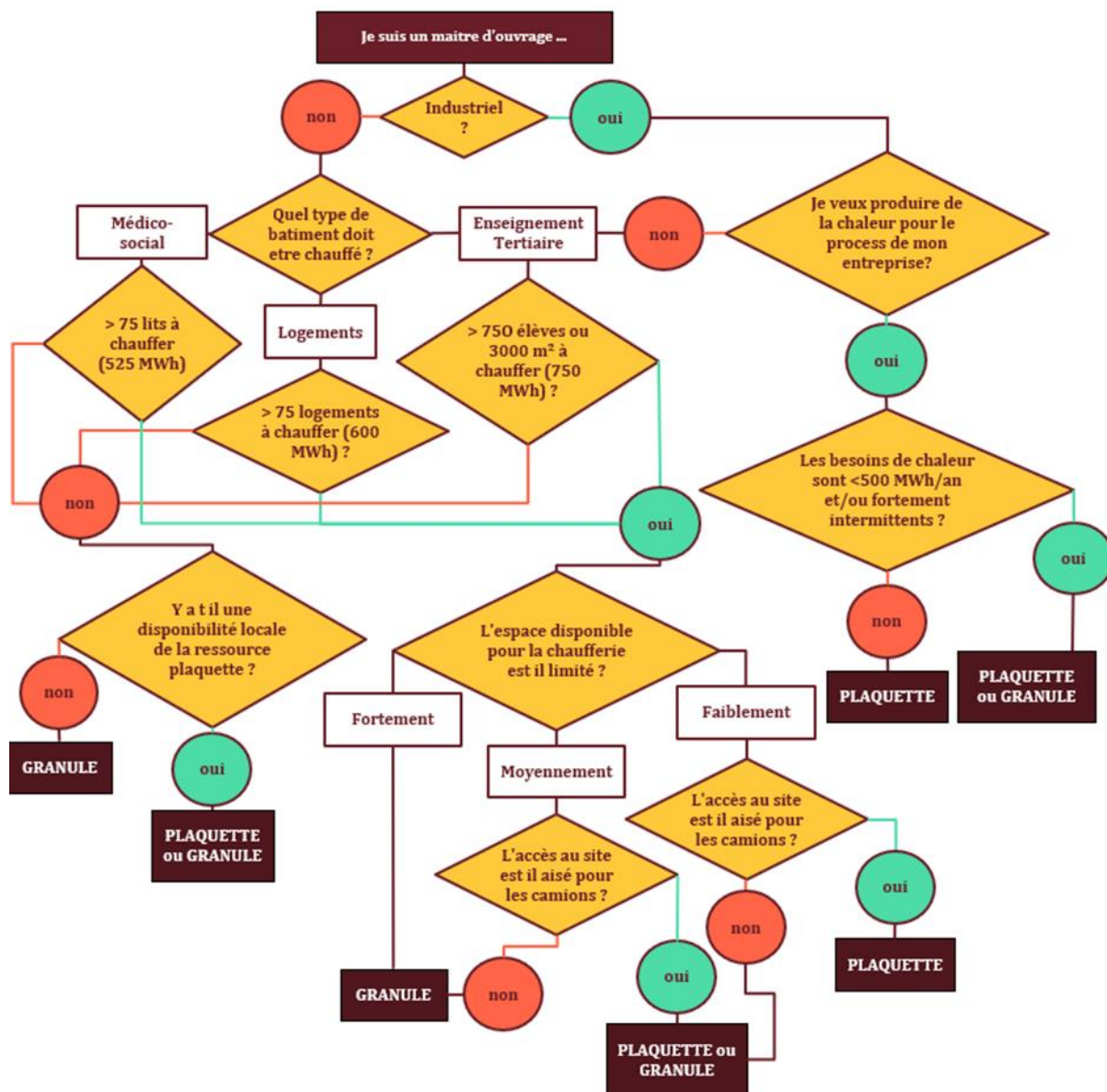
Vient enfin l'analyse économique en coût global, qui est dans la grande majorité des cas décisive pour le choix du maître d'ouvrage. C'est à ce stade qu'apparaît la notion d'intermittence d'usage de la chaleur, considérée à l'échelle de l'année par la prise en compte des variations hebdomadaires et saisonnières et caractérisée par le rapport entre la chaleur annuelle produite par le bois et la puissance de la chaudière bois. Il ne s'agit donc pas des variations d'appels de puissance au cours d'une journée (que ce soit pour le chauffage ou l'eau chaude sanitaire) car ces dernières sont aisément absorbées grâce à la mise en place d'un ballon d'hydro-accumulation, pour les installations aux plaquettes comme aux granulés. Les experts interrogés constatent que **la**

majorité des installations aux granulés ont une puissance inférieure à 150-200 kW (la plage observable pouvant aller jusqu'à 400 kW voire 500 kW) et que leur pertinence vis-à-vis des installations aux plaquettes augmente avec l'intermittence d'usage des bâtiments.

Dans le milieu industriel, l'intérêt économique d'un projet s'évalue généralement en temps de retour brut sur investissement plutôt qu'en coût global de l'énergie. Ce mode de raisonnement simple, qui présente certaines limites, favorise les solutions techniques présentant des surcoûts d'investissement faibles (granulés) face aux solutions techniques coûteuses en investissement, même si ces dernières présentent un gain plus sensible sur les coûts de fonctionnement (plaquettes). **Une installation aux granulés présentera un meilleur temps de retour brut sur investissement qu'un projet plaquettes**, dans des hypothèses de faibles variations des prix des deux combustibles autour de leurs valeurs récentes, et pour des besoins énergétiques faibles.

Les échanges avec les structures d'animation et les bureaux d'études ont permis d'élaborer un **arbre de décision** permettant de distinguer les situations pertinentes pour l'installation de chaufferies plaquettes ou granulés (cf. ci-dessous). Les besoins thermiques qui y sont mentionnés sont des ordres de grandeur qu'il convient de mettre en perspective en fonction des caractéristiques réelles des bâtiments et de la rigueur climatique de la zone concernée par le projet.

Arbre de décision permettant de distinguer les situations pertinentes pour l'installation de chaufferies plaquettes ou granulés (source : CIBE)



Enfin, il est à noter que **le fractionnement de la puissance en plusieurs chaudières est courant pour les installations aux granulés**. Du fait d'une puissance minimale autorisée plus faible que pour une chaudière unique, cette configuration permet de couvrir une plus grande part des besoins thermiques par le bois (y compris les besoins d'eau chaude sanitaire l'été), éventuellement jusqu'à 100 % c'est-à-dire sans recourir à une énergie fossile en appoint ; le coût global de la chaleur 100 % granulés y sera quasi-équivalent à celui obtenu par la conservation d'une faible part (10 %) d'énergie fossile en appoint. Cette dernière possibilité suppose toutefois que la somme des puissances des chaudières aux granulés soit supérieure à la puissance maximale appelée par grand froid.

4.2. Zones de pertinence technico-économique des chaufferies dédiées aux granulés de bois

Cette phase de l'étude consiste à déterminer la pertinence économique des installations aux granulés de bois par rapport aux plaquettes et aux énergies fossiles, grâce à la réalisation de simulations.

4.2.1. Objectifs de l'analyse technico-économique

A la lumière des éléments précédents, un maître d'ouvrage pourra faire le choix d'une chaufferie collective aux granulés :

- dans un **objectif environnemental**, face aux énergies fossiles concurrentes ;
- du fait d'une **configuration technique de l'existant** n'autorisant pas la mise en œuvre d'une chaufferie aux plaquettes (foncier disponible réduit, difficulté d'accès pour la livraison du combustible, nécessité d'intégrer les éléments à une chaufferie existante...);
- afin de privilégier une technologie exigeant **moins de main-d'œuvre** que les plaquettes pour l'exploitation quotidienne des installations ;
- afin de **limiter les rotations** et/ou la taille des camions de livraison de combustibles.

Dans la plupart des cas, cependant, trois solutions techniques pourront être envisagées : une chaufferie aux énergies fossiles, une chaufferie aux granulés et une chaufferie aux plaquettes. C'est alors souvent le **critère économique** qui orientera le maître d'ouvrage dans ses choix.

Le développement du chauffage collectif aux granulés dépend de la pertinence de solutions techniques performantes, et surtout de **la compétitivité de la chaleur produite**. Pour justifier cette compétitivité, il est nécessaire que tous les acteurs de la filière, depuis les fabricants du produit jusqu'aux exploitants des futures chaufferies, connaissent dans le détail les propriétés spécifiques et les avantages comparatifs des solutions utilisant le granulé de bois et dans quelles situations celui-ci peut être utilisé.

L'objectif de cette partie est de clarifier les conditions économiques de montage des projets de chauffage collectif aux granulés, afin notamment de **définir des cibles potentielles adaptées** au développement du chauffage collectif aux granulés, en répondant aux interrogations suivantes : comment se positionnent les granulés au plan économique face aux plaquettes et aux énergies fossiles et dans quelles configurations le chauffage collectif aux granulés est-il particulièrement adapté ?

4.2.2. Méthodologie et outils développés

4.2.2.1. Données sources et principales hypothèses pour les simulations

4.2.2.1.1. Le chauffage aux énergies fossiles

Les hypothèses relatives aux coûts d'investissement et d'exploitation (hors combustible) relatifs à une chaufferie dédiée utilisant une énergie fossile sont issues de l'étude « granulés 2011 »², actualisées pour obtenir des valeurs 2018.

Le rendement annuel d'une installation à énergie fossile est considéré égal à 85 %, ce qui correspond au cas où l'équipement remplacé est une ancienne chaudière et non à la comparaison avec une chaudière gaz à condensation neuve³.

² « Perspectives d'usage des granulés de bois comme combustible dans les secteurs collectif, tertiaire et industriel », ADEME / DRAAF Pays-de-la-Loire / SNPGB / CIBE, 2011

³ Les simulations sont effectuées pour des bâtiments existants et le granulé est donc comparé à la solution en place permettant d'assurer le chauffage : le combustible fossile peut être du fioul, du gaz naturel ou du propane, et la chaudière est relativement ancienne et sans condensation, avec un rendement annuel moyen considéré égal à 85 %. Dans le cas d'une première installation d'un équipement de chauffage (bâtiments neufs), la comparaison devrait être faite avec une chaudière à condensation au gaz naturel ou au propane, avec un rendement pouvant excéder 90 %.

**Coûts d'investissement et d'exploitation pour une chaufferie dédiée utilisant une énergie fossile –
Hypothèses utilisées pour les simulations**

Puissance (kW)	Coûts d'investissement (€HT/kW)	Coûts d'exploitation (€HT/kW)	
		Conduite et entretien courant (P2)	Gros entretien et renouvellement (P3)
100	57,5	13,6	4,8
200	50,0	12,2	4,3
300	46,1	11,4	4,0
400	43,5	10,9	3,8
500	41,6	10,5	3,7
600	40,1	10,2	3,6
700	38,9	10,0	3,5
800	37,9	9,7	3,4
900	37,0	9,6	3,3
1 000	36,2	9,4	3,3

Lorsque les simulations sont conduites avec un prix variable pour les combustibles fossiles, la plage de variation considérée est 50 à 120 €TTC/MWhPCI, en cohérence avec les variations observées ces dernières années (le gaz naturel se situe dans la partie basse de cette plage, le fioul domestique dans la partie centrale et le propane dans la partie haute).

Lorsque les simulations font appel au gaz naturel et au fioul domestique, les prix retenus sont respectivement 55 et 95 €TTC/MWhPCI, qui sont approximativement les moyennes mentionnées pour l'année 2018 dans les statistiques du Ministère de la transition écologique et solidaire (catégorie industrie I2 pour le gaz naturel et tarif C1 pour le fioul domestique).

4.2.2.1.2. Le chauffage aux plaquettes de bois

Les hypothèses relatives aux coûts d'investissement et d'exploitation (hors combustible) d'une chaufferie dédiée utilisant des plaquettes sont issues de l'étude « ADEME / Kalice / Biomasse Normandie 2015 »⁴, actualisées pour obtenir des valeurs 2018.

Le rendement annuel d'une installation à plaquettes est considéré égal à 82 % et le taux de couverture des besoins par le bois est de 85 %.

**Coûts d'investissement et d'exploitation pour une chaufferie dédiée utilisant des plaquettes –
Hypothèses utilisées pour les simulations**

Puissance (kW)	Coûts d'investissement (€HT/kW)	Coûts d'exploitation (€HT/kW)	
		Conduite et entretien courant (P2)	Gros entretien et renouvellement (P3)
100	1 640	47,4	23,0
200	1 412	37,7	19,8
300	1 294	33,0	18,1
400	1 216	30,1	17,0
500	1 158	27,9	16,2
600	1 114	26,3	15,6
700	1 077	25,0	15,1
800	1 047	24,0	14,7
900	1 020	23,0	14,3
1 000	997	22,3	14,0

Pour le combustible, il a été considéré deux types de plaquettes : catégorie C1 lorsque la chaudière bois produit moins de 1.200 MWh/an et catégorie C2 lorsqu'elle en produit plus.

⁴ « Etude des coûts d'investissement et d'exploitation associés aux installations biomasse énergie des secteurs collectif et industriel », ADEME / Kalice / Biomasse Normandie, 2015



Les prix suivants ont été retenus :

- catégorie C1 (pouvoir calorifique : 3,7 MWhPCI/t) :
 - o prix départ producteur : 79,1 €HT/t (moyenne CEEB 2018) soit 23,5 €TTC/MWhPCI ;
 - o livraison : 22,8 €HT/t (étude ADEME / CODA Stratégies - prix des combustibles 2017-2018) soit 6,8 €TTC/MWhPCI ;
- catégorie C2 (pouvoir calorifique : 3,1 MWhPCI/t) :
 - o prix départ producteur : 58,1 €HT/t (moyenne CEEB 2018) soit 20,6 €TTC/MWhPCI ;
 - o livraison : 12,7 €HT/t (étude ADEME / CODA Stratégies - prix des combustibles 2017-2018) soit 4,5 €TTC/MWhPCI.

4.2.2.1.3. *Le chauffage aux granulés de bois*

Les hypothèses relatives aux coûts d'investissement et d'exploitation (hors combustible) d'une chaufferie dédiée utilisant des granulés sont principalement issues des données recueillies pour les cas référents⁵, actualisée pour obtenir des valeurs 2018. Elles ont été complétées par quelques éléments fournis par des constructeurs / fournisseurs d'équipements.

Le rendement annuel d'une installation à granulés est considéré égal à 87 % et le taux de couverture des besoins par le bois est de 90 %.

Coûts d'investissement et d'exploitation pour une chaufferie dédiée utilisant des granulés – Hypothèses utilisées pour les simulations

Puissance (kW)	Coûts d'investissement (€HT/kW)	Coûts d'exploitation (€HT/kW)	
		Conduite et entretien courant (P2)	Gros entretien et renouvellement (P3)
100	1 017	21,3	13,6
200	915	16,3	10,1
300	860	13,9	8,5
400	823	12,4	7,5
500	795	11,4	6,8
600	773	10,6	6,3
700	755	10,0	5,9
800	740	9,5	5,5
900	727	9,1	5,3
1 000	715	8,7	5,0

Pour le combustible, il a été considéré deux situations selon que l'installation produit moins ou plus de 1.200 MWh/an à partir de bois, sur la base des données de l'étude ADEME / CODA Stratégies - prix des combustibles 2017-2018 (qui fournit des prix livrés chaufferie en fonction de la puissance) et des données du CEEB (qui fournit des prix de granulés en vrac départ producteur).

Les prix suivants ont été retenus, pour un pouvoir calorifique des granulés de 4,8 MWhPCI/t :

- moins de 1.200 MWh/an : 221,6 €HT/t livrée en chaufferie (d'après étude ADEME / CODA Stratégies - prix des combustibles 2017-2018) soit 50,8 €TTC/MWhPCI livré ;
- plus de 1.200 MWh/an : 212,8 €HT/t livrée en chaufferie (d'après étude ADEME / CODA Stratégies - prix des combustibles 2017-2018) soit 48,7 €TTC/MWhPCI livré ;
- si l'on considère un même prix départ producteur de 187,2 €HT/t soit 42,9 €TTC/MWhPCI (moyenne CEEB 2018 granulés en vrac), on peut en déduire des coûts de livraison + marge du distributeur de 34,4 €HT/t soit 7,9 €TTC/MWhPCI pour une installation produisant moins de 1.200 MWh/an et 25,6 €HT/t soit 5,9 €TTC/MWhPCI pour une installation produisant plus de 1.200 MWh/an.

⁵ Voir annexe pour la méthodologie de recueil des données.

4.2.2.1.4. Aides publiques

Deux hypothèses sont prises pour le niveau d'aides publiques considéré pour les simulations :

- lorsque l'installation produit moins de 1.200 MWh/an à partir de bois, il est considéré un taux d'aide de 50 % du surcoût d'investissement⁶ (ce soutien est principalement apporté par les Régions et/ou les Départements) ;
- lorsque l'installation produit plus de 1.200 MWh/an à partir de bois, on considère l'application de la grille 2020 du Fonds Chaleur avec un maximum d'aide fixé à 50 % du surcoût d'investissement.

Ces hypothèses appellent les commentaires suivants :

- les projets éligibles au Fonds Chaleur sont :
 - o les chaudières produisant plus de 1.200 MWh/an à partir de bois ;
 - o les chaudières produisant moins de 1.200 MWh/an à partir de bois dès lors qu'elles sont installées dans le cadre d'un contrat de développement des ENR conclu avec l'ADEME ; la grille pour l'aide forfaitaire s'applique alors ;
- l'encadrement européen des aides d'Etat plafonne le taux d'aide pour les grandes, moyennes et petites entreprises à respectivement 45 %, 55 % et 65 % du surcoût d'investissement ; malgré le nombre probablement important de porteurs de projets potentiels dans la catégorie « petites entreprises », le pourcentage d'aides retenu est de 50 %, pour deux raisons principales :
 - o pour les chaudières aux granulés : le taux moyen d'aide des cas référents est de l'ordre de 40 % et la valeur de 50 % constitue donc un compromis entre cette moyenne et le taux maximal de 65 % ;
 - o pour les chaudières aux plaquettes : d'une part, l'application de la grille tarifaire du Fonds Chaleur aboutit à un taux d'aide de 45-50 % pour les installations produisant moins de 1.200 MWh/an et de l'ordre de 45 % pour celles produisant plus de 1.200 MWh/an et, d'autre part, le taux de 50 % est cohérent avec le niveau des aides régionales / départementales.
- sur la totalité de la plage de besoins considérée dans les simulations, les chaudières aux granulés peuvent bénéficier d'un taux de 65 % d'aides si leurs maîtres d'ouvrage sont des petites entreprises : il va de soi que la prise en compte d'un tel taux améliorerait le bilan économique de ces installations et les rendrait plus compétitives.

Grille 2020 du Fonds Chaleur pour l'aide forfaitaire à la production de chaleur à partir de biomasse (source : ADEME)

Gamme (MWh)		aide collectif/tertiaire en € / MWhENR sortie sur 20ans	aide industrie en € / MWhENR sortie sur 20ans
0	600	13	9
601	3 000	7	4
3 001	6 000	5,9	2,5
6 001	12 000	2,4	1,2

Exemples d'applications :

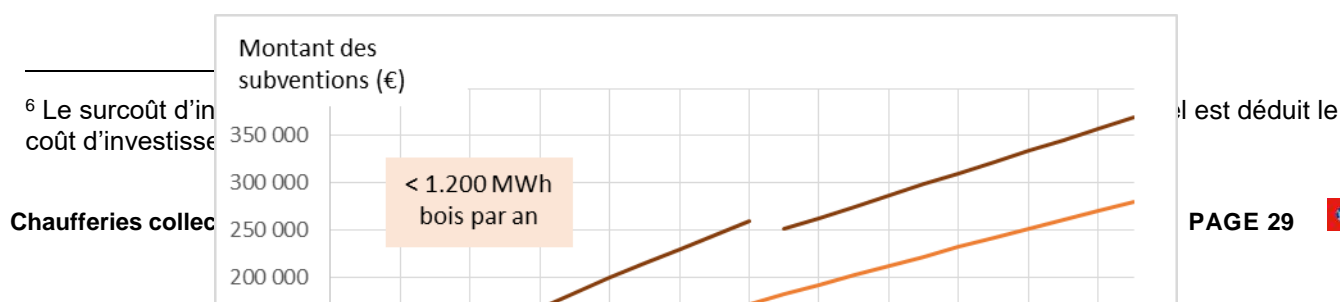
Collectif/Tertiaire :

- Une chaufferie de 1 200 MWh EnR/an alimentant une clinique : aide forfait de 240 000 € : $(13 \cdot 600 + 7 \cdot 600) \cdot 20$
- Une chaufferie de 2 000 MWh EnR/an alimentant un réseau de chaleur urbain : aide forfait de 352 000 € : $(13 \cdot 600 + 7 \cdot 1400) \cdot 20$

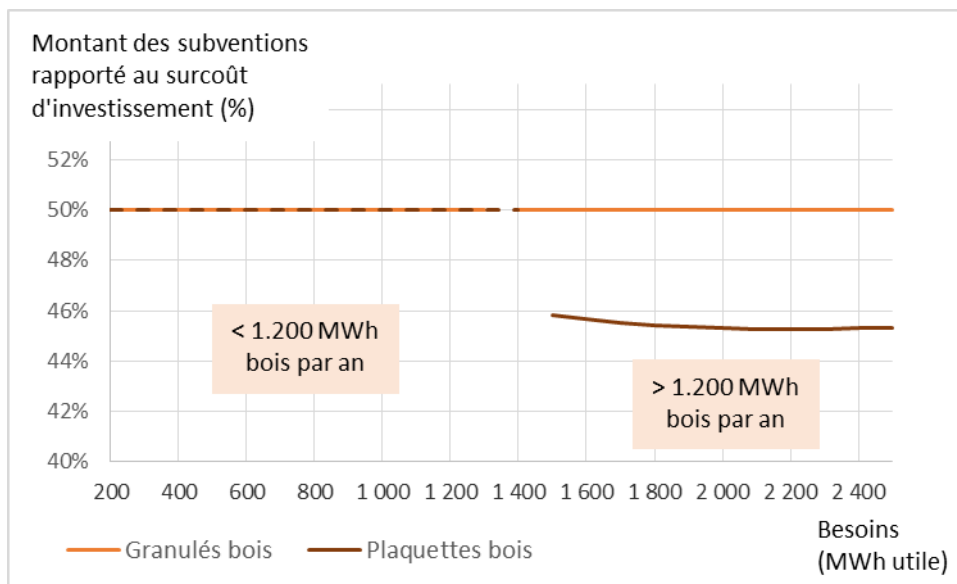
Industrie :

- Une chaufferie de 7 000 MWh EnR/an alimentant une industrie agroalimentaire : aide forfait de 474 000 € : $(9 \cdot 600 + 4 \cdot 2400 + 2,5 \cdot 3000 + 1,2 \cdot 1000) \cdot 20$

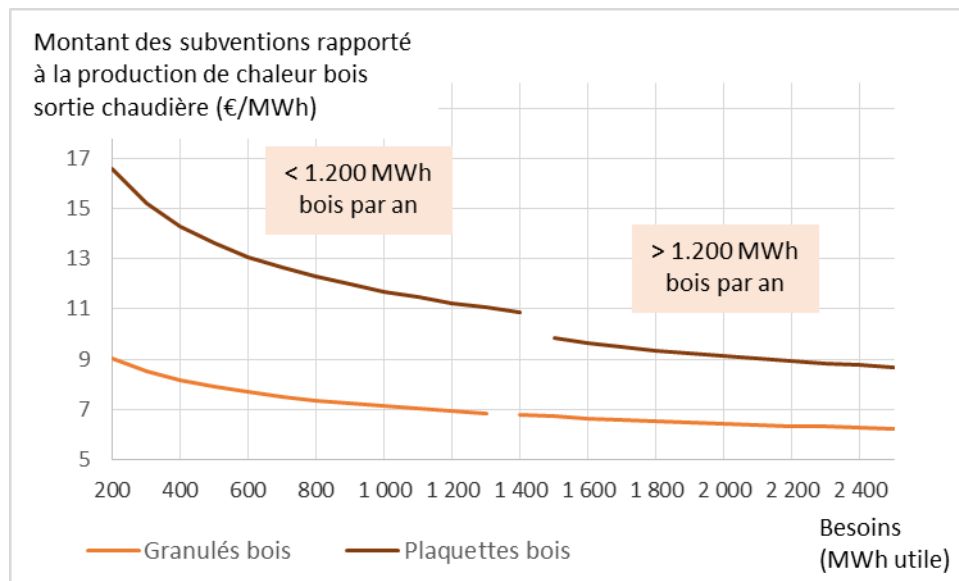
Subventions considérées dans le cadre des simulations – Montant (€)



Subventions considérées dans le cadre des simulations – Montant rapporté au surcoût d'investissement (%)



Subventions considérées dans le cadre des simulations – Montant rapporté à la production de chaleur bois sortie chaudière (€/MWh)



4.2.2.2. Avertissement et précisions

4.2.2.2.1. Les outils mis en œuvre ne sont pas des outils de dimensionnement

Les outils de simulations ne sont pas des outils de dimensionnement. Ils ont été conçus non pas pour définir un coût de la chaleur en valeur absolue, mais pour **analyser l'influence relative de différents paramètres techniques et économiques dans la rentabilité des projets**. Ils ne peuvent donc en aucun cas se substituer à une étude de faisabilité technico-économique qui intègre l'ensemble des spécificités propres à chaque projet.

4.2.2.2.2. Les limites de l'exercice

La méthodologie développée pour les simulations relatives aux chaufferies dédiées aux granulés se fonde sur le recensement de cas réels en fonctionnement (cas référents). Il est à noter que les données techniques et économiques recueillies, souvent partielles, sont hétérogènes, c'est-à-dire qu'elles présentent une dispersion importante à cause de la diversité des cas référents identifiés. En conséquence, la pertinence du traitement statistique des données recueillies doit être appréhendée avec précaution. **Les cas-types résultant de ce traitement ne peuvent donc en aucun cas être considérés comme des références absolues représentatives de l'ensemble des chaufferies existantes ou des projets qui pourraient voir le jour à l'avenir.**

De même, les résultats attendus de l'étude visent à **tirer de grands enseignements sur les tendances technico-économiques et à identifier les cibles de développement les plus pertinentes pour le chauffage aux granulés**. Ce travail n'interdira évidemment pas le développement de projets en dehors de ces cibles, de même que d'autres modes de chauffage pourront être privilégiés face aux granulés pour des bâtiments et équipements entrant dans le cœur de cible.

4.2.2.2.3. Le choix d'une énergie fossile en appoint / secours

Sur les installations collectives de moyenne et forte puissance, qu'elles soient alimentées par de la biomasse ou une énergie fossile, il est fréquent de faire appel à plusieurs chaudières installées en cascade. Il convient dans ce cas de différencier :

- **l'usage en base et l'usage en appoint** : l'une des chaudières est dimensionnée pour assurer la base des besoins thermiques, la seconde assurant les besoins par période de grand froid ; la chaudière d'appoint, qui présente généralement une puissance thermique assez similaire, fonctionne donc l'équivalent d'un nombre d'heures nettement plus faible que la première ;
- **l'usage en secours total** : s'il s'avère nécessaire (choix du maître d'ouvrage, disposition réglementaires ou contractuelles) de disposer d'un secours total de l'installation, la chaudière de secours est dimensionnée à hauteur de l'appel de puissance par période de grand froid ; elle est amenée à fonctionner un nombre d'heure très faible dans l'année.

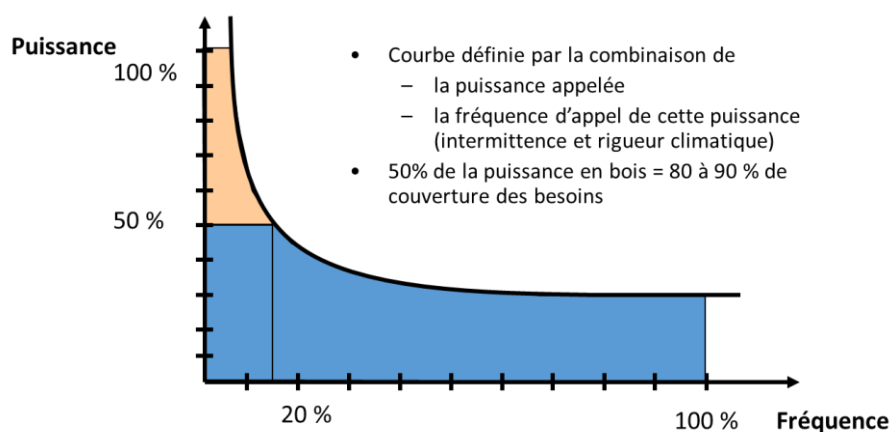


Lorsque l'on dimensionne une chaufferie au bois (plaquettes ou granulés), il convient de considérer que la chaudière bois (plaquettes ou granulés) fonctionnera en base des besoins (80 à 90 % de besoins annuels couverts). L'appoint et le secours éventuels dépendront des éléments suivants :

- **l'appoint** peut être assuré par une seconde chaudière bois installée en cascade de la première (tandem) ; dans ce cas, l'investissement dans la seconde chaudière bois (plus élevé que l'investissement dans une chaudière fossile équivalente), devra être compensé par un nombre d'heures de fonctionnement plus faible que celui de la chaudière fonctionnant en base ; cette solution permet cependant de s'affranchir des énergies fossiles ;
- **si le secours total de l'installation est jugé nécessaire**, il peut être assuré :
 - o par une nouvelle chaudière bois (plaquettes ou granulés) de puissance égale à l'appel de puissance par période de grand froid ;
 - o par une chaudière à énergie fossile, moins coûteuse en investissement.

Dans ces deux cas de figure, la chaudière de secours fonctionnera l'équivalent d'un nombre d'heures très faible dans l'année. L'équilibre économique de l'opération tend, aux conditions économiques actuelles, à privilégier pour le secours l'installation d'une chaudière à énergie fossile. Dans ce cas de figure, la chaudière au fioul ou au gaz peut alors également être utilisée pour assurer l'appoint de la chaudière bois.

Dimensionnement thermique et principe de la biénergie (source : CIBE)



Dans l'ensemble des simulations conduites ci-après, **le choix a été fait de considérer un secours total des installations de production d'énergie. Pour la conception d'une chaufferie dédiée, ce parti-pris peut être discuté.** On observe en effet tous les cas de figure sur les chaufferies en fonctionnement : granulés avec ou sans appoint / secours fossile, plaquettes avec ou sans appoint / secours fossile, plaquettes avec appoint aux granulés et avec ou sans secours fossile. Par ailleurs, la plus grande autonomie des chaufferies granulés à volume stocké identique, leur maintenance plus aisée et l'homogénéité du combustible pourraient plaider pour une suppression de l'appoint / secours fossile pour les chaufferies granulés et un maintien de l'appoint / secours fossile pour les chaufferies plaquettes. La décision prise dans le cadre de l'étude résulte cependant des deux arguments suivants :

- le choix de disposer ou non d'un secours total de l'installation répond parfois à des exigences réglementaires (secteur sanitaire et social par exemple) et appartient au seul maître d'ouvrage du projet ;
- supprimer le secours sur les chaufferies granulés et le maintenir sur les chaufferies plaquettes aurait conduit à comparer deux services rendus différents : risque (même faible) de rupture de service dans le premier cas et maintien systématique du service dans le second.

Il ne s'agit donc pas dans cette approche théorique de remettre en cause la fiabilité du chauffage au bois (plaquettes ou granulés), mais bien de comparer des cas de figure sur la base des mêmes hypothèses. Par ailleurs, le choix technique adopté dans le cadre de cette approche théorique ne préjuge pas d'une position de principe.

4.2.3. Simulations

Rappelons qu'une chaufferie dédiée est une chaufferie alimentant **un ou plusieurs bâtiments appartenant au même maître d'ouvrage**. On considère en outre dans le cadre de cette approche que si plusieurs bâtiments sont raccordés à la chaufferie dédiée, ils présentent tous **le même profil de consommation**.

4.2.3.1. Raisonement en coût global

4.2.3.1.1. Le coût global de l'énergie

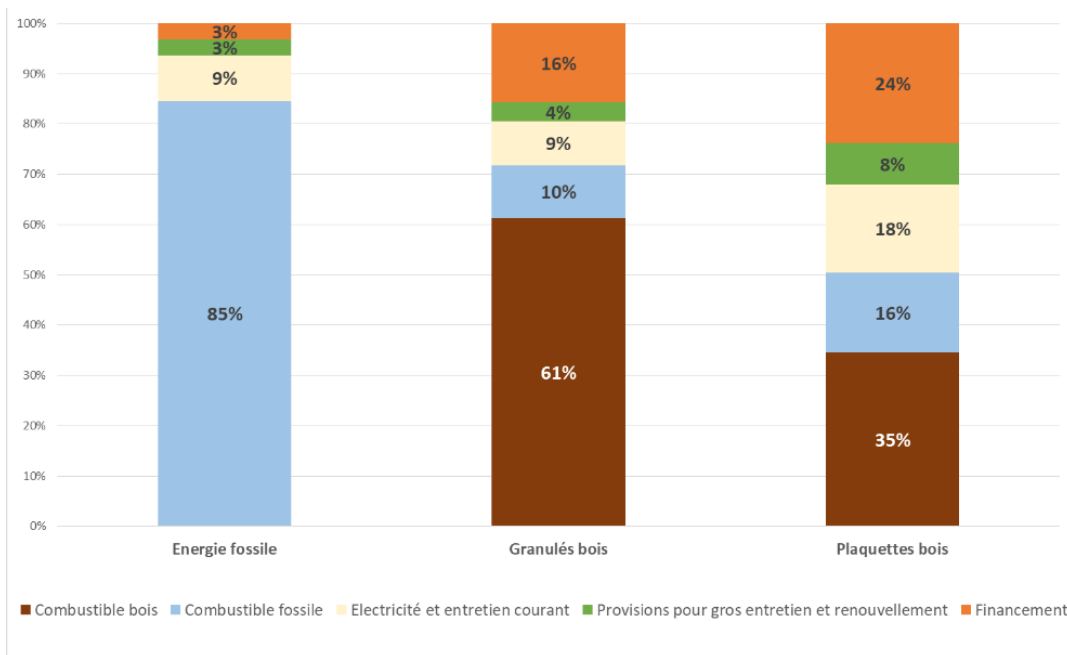
L'analyse de l'intérêt économique d'un projet s'effectue généralement par la comparaison des factures énergétiques en coût global des différentes solutions étudiées (énergie fossile, plaquettes, granulés).

La facture énergétique en coût global correspond à la somme de l'ensemble des postes de charge liés à la production d'énergie, ramenée à l'unité de chaleur distribuée en pied d'immeuble. Pour une chaufferie dédiée, elle intègre donc :

- l'achat de combustible (énergie fossile, plaquettes, granulés) ;
- les charges d'électricité et d'entretien courant ;
- les provisions pour grosse réparation ;
- les annuités d'amortissement des investissements.

4.2.3.1.1. La structure de la facture énergétique en coût global

Exemple de décomposition du coût global de la chaleur produite à partir de combustibles fossiles (moyenne gaz naturel et fioul domestique), de granulés bois + appoint énergie fossile et de plaquettes bois + appoint énergie fossile



Selon l'énergie privilégiée pour assurer le chauffage et éventuellement la production d'eau chaude sanitaire d'un bâtiment, la structure de la facture énergétique en coût global d'une chaufferie dédiée de moyenne puissance est très différente selon l'énergie utilisée :

- si le bâtiment est chauffé par une énergie fossile, l'achat de combustible est le poste de charge de très loin le plus important, puisqu'il représente de l'ordre de 85 % du coût global de la chaleur (de 80 % pour le gaz naturel à 90 % pour le fioul domestique) ; les autres postes de charge sont de ce fait très minoritaires ;
- si le bâtiment est chauffé par une chaufferie aux plaquettes, le coût global de l'énergie est réparti en deux principaux postes de charge : l'achat de combustible représente environ 50 % du coût global (35 % pour l'achat de plaquettes et 15 % pour l'achat d'énergie fossile d'appoint), les 50 % restants se partageant à parts égales entre les coûts d'exploitation et le financement des investissements ;
- si le bâtiment est chauffé par une chaufferie aux granulés, la structure de la facture énergétique est intermédiaire entre les deux cas de figure précédents : l'achat de combustible est majoritaire, puisqu'il



représente 70 % du coût global (60 % pour les granulés et 10 % pour l'énergie fossile d'appoint), les 30 % restants se partageant à parts égales entre les coûts d'exploitation et le financement des investissements.

4.2.3.2. Sensibilité des résultats à la variation de paramètres technico-économiques

Le coût global de l'énergie d'une chaufferie dédiée évolue en fonction de plusieurs paramètres techniques et économiques, dont l'influence n'est pas équivalente. On propose ci-dessous d'analyser l'influence de la variation de ces paramètres sur l'évolution du coût global de la chaleur.

4.2.3.2.1. Le chauffage aux énergies fossiles

Du fait de la structure de la facture énergétique, **le seul paramètre influant sur le coût global de l'énergie fossile est l'achat de combustible**. Les autres paramètres techniques et économiques ont une influence négligeable sur le coût global de la chaleur.

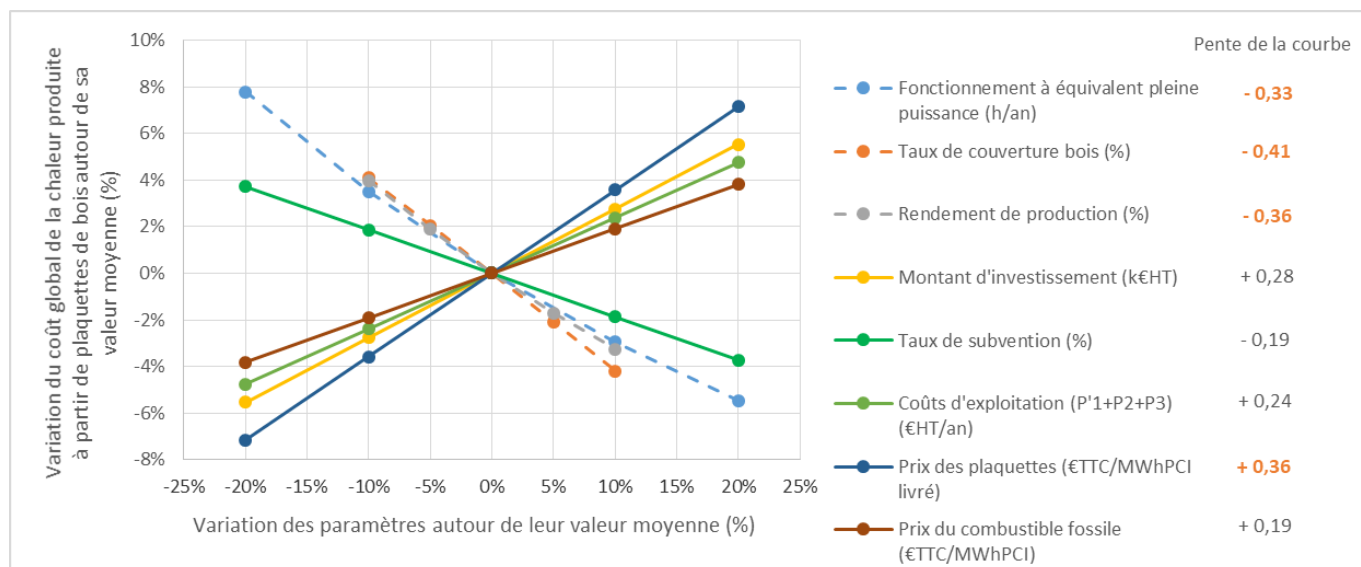
4.2.3.2.2. Le chauffage aux plaquettes de bois

L'analyse de l'influence des paramètres techniques et économiques sur le coût global de l'énergie plaquettes a été conduite en faisant varier un à un les paramètres suivants (tout autre paramètre étant fixé), en général dans une plage de - 20 % à + 20 % (parfois - 10 % à + 10 %) autour de leur valeur moyenne, pour une chaufferie dédiée de 340 kW bois en secteur résidentiel collectif (besoins totaux de 1 000 MWh utiles par an) :

- taux de couverture bois : valeur moyenne de 85 %, variation de 76,5 à 93,5 % (+/- 10 %) ;
- rendement de production de la chaudière plaquettes : valeur moyenne de 82 %, variation de 74 à 90 % (+/- 10 %) ;
- intermittence d'usage (nombre d'heures de fonctionnement à équivalent pleine puissance de la chaudière plaquettes) : valeur moyenne de 2 500 h/an, variation de 2 000 à 3 000 h/an (+/- 20 %) ;
- montant d'investissement : valeur moyenne de 428 k€HT, variation de 343 à 514 k€ (+/- 20 %) ;
- taux de subventions : valeur moyenne de 50 %, variation de 40 à 60 % (+/- 20 %) ;
- coûts d'exploitation (électricité, entretien courant et provisions pour grosses réparations) : valeur moyenne de 18,6 k€HT/an, variation de 14,9 à 22,4 k€HT/an (+/- 20 %) ;
- prix des plaquettes : valeur moyenne de 30,3 €TTC/MWhPCI livré, variation de 24,2 à 36,4 €TTC/MWhPCI livré (+/- 20 %) ;
- prix de l'énergie fossile (fioul domestique) utilisée en appoint : valeur moyenne 95 €TTC/MWhPCI, variation de 76 à 114 €TTC/MWhPCI (+/- 20 %).

L'impact de la variation de ces paramètres est représenté ci-dessous en pourcentage d'évolution du coût global de la chaleur autour de sa valeur moyenne (les paramètres économiques figurent en trait plein, les paramètres techniques et énergétiques en pointillé). Sur ce graphique, la pente de chaque courbe indique l'importance de l'influence du paramètre étudié : plus la pente est forte (en valeur absolue), plus l'influence du paramètre sur le coût global est importante.

Influence relative de la variation de paramètres techniques et économiques sur le coût global de la chaleur produite à partir de plaquettes de bois
(cas considéré : secteur résidentiel collectif, 1.000 MWh utiles par an)



Il apparaît que **les paramètres techniques et énergétiques (taux de couverture bois, rendement de production et fonctionnement à équivalent pleine puissance) ainsi que le prix des plaquettes sont les plus influents dans le coût global de la chaleur produite à partir de plaquettes.**

Les autres paramètres économiques ont une influence certes moindre mais importante tout de même, le prix du combustible fossile utilisé en appoint et le taux de subvention étant ceux qui influent le moins.

Ces conclusions sont en cohérence avec la décomposition en coût global de la chaleur produite à partir de plaquettes.

4.2.3.2.3. *Le chauffage aux granulés de bois*

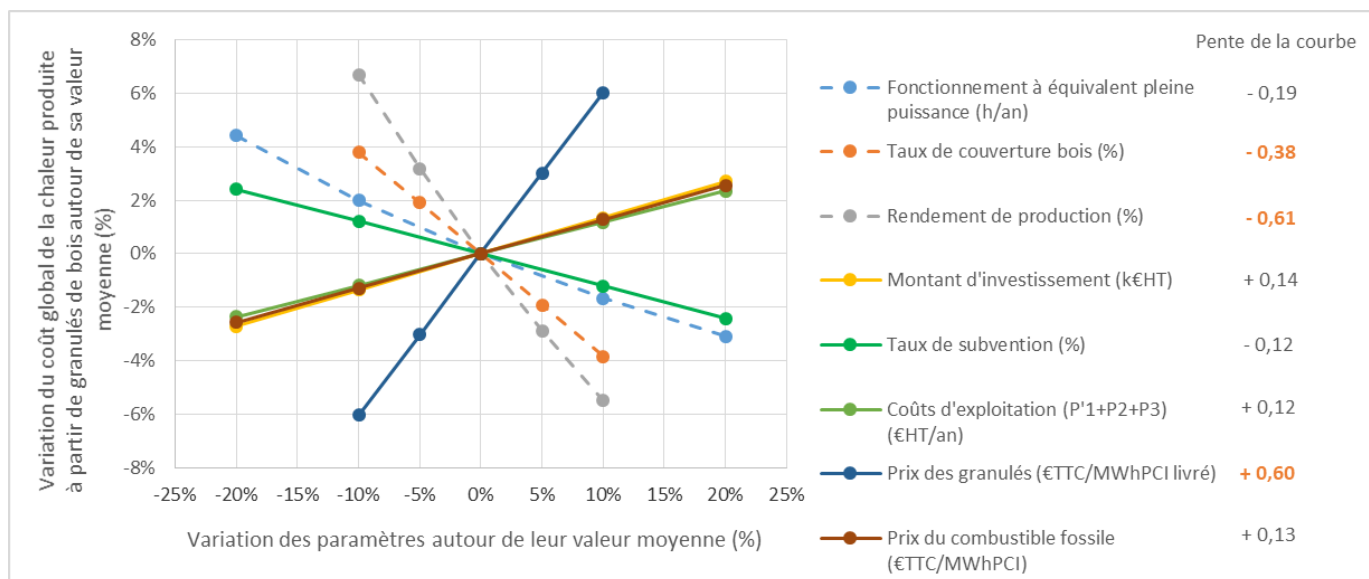
L'analyse de l'influence des paramètres techniques et économiques sur le coût global de l'énergie granulés a été conduite de la même manière, en faisant varier un à un les paramètres suivants (tout autre paramètre étant fixé), en général dans une plage de - 20 % à + 20 % (parfois - 10 % à + 10 %) autour de leur valeur moyenne, pour une chaufferie dédiée de 340 kW bois en secteur résidentiel collectif (besoins totaux de 1 000 MWh utiles par an) :

- taux de couverture bois : valeur moyenne de 90 %, variation de 81 à 99 % (+/- 10 %) ;
- rendement de production de la chaudière granulés : valeur moyenne de 87 %, variation de 78 à 96 % (+/- 10 %) ;
- intermittence d'usage (nombre d'heures de fonctionnement à équivalent pleine puissance de la chaudière granulés) : valeur moyenne de 2 650 h/an, variation de 2 120 à 3 180 h/an (+/- 20 %) ;
- montant d'investissement : valeur moyenne de 287 k€HT, variation de 230 à 344 k€ (+/- 20 %) ;
- taux de subventions : valeur moyenne de 50 %, variation de 40 à 60 % (+/- 20 %) ;
- coûts d'exploitation (électricité, entretien courant et provisions pour grosses réparations) : valeur moyenne de 9,1 k€HT/an, variation de 7,3 à 10,9 k€HT/an (+/- 20 %) ;
- prix des granulés : valeur moyenne de 50,8 €TTC/MWhPCI livré, variation de 45,7 à 55,9 €TTC/MWhPCI livré (+/- 10 %) ;
- prix de l'énergie fossile (fioul domestique) utilisée en appoint : valeur moyenne 95 €TTC/MWhPCI, variation de 76 à 114 €TTC/MWhPCI (+/- 20 %).

L'impact de la variation de ces paramètres est représenté ci-dessous en pourcentage d'évolution du coût global de la chaleur autour de sa valeur moyenne (les paramètres économiques figurent en trait plein, les paramètres techniques et énergétiques en pointillé). Sur ce graphique, la pente de chaque courbe indique l'importance de l'influence du paramètre étudié : plus la pente est forte (en valeur absolue), plus l'influence du paramètre sur le coût global est importante.



Influence relative de la variation de paramètres techniques et économiques sur le coût global de la chaleur produite à partir de granulés de bois
(cas considéré : secteur résidentiel collectif, 1.000 MWh utiles par an)



Il apparaît que **le prix des granulés et le rendement de production sont les paramètres les plus influents dans le coût global de la chaleur produite à partir de granulés**. Viennent ensuite le taux de couverture bois puis, dans une moindre mesure, tous les autres paramètres économiques.

Ces conclusions sont en cohérence avec la décomposition en coût global de la chaleur produite à partir de granulés, le coût de ces derniers comptant pour 60 % du total.

4.2.3.3. Compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles

Les simulations suivantes sont menées en coût global pour chacune des trois énergies considérées (combustibles fossiles, plaquettes bois, granulés bois), avec pour objectif de déterminer les zones de compétitivité du bois sous ses différentes formes. Quatre situations sont distinguées selon :

- l'intermittence d'usage, approchée par le nombre d'heure de fonctionnement à équivalent pleine puissance de la chaudière plaquettes ;
- la possibilité ou non de se faire rembourser la TVA.

Les cas pris en compte sont ainsi :

- le secteur sanitaire et social (maison de retraite...), avec un fonctionnement de la chaudière plaquettes de 3 000 h/an à équivalent pleine puissance et un raisonnement en €TTC/MWh utile ;
- le secteur résidentiel collectif (logements sociaux, copropriétés), avec un fonctionnement de 2 500 h/an et un raisonnement en €TTC/MWh utile ;
- le secteur de l'enseignement (école maternelle / primaire, collège, lycée), avec un fonctionnement de 2 000 h/an et un raisonnement en €TTC/MWh utile ;
- le secteur tertiaire (bureaux...), avec un fonctionnement de 2 000 h/an et un raisonnement en €HTVA/MWh utile.

Il est à noter que les simulations ont été conduites de telle sorte que la puissance de la chaudière aux granulés, dans une situation donnée, soit la même que celle de la chaudière aux plaquettes. La première présente une plus grande disponibilité annuelle que la seconde (en particulier, les caractéristiques des granulés sont mieux maîtrisées, limitant le nombre d'arrêts liés à l'alimentation automatique) et son taux de charge minimum (puissance minimale de fonctionnement) est plus faible : il en découle un taux de couverture des besoins thermiques par les granulés plus élevé que par les plaquettes (90 % contre 85 %) et donc un nombre d'heures de fonctionnement à équivalent pleine puissance supérieur (pour une puissance identique).

La plage de besoins thermiques prise en compte dans les simulations s'étend de 200 à 2 500 MWh utiles par an. Compte tenu du fonctionnement à équivalent pleine puissance variable selon les secteurs, la puissance de la chaudière bois (plaquettes ou granulés) installée pour satisfaire un besoin thermique identique est donc, elle aussi, variable.

Puissance bois installée (en kW) en fonction du secteur et des besoins thermiques

Secteur	Besoins thermiques (MWh utiles par an)					
	200	500	1 000	1 500	2 000	2 500
Sanitaire et social	57	142	283	425	567	708
Résidentiel collectif	68	170	340	510	680	850
Enseignement / tertiaire	85	213	425	638	850	1 063

Enfin, les prix de combustibles bois considérés sont les moyennes observées pour 2018 (cf. le point 4.2.2.1 sur les données sources et principales hypothèses pour les simulations).

4.2.3.3.1. Secteur sanitaire et social

Face au fioul domestique (95 €TTC/MWhPCI), une chaudière bois dédiée à un établissement du secteur sanitaire et social présente une compétitivité systématique et très forte.

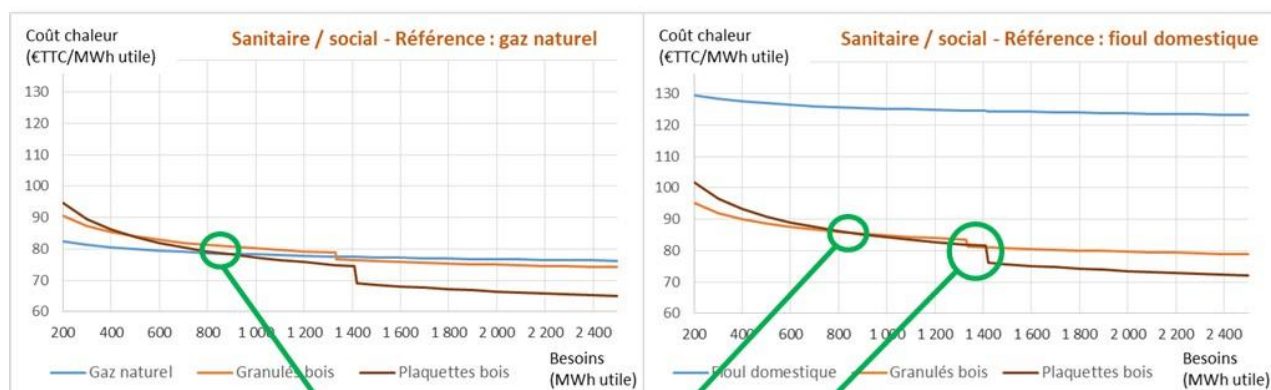
Face au gaz naturel (55 €TTC/MWhPCI), il convient de distinguer les deux combustibles bois :

- plaquettes : faible compétitivité pour des besoins se situant entre 900 et 1.400 MWh utiles, forte compétitivité au-delà de 1.400 MWh utiles (grâce au bénéfice du Fonds Chaleur) ;
- granulés : le Fonds Chaleur leur permet d'être très légèrement compétitifs pour des besoins supérieurs à 1.350 MWh utiles.

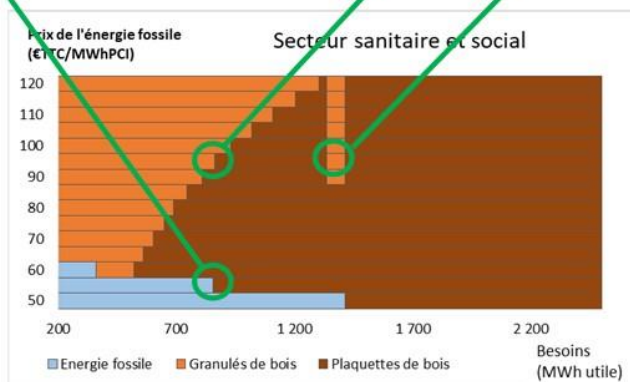
Si l'on ne considère que les deux solutions bois, les granulés sont compétitifs vis-à-vis des plaquettes pour des besoins inférieurs à 450 MWh utiles lorsque le gaz naturel est utilisé comme énergie d'appoint et inférieurs à 800 MWh utiles lorsque le fioul domestique remplit cet usage.

Secteur sanitaire et social : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles

Graphique : Coût global de la chaleur selon le combustible utilisé et les besoins thermiques



Graphique : Combustible permettant d'obtenir le moindre coût global de la chaleur selon le prix de l'énergie fossile de référence et les besoins thermiques



Ce graphique se comprend de la manière suivante :

- pour des besoins de 1 700 MWh utiles et un prix de l'énergie fossile de 100 €TTC/MWhPCI, la solution qui présente le moindre coût global de la chaleur est le bois sous la forme de plaquettes ;
- pour des besoins de 500 MWh utiles et un prix de l'énergie fossile de 70 €TTC/MWhPCI, la solution qui présente le moindre coût global de la chaleur est le bois sous la forme de granulés.



Lorsque le prix de l'énergie fossile varie de 60 à 120 €TTC/MWhPCI, la zone de moindre coût global de la chaleur produite à partir de granulés de bois s'étend vers des volumes de besoins thermiques supérieurs, au détriment des plaquettes de bois. Ceci est dû à la plus grande part occupée par le coût en énergie fossile d'appoint dans le coût global de la chaleur issue des plaquettes (le taux de couverture bois est de 85 % pour une installation aux plaquettes contre 90 % pour une installation aux granulés) : toutes choses égales par ailleurs, le coût global de la chaleur augmente donc plus vite pour les plaquettes que pour les granulés lorsque le prix de l'énergie fossile croît.

Au-delà d'un prix d'énergie fossile de 90 €TTC/MWhPCI, une zone de pertinence du granulé apparaît pour des besoins entre 1 335 et 1 415 MWh utiles, liée au fait que la solution granulés bénéficie des aides Fonds Chaleur alors que la solution plaquettes ne peut encore prétendre à ce dispositif (sauf si elle est installée dans le cadre d'un contrat de développement des ENR) : une production de chaleur biomasse de 1 200 MWh est atteinte dès 1 335 MWh de besoins avec les granulés (taux de couverture de 90 %) alors qu'elle ne l'est qu'à compter de 1 415 MWh de besoins avec les plaquettes (taux de couverture de 85 %).

Dès que l'installation au bois bénéficie du Fonds Chaleur (plus de 1.200 MWh/an produits à partir de bois), la solution plaquettes présente systématiquement un moindre coût global que la solution granulés. Cet état de fait résulte des hypothèses prises pour le prix des combustibles bois dans les deux situations moins ou plus de 1.200 MWh/an produits à partir de bois : le différentiel de coût entre les plaquettes de types C1 (moins de 1.200 MWh/an) et C2 (plus de 1.200 MWh/an) est bien supérieur à celui observé pour les granulés.

4.2.3.3.2. Secteur résidentiel collectif

Face au fioul domestique, une chaudière bois dédiée à un bâtiment de logements collectifs présente une compétitivité systématique et très forte.

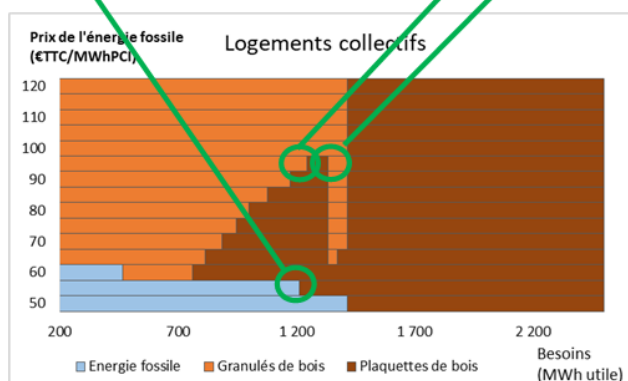
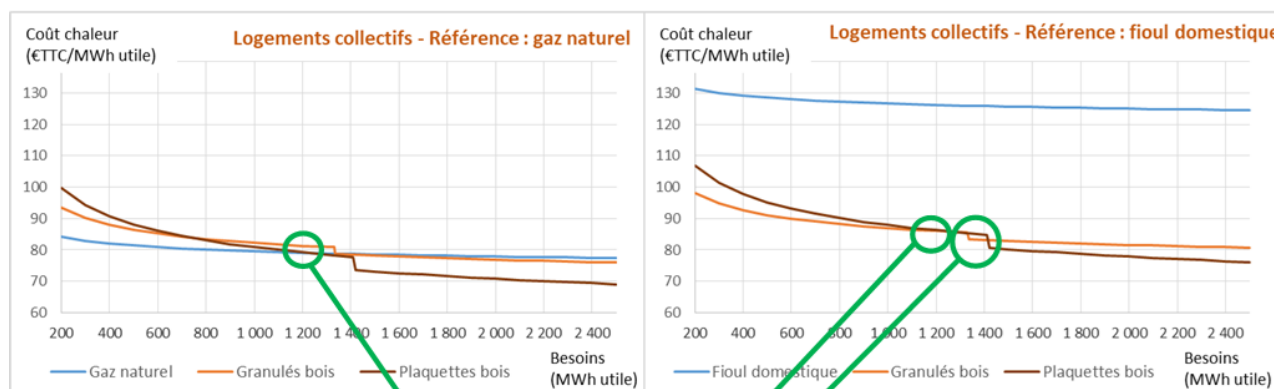
Face au gaz naturel, il convient de distinguer les deux combustibles bois :

- plaquettes : compétitivité au-delà de 1 400 MWh utiles (grâce au bénéfice du Fonds Chaleur) ;
- granulés : le Fonds Chaleur leur permet d'être très légèrement compétitifs pour des besoins supérieurs à 1 350 MWh utiles.

Si l'on ne considère que les deux solutions bois, les granulés sont compétitifs vis-à-vis des plaquettes pour des besoins inférieurs à 700 MWh utiles lorsque le gaz naturel est utilisé comme énergie d'appoint et inférieurs à 1 200 MWh utiles lorsque le fioul domestique remplit cet usage. Les plaquettes sont donc compétitives pour des besoins supérieurs.

Secteur résidentiel collectif : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles

Graphique : Coût global de la chaleur selon le combustible utilisé et les besoins thermiques



Graphique : Combustible permettant d'obtenir le moindre coût global de la chaleur selon le prix de l'énergie fossile de référence et les besoins thermiques

Comme pour le secteur sanitaire et social, une zone de pertinence du granulés existe entre 1 335 et 1 415 MWh utiles de besoins, cette dernière apparaissant toutefois pour un prix d'énergie fossile plus faible, dès 65 €TTC/MWhPCI.

Toujours en comparaison avec ce secteur, la solution granulés pour le chauffage de logements couvre une zone de pertinence plus large : la plus forte intermittence d'usage pour ces derniers ne permet pas d'amortir suffisamment les coûts d'investissement plus élevés de la solution plaquettes pour que celle-ci aboutisse à un moindre coût global de la chaleur.

4.2.3.3.3. Secteur de l'enseignement

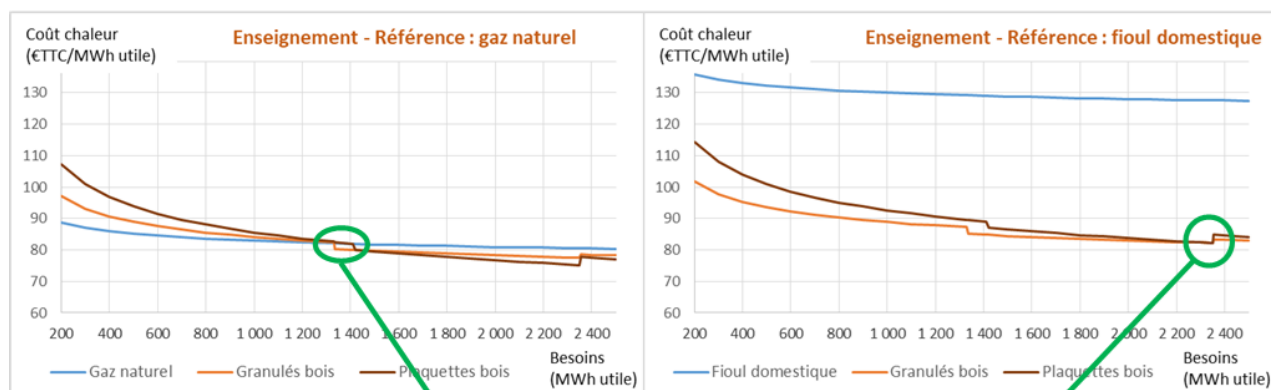
Face au fioul domestique, une chaudière bois dédiée à un établissement du secteur de l'enseignement présente une compétitivité systématique et très forte.

Face au gaz naturel, le bois est compétitif au-delà de 1 350-1 400 MWh utiles (grâce au bénéfice du Fonds Chaleur).

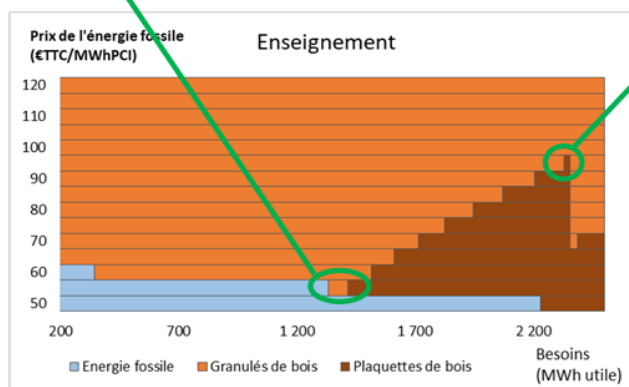
Si l'on ne considère que les deux solutions bois, les granulés sont compétitifs vis-à-vis des plaquettes pour des besoins inférieurs à 1 400 MWh utiles lorsque le gaz naturel est utilisé comme énergie d'appoint. Lorsque le fioul domestique remplit cet usage, les granulés sont systématiquement compétitifs sur l'ensemble de la plage de besoins considérée (200 à 2 500 MWh utiles).

Secteur de l'enseignement : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles

Graphique : Coût global de la chaleur selon le combustible utilisé et les besoins thermiques



Graphique : Combustible permettant d'obtenir le moindre coût global de la chaleur selon le prix de l'énergie fossile de référence et les besoins thermiques



L'intermittence d'usage du secteur de l'enseignement étant plus forte que celle du secteur résidentiel collectif, les investissements de la solution plaquettes sont plus difficilement amortissables et la zone de pertinence de la solution granulés s'étend encore. Elle existe désormais lorsque les deux solutions bénéficient du Fonds Chaleur, et ce d'autant plus que le prix de l'énergie fossile est élevé.

Au-delà de 2.350 MWh utiles de besoins, les granulés peuvent même redevenir plus compétitifs que les plaquettes. La puissance de la chaudière atteint alors 1 MW et le respect de la réglementation en vigueur impose l'installation d'un équipement de filtration plus performant que celui présent sur des chaudières de puissance moindre, occasionnant des investissements supplémentaires. Il se trouve que le montant d'aides Fonds Chaleur est alors



sensiblement identique pour les deux solutions, donnant un avantage aux granulés pour lesquels le montant total d'investissement est moindre.

4.2.3.3.4. Secteur tertiaire

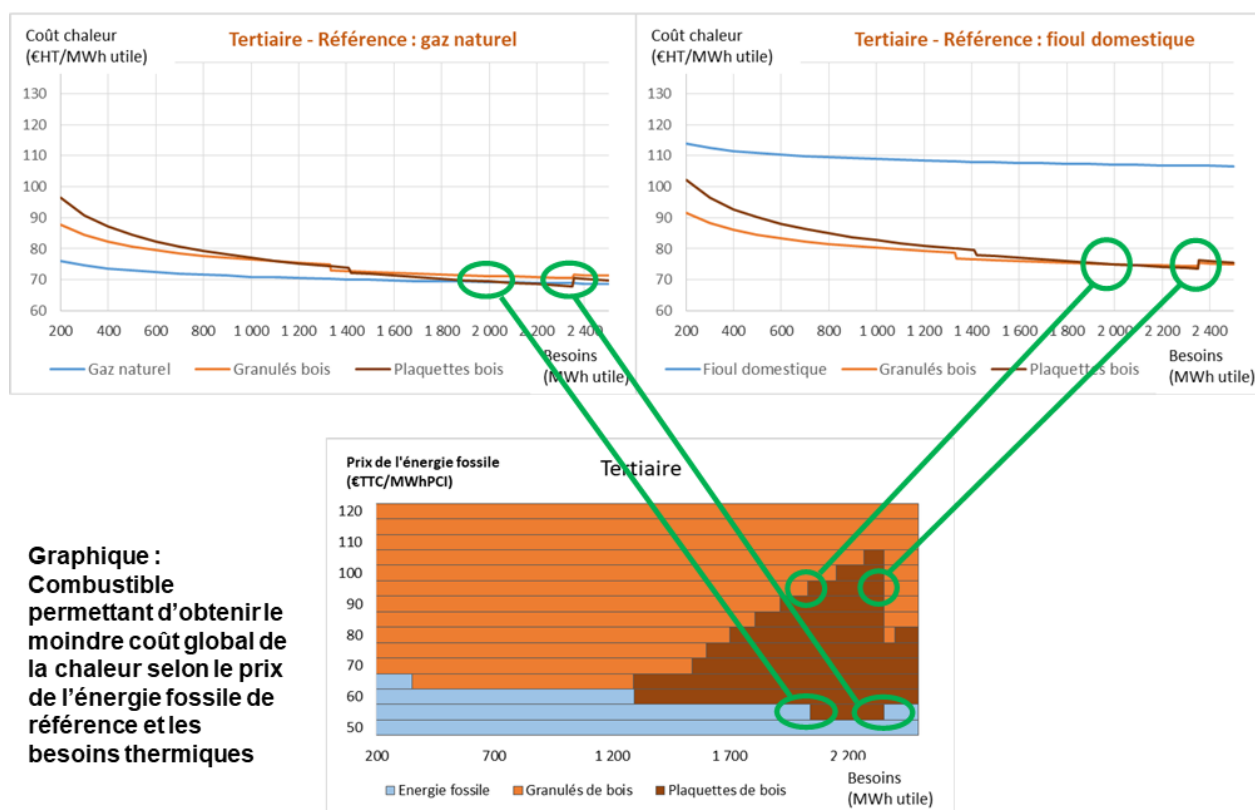
Face au fioul domestique, une chaudière bois dédiée à un établissement du secteur tertiaire présente une compétitivité systématique et très forte.

Face au gaz naturel, le bois n'est que très légèrement compétitif, sous la forme de plaquettes, entre 2 000 et 2 350 MWh utiles.

Si l'on ne considère que les deux solutions bois, les granulés sont compétitifs vis-à-vis des plaquettes pour des besoins inférieurs à 1 000 MWh utiles lorsque le gaz naturel est utilisé comme énergie d'appoint, les plaquettes prenant le relais ensuite. Lorsque le fioul domestique remplit cet usage, les granulés sont compétitifs jusqu'à 2 000 MWh utiles.

Secteur tertiaire : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles

Graphique : Coût global de la chaleur selon le combustible utilisé et les besoins thermiques



Graphique : Combustible permettant d'obtenir le moindre coût global de la chaleur selon le prix de l'énergie fossile de référence et les besoins thermiques

La zone de pertinence de la solution granulés est similaire à celle observée pour l'enseignement (même profil d'intermittence d'usage), de manière amoindrie toutefois du fait du raisonnement hors TVA, ce qui enlève l'intérêt de l'application du taux intermédiaire de TVA (10 %) sur les combustibles bois.

4.2.3.3.5. Synthèse

Des simulations précédentes peuvent être tirées de grandes tendances. Il convient toutefois de noter que les valeurs des besoins mentionnées ci-dessous dépendent des hypothèses retenues mais que les positionnements relatifs des unes par rapport aux autres restent valables : pour l'étude d'un projet, il est nécessaire de considérer les données réelles et il n'est pas possible de se baser sur ces simulations pour en déterminer la pertinence.

- 1) Face au fioul domestique (95 €/MWh PCI), les chaufferies dédiées au bois sont systématiquement compétitives, et ce de manière marquée.
- 2) Face au gaz naturel (55 €/MWh PCI), a contrario, les chaufferies dédiées au bois ne sont compétitives que dans de rares cas :

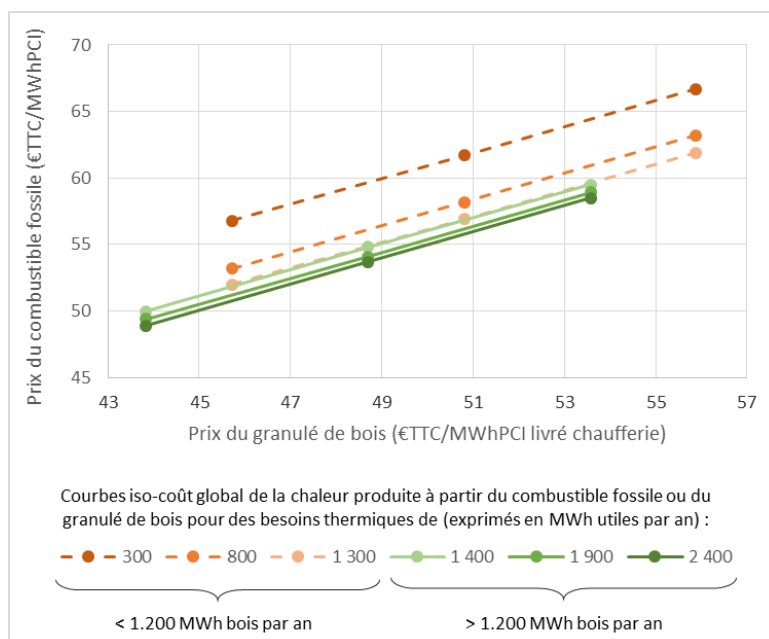
- de manière sensible pour les plaquettes dans les secteurs sanitaire / social et résidentiel collectif au-delà de 1 400 MWh utiles de besoins (grâce au bénéfice du Fonds Chaleur) ;
 - de manière moins évidente dans le secteur de l'enseignement, pour les granulés comme pour les plaquettes, toujours au-delà de 1 400 MWh utiles de besoins.
- 3) **Lorsque les deux solutions bois sont comparées entre elles (indépendamment de la solution de référence), la pertinence de la solution granulés s'amointrit lorsque l'intermittence diminue (et celle de la solution plaquettes s'accroît alors) :**
- face au fioul domestique : de 2 000-2 500 MWh utiles pour les secteurs tertiaire et enseignement, la limite haute de la zone de pertinence des granulés diminue à 1 200 MWh utiles pour le résidentiel collectif et à 800 MWh utiles pour le secteur sanitaire et social ;
 - face au gaz naturel, la conclusion est similaire avec toutefois des limites hautes plus faibles : respectivement 1 000-1 400, 700 et 450 MWh utiles.
- 4) Plus le prix de l'énergie fossile utilisée en appoint est élevé, plus grande est la zone de pertinence de la solution granulés (car seuls 10 % des besoins sont couverts par l'énergie d'appoint contre 15 % pour la solution plaquettes).
- 5) Lorsque l'intermittence d'usage est faible (secteurs sanitaire / social et résidentiel collectif), la solution plaquettes est la plus pertinente lorsqu'il est fait appel au Fonds Chaleur (au-delà de 1 400 MWh utiles). A contrario, lorsque l'intermittence est élevée (secteurs de l'enseignement et tertiaire), la solution granulés est fréquemment la plus pertinente, y compris lorsque le Fonds Chaleur est mobilisé.
- 6) **Les avis des experts interrogés lors de l'étude sont ainsi confortés par les simulations :**
- la solution granulés est très difficilement compétitive face au gaz naturel alors qu'elle l'est largement face au fioul domestique ou au propane ;
 - la solution granulés est plus pertinente que la solution plaquettes :
 - o pour chauffer des bâtiments dont l'intermittence d'usage est importante ;
 - o pour satisfaire de faibles besoins thermiques, ce qui correspond à de faibles puissances installées (conclusion en cohérence avec l'état des lieux qui indique que plus de 90 % des chaudières collectives aux granulés en fonctionnement en France ont une puissance inférieure à 300 kW).

4.2.3.4. Évolution des zones de pertinence selon le prix des combustibles bois

Les zones de pertinence établies au paragraphe précédent le sont pour un prix fixé pour les granulés comme pour les plaquettes. L'objectif de ce paragraphe est de déterminer dans quelle mesure ces zones évoluent lorsque les prix des combustibles bois varient.

4.2.3.4.1. Comparaison granulés de bois / énergies fossiles

Évolution du point d'iso-coût global de la chaleur produite à partir de granulés de bois ou d'énergie fossile dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des prix de ces combustibles



Ce graphique se comprend de la manière suivante :

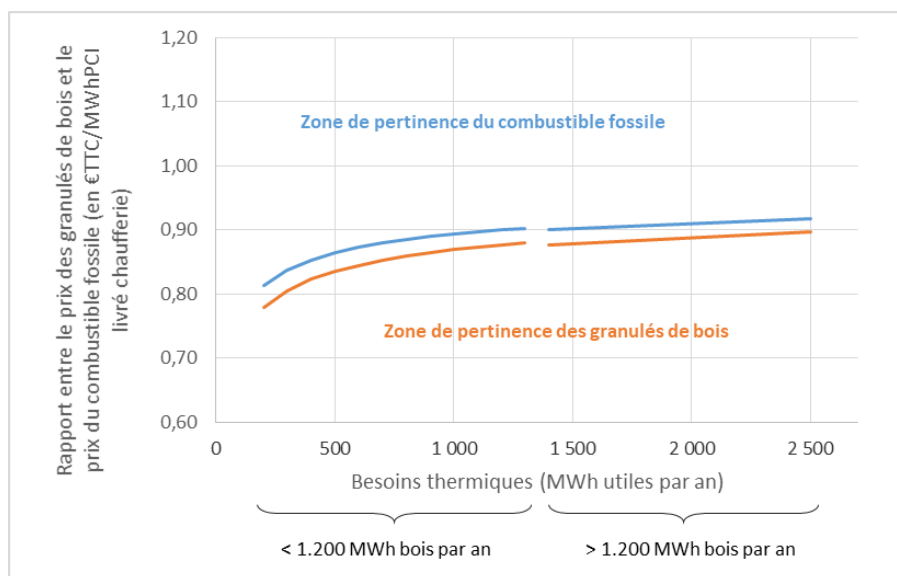
- pour un bâtiment du secteur résidentiel collectif ayant des besoins de 800 MWh utiles par an, le coût de la chaleur produite à partir de granulés de bois d'un coût de 50,8 €TTC/MWhPCI livré en chaufferie est identique à celui de la chaleur produite à partir d'une énergie fossile dont le coût est de 58,2 €TTC/MWhPCI ;
- pour un coût de l'énergie fossile supérieur à cette valeur, la chaleur produite à partir des granulés de bois présente un coût moindre que celle issue de l'énergie fossile ;
- à l'inverse, pour un coût de l'énergie fossile inférieure à cette valeur, la chaleur produite à partir des granulés de bois présente un coût plus élevé que celle issue de l'énergie fossile.



Lorsque le prix des granulés de bois varie dans une plage de +/- 10 % autour de la valeur moyenne observée pour 2018, la chaleur produite à partir des granulés est compétitive dès lors que le rapport entre le prix des granulés et le prix de l'énergie fossile est inférieur à :

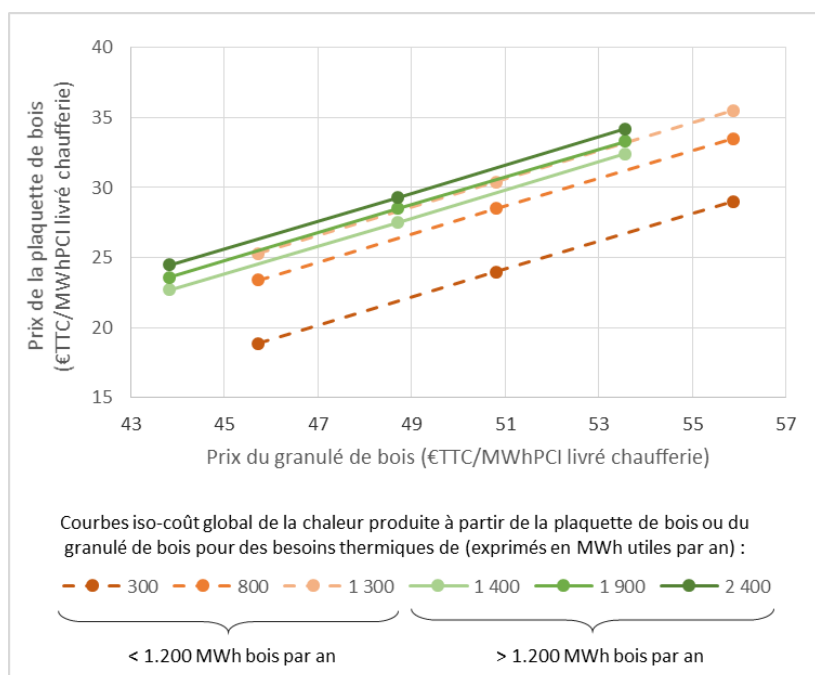
- pour une installation produisant moins de 1.200 MWh/an à partir de bois : 0,78-0,81 à 0,88-0,90 pour respectivement 200 et 1 300 MWh utiles par an ;
- pour une installation produisant plus de 1.200 MWh/an à partir de bois : 0,88-0,90 à 0,90-0,92 pour respectivement 1 400 et 2 500 MWh utiles par an.

Zones de pertinence respectives des granulés de bois et du combustible fossile dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des besoins thermiques et du rapport entre les prix des granulés et du combustible fossile (pour un prix des granulés variant de +/- 10 % autour de la valeur moyenne 2018)



4.2.3.4.2. *Comparaison granulés de bois / plaquettes de bois*

Évolution du point d'iso-coût global de la chaleur produite à partir de granulés de bois ou de plaquettes de bois dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des prix de ces combustibles (pour un prix du combustible fossile d'appoint de 95 €TTC/MWhPCI)



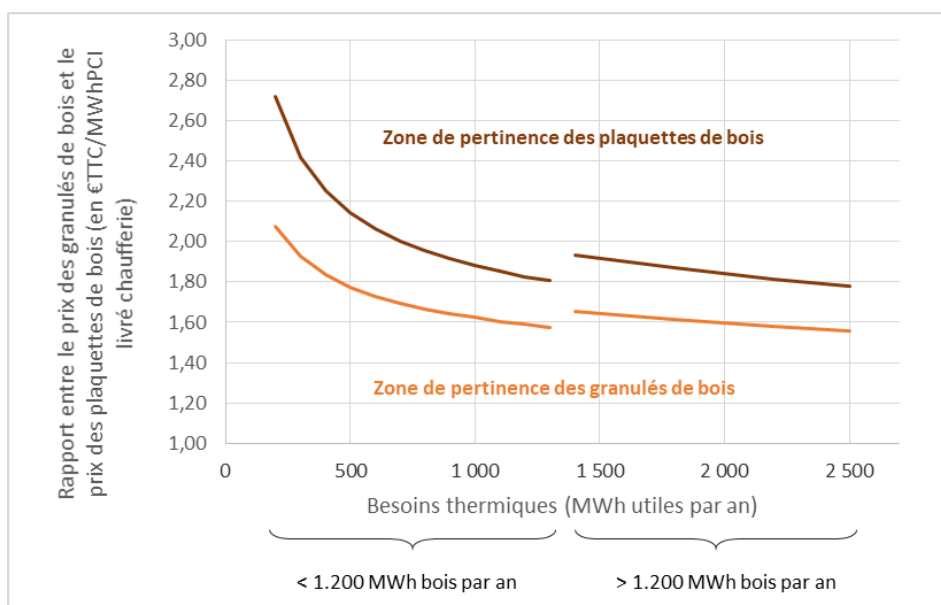
Ce graphique se comprend de la manière suivante :

- pour un bâtiment du secteur résidentiel collectif ayant des besoins de 800 MWh utiles par an, le coût de la chaleur produite à partir de granulés de bois d'un coût de 50,8 €TTC/MWhPCI livré en chaufferie est identique à celui de la chaleur produite à partir de plaquettes de bois dont le coût est de 28,5 €TTC/MWhPCI ;
- pour un coût des plaquettes de bois supérieur à cette valeur, la chaleur produite à partir des granulés de bois présente un coût moindre que celle issue des plaquettes ;
- à l'inverse, pour un coût des plaquettes inférieur à cette valeur, la chaleur produite à partir des granulés de bois présente un coût plus élevé que celle issue des plaquettes.

Lorsque le prix des granulés de bois varie dans une plage de +/- 10 % autour de la valeur moyenne observée pour 2018, la chaleur produite à partir des granulés est compétitive dès lors que le rapport entre le prix des granulés et le prix des plaquettes est inférieur à :

- pour une installation produisant moins de 1.200 MWh/an à partir de bois : 2,7-2,1 à 1,8-1,6 pour respectivement 200 et 1 300 MWh utiles par an ;
- pour une installation produisant plus de 1.200 MWh/an à partir de bois : 1,9-1,7 à 1,6-1,8 pour respectivement 1 400 et 2 500 MWh utiles par an.

Zones de pertinence respectives des granulés de bois et des plaquettes de bois dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des besoins thermiques et du rapport entre les prix des granulés et des plaquettes (pour une variation du prix des granulés de +/- 10 % autour de la valeur moyenne 2018 et un prix du combustible fossile d'appoint de 95 €/TTC/MWhPCI)



5. Usage des granulés de bois sur réseau de chaleur

Les réseaux de chaleur (au sens juridique, c'est-à-dire desservant plusieurs abonnés distincts avec vente de chaleur) **utilisant des granulés sont rares** et peuvent être classés en trois catégories :

- granulés en remplacement du charbon ;
- granulés en appoint de plaquettes ;
- granulés en base.

Dans le cas du **remplacement du charbon**, les puissances en jeu sont importantes : ce sont des unités installées sur des gros réseaux de chaleur, les granulés étant utilisés en appoint des énergies principales (parmi lesquelles peuvent figurer des plaquettes de bois). Les entretiens menés ont permis d'identifier deux raisons pour lesquelles les granulés sont choisis de préférence aux plaquettes :

- la granulométrie des granulés est proche de celle du charbon utilisé : il est donc possible de réutiliser la chaudière et les brûleurs à projection (ce qui limite fortement les investissements en comparaison d'une installation complète aux plaquettes de bois) ;
- la place disponible en centre-ville n'est pas suffisante pour l'implantation d'une chaudière aux plaquettes.

En exemple de ce type d'installations, on peut citer celles de :

- CPCU à Saint-Ouen (93) : 250 MW (réutilisation de la chaudière au charbon), 140 000 t de granulés envisagées en 2020 ;
- la régie du chauffage urbain de Fontenay-sous-Bois (94) : 17 MW (réutilisation de la chaudière au charbon), de 5 500 t/an de granulés ;
- la SERM à Montpellier (34) : 2 x 4 M (chaudières neuves), 2 500 t/an de granulés.

Les chaudières aux granulés en appoint d'une chaudière aux plaquettes sont installées dans deux situations :

- dès l'origine du projet, lorsque la ville n'est pas desservie par le gaz naturel et que l'utilisation de fioul domestique ou de propane conduit à un coût de la chaleur d'appoint similaire à celui obtenu avec des granulés ;
- à l'occasion de l'extension d'un réseau de chaleur ayant une chaudière aux plaquettes en base ; une seconde chaudière bois, fonctionnant aux granulés et de puissance moindre que celle déjà en place, peut être installée pour assurer les besoins de chauffage et eau chaude sanitaire en demi-saison et l'été (il convient toutefois de valider que c'est effectivement plus intéressant que d'ajouter une chaudière aux plaquettes).

En exemple de ce type d'installations, on peut citer celles de :

- Périgueux (24), quartier de Gour de l'Arche : 2,5 MW plaquettes + 1 MW granulés ;
- Ambert (63) : 1,1 MW plaquettes + 1 MW granulés ;
- Saint-Germain-l'Herm (63) : 1,5 MW plaquettes + 0,6 MW granulés ;
- Ardes (63) : 700 kW plaquettes + 500 kW granulés ;
- Gy (70) : 220 kW plaquettes + 200 kW granulés.

Enfin, un seul cas de **granulés utilisés en base d'un réseau de chaleur** a été identifié dans le cadre de l'étude : celui d'un éco-quartier à Carrières-sous-Poissy (78) : 600 kW granulés avec appoint au gaz naturel.

L'étude réalisée en 2011 par le SNPGC et le CIBE pour l'ADEME et la DRAAF des Pays-de-la-Loire comportait des simulations relatives à l'usage de granulés sur réseau de chaleur. Les éléments récupérés dans le cadre de la présente étude n'ayant pas été suffisants pour en conduire de nouvelles, les conclusions de l'étude de 2011 sont rappelées car toujours valables dans la grande majorité des cas :

- **l'usage des granulés, pour assurer la base des besoins du réseau, n'est pas économiquement compétitif face aux plaquettes ;**
- **l'installation d'une chaudière aux granulés pour assurer l'appoint des plaquettes (le secours restant assuré par une chaudière conventionnelle) présente des atouts :**
 - o **le coût global de la chaleur est du même ordre de grandeur que celui d'une installation plaquettes / énergie fossile ;**
 - o **l'intérêt environnemental d'une telle solution est accentué, puisqu'elle permet de remplacer plus d'énergie fossile (taux de couverture des besoins par le bois supérieur à 90 %).**

L'étude de 2011 mentionnait également que la création d'un réseau de chaleur alimenté par une chaufferie centrale plaquettes / granulés est par ailleurs une solution particulièrement satisfaisante au plan technique **en cas d'évolution programmée des besoins du réseau à la hausse sur plusieurs années** (cas de la création d'une ZAC par exemple). Elle permet en effet de limiter le risque dû à un fonctionnement en sous régime de la chaudière aux plaquettes lors des premières années d'exercice ou en cas de retard de livraison des constructions programmées.

6. Annexe : méthodologie de recueil des données

6.1. Méthodologie d'identification de la logique présidant à la réalisation des installations aux granulés de bois

Afin de déterminer la logique amenant à la réalisation d'installations aux granulés de bois, des entretiens avec différents « experts » de la filière ont été réalisés. Ces experts sont composés de chefs de projet en bureau d'étude, d'animateurs bois-énergie, de producteurs/distributeurs de granulés, de fournisseurs d'équipements et d'exploitants de chauffage. L'objectif de ces échanges est de déterminer les arbres de décision réels et idéaux qui permettent de choisir entre la solution au granulé et la solution plaquette selon la situation étudiée.

6.1.1. Structure du questionnaire expert

En amont de l'entretien les experts interrogés se sont vu remettre un questionnaire présentant la trame des points abordés lors de l'interview (cf. annexe dédiée). Ce questionnaire a été conçu pour couvrir toutes les phases du montage de projet de chaufferies aux granulés, de l'idée du combustible jusqu'à la phase d'exploitation de l'installation. Le but de ces échanges étant de déterminer la logique amenant à choisir la solution au granulé, le questionnaire met l'accent sur la phase d'avant-projet de la chaufferie. On peut décomposer ce questionnaire en plusieurs phases :

- Présentation de la structure pour laquelle l'expert travaille : activité, nombre de salariés, territoire d'intervention...

Description des différentes phases du projet :

- Émergence du projet/Note d'opportunité : est-ce que le granulé est toujours envisagé ? Qui propose l'idée du granulé ? Quand ?

- Étude du projet/Critères de choix du granulé : étapes du projet, acteurs impliqués, critères techniques et économiques influençant le choix du granulé par rapport aux solutions plaquette et fossile...

- Conception/Réalisation : spécificité du plan d'approvisionnement, cœur de marché en termes de puissance chaudière, spécificité de construction, évolution du nombre de projets aux granulés depuis 10 ans.

- Mise en service/Exploitation : Pannes fréquemment rencontrées, comment les éviter, projets marquants réalisés récemment...

Le même questionnaire est soumis aux différents experts pour homogénéiser les réponses et déterminer quelles sont les étapes du projet connues par les différents acteurs. Cependant certains interlocuteurs, avec un domaine d'expertise bien spécifique (producteurs/distributeurs de granulés ainsi qu'aux fournisseurs d'équipements), se verront remettre un guide d'entretien qui fait le focus sur les questions les concernant particulièrement. Ce guide spécifique permet de rassurer les acteurs qui ne se reconnaissent pas spécialement dans le questionnaire expert général.

6.1.2. Choix des experts

Les experts sont choisis tout d'abord pour représenter au mieux la diversité des acteurs de la filière, mais également de façon à avoir une vision à différentes échelles de chaque activité. Des structures d'animation opérant à l'échelle départementale n'auront pas la même vision de la filière que des structures régionales. De même, des industriels ayant une activité au niveau national, n'auront pas la même expertise que des entreprises travaillant sur un territoire moins vaste. Il est également intéressant de comparer les professionnels dont le granulé constitue le cœur d'activité et ceux chez qui il ne représente qu'une part minoritaire du chiffre d'affaire. Propellet, le SNPGB et le CIBE ont proposé des structures et des interlocuteurs qualifiés afin d'avoir des retours de qualité. La liste des experts interrogés ainsi que la retranscription des échanges est confidentielle, seule une synthèse agrégée sera présentée dans la suite de ce rapport.

6.1.3. Synthèse des échanges

Les premiers experts interrogés ont été des animateurs bois-énergie ainsi que des bureaux d'études pour avoir une vision générale du montage de projets de chaufferies aux granulés. L'avis des producteurs, fabricants de chaudières et exploitants sont venu préciser certaines questions soulevées par les animateurs et bureaux d'étude, notamment à propos de la livraison du combustible. Parmi les 18 entretiens réalisés on compte 5 animateurs, 3 bureaux d'études, 5 fabricants de chaudières, 2 exploitants de chauffage et 3 producteurs de granulés.



6.1.4. Questionnaires d'entretien «expert »

Questionnaire d'entretien (À consulter avant notre échange téléphonique)

Dans l'objectif de dynamiser le développement du bois-énergie, le CIBE, avec le soutien de l'ADEME, effectue un retour d'expériences sur la logique présidant à la réalisation des installations aux granulés de bois. Cet entretien a également pour but d'identifier les installations correspondant à des situations cibles pour lesquelles un retour d'expérience approfondi est attendu. Ces situations cibles sont les suivantes :

- Chaufferie dédiée de secteur collectif et tertiaire :
 - Logements
 - Etablissement sanitaire/social
 - Etablissement d'enseignement
 - Piscine
 - Autre activité tertiaire
- Réseau de chaleur :
 - Avec granulé de bois en base
 - Avec granulé de bois en appoint du bois déchiqueté
 - Avec granulé de bois dans le cas d'une montée en puissance étalée dans le temps
- Chaufferie industrielle :
 - Chauffage des locaux
 - Besoins thermiques de process

A cette fin, le présent questionnaire est soumis à divers acteurs de la filière bois-énergie. L'utilisation et la diffusion des résultats obtenus par exploitation des réponses sont réalisées de manière agrégée (les données propres à votre interview ne seront pas diffusées).

1. Pouvez-vous présenter votre structure ?

- a. Activité
- b. Nombre de salariés
- c. Territoire d'intervention
- d. Intensité de l'activité granulé (part dans le chiffre d'affaires, part dans le nombre d'études bois / d'installations bois)

Émergence du projet/Note d'opportunité

2. Lors d'un projet bois-énergie, la solution granulés est-elle envisagée ? (par rapport aux plaquettes)

- a. Systématiquement
- b. Souvent
- c. Rarement
- d. Jamais

3. Qui propose l'idée du chauffage aux granulés en règle générale ?

- a. MO
- b. Animateur
- c. Bureau d'étude
- d. Architecte
- e. Fournisseur de chaudières granulés
- f. Fournisseur de granulés

4. A quel moment le choix du granulé est-il effectué ?

- a. Dès le début du projet
- b. Après note d'opportunité
- c. Après l'étude de faisabilité

Étude du projet granulé

5. **Quelles étapes sont présentes dans l'étude d'un projet granulé ?**
 - a. Note d'opportunité seule
 - b. Étude de faisabilité seule
 - c. Les deux
6. **Qui réalise ces études ?**
 - a. Animateur
 - b. Bureau d'étude
 - c. Fournisseur de chaudières à granulés
7. **Quels sont les critères techniques qui rendent la solution granulés préférable à la solution plaquettes ?**
 - a. Contrainte d'espace
 - b. Contrainte d'accessibilité
 - c. Intermittence d'usage de la chaudière
 - d. Puissance de la chaudière
 - e. Simplicité d'usage
8. **Quels sont les critères économiques qui influencent le choix du granulé ?**
 - a. Aides disponibles
 - b. Montant total d'investissement
 - c. Coût de la chaleur
9. **Pour quels types d'installations le choix du granulé est-il intéressant ?**
 - a. Logements
 - b. École
 - c. Maison de retraite/hôpital
 - d. Piscine
 - e. Industrie
10. **L'accès à des données techniques et économiques récentes et vérifiées pour la conception de notes d'opportunité est-il aisé ?**
 - a. Très aisé
 - b. Plutôt aisé
 - c. Plutôt difficile
 - d. Très difficile
11. **Le temps nécessaire pour une étude de faisabilité de projet granulés est-il plus long que pour un projet plaquettes ? (À puissance installée équivalente)**
 - a. Oui, il est en général plus long
 - b. Non, il est en général plus court
 - c. Les durées sont comparables

Conception/réalisation

12. **Y a t ils des spécificités pour un plan d'approvisionnement granulés qu'il n'y aurait pas pour un approvisionnement plaquettes ?**
 - a. Certification sur la qualité du combustible
 - b. Provenance du combustible
 - c. Stabilité des prix de combustibles
13. **Sur quelle gamme de puissance de chaudières granulés le marché est-il focalisé ?**
 - a. 50 kW < P < 299 kW
 - b. 300 kW < P < 999 kW
 - c. >1 MW



14. Quelles évolutions avez-vous constaté depuis 2011 sur la réalisation de projets aux granulés de bois ?

- a. Augmentation des projets petites puissances ($50\text{kW} < P < 299\text{kW}$)
- b. Augmentation des projets moyennes puissances ($299\text{kW} < P < 999\text{kW}$)
- c. Augmentation des projets grandes puissances ($P > 1\text{MW}$)
- d. Diminution des projets petites puissances ($50\text{kW} < P < 299\text{kW}$)
- e. Diminution des projets moyennes puissances ($299\text{kW} < P < 999\text{kW}$)
- f. Diminution des projets grandes puissances ($P > 1\text{MW}$)

15. Y a-t-il des montages financiers plus adaptés aux projets granulés qu'aux projets plaquettes ?

- a. Oui
- b. Non
 - i. Si oui, lesquels ?

Mise en service industriel

16. Quels sont les problèmes fréquemment rencontrés lors de la mise en route d'une chaufferie granulés ?

- i. Comment pourrait-on les éviter ?

Exploitation

17. Quels sont les pannes les plus fréquentes sur des installations granulés ?

- i. Comment pourrait-on les éviter ?

18. Quels sont les projets les plus marquants réalisés depuis 2011 ? (Un exemple positif, un exemple négatif)

- i. Possibilité de REX sur ces projets ?

Guide d'entretien à destination des fournisseurs d'équipements de chauffage

(À consulter avant notre échange téléphonique)

Dans l'objectif de dynamiser le développement du bois-énergie, le CIBE, avec le soutien de l'ADEME, effectue un retour d'expériences sur la logique prévalant à la réalisation des installations aux granulés de bois. L'utilisation et la diffusion des résultats obtenus par exploitation des réponses sont réalisées de manière agrégée (les données propres à votre interview ne seront pas diffusées).

1. Pouvez-vous présenter votre structure ?

- a. Activité
- b. Nombre de salariés
- c. Territoire d'intervention
- d. Intensité de l'activité granulé (part dans le chiffre d'affaires, part dans le nombre d'études bois / d'installations bois)

2. Aujourd'hui, votre entreprise est-elle présente sur le marché des chaufferies collectives et industrielles ?

a. Si non :

- i. Y a-t-il une volonté de ne pas se positionner sur ce marché ?
- ii. Quelles sont les contraintes qui ne permettent pas le développement de cette activité ?

b. Si oui :

- i. Quel sont les raisons qui vous ont poussé vers ce marché ? (Économique ? Opportunité particulière ? Diversification de l'activité ?)
- ii. Proposez-vous la solution granulé aux maitres d'ouvrages d'installation collectives/industrielles ?
- iii. Quelles sont les types de chaufferies concernées ? (Puissance, usage)
 1. Logements
 2. École
 3. Maison de retraite/hôpital
 4. Piscine
 5. Industrie
- iv. Quels sont les particularités de la gamme de chaudières granulés que vous proposez ?
 1. Puissance
 2. Possibilité de fractionnement de la puissance (mise en cascade de plusieurs chaudières)
 3. Chaudières mixtes granulés plaquettes
 4. Type de convoyage
 5. Solution clé en main chaudière + silo
 6. Fumisterie (longueur de cheminée ? Type de filtre ?)
 7. Évacuation des cendres
- v. Quels sont les critères techniques qui rendent la solution aux granulés préférable à la solution plaquettes ?
 1. Contrainte d'espace
 2. Contrainte d'accessibilité
 3. Intermittence d'usage de la chaudière
 4. Puissance de la chaudière
 5. Simplicité d'usage
- vi. Quels sont les recommandations de réglages fournies aux exploitants ?
- vii. Quels problèmes ont été rencontrés sur les chaudières livrées ?
 1. Accident de convoyage



2. Difficultés pour maîtriser la combustion
3. Difficultés pour gérer les fumées
4. Difficultés pour évacuer les cendres

viii. Sur quelle gamme de puissance la R&D se concentre-t-elle aujourd'hui ?

ix. Quels sont les projets marquants réalisés depuis 10 ans ? (Des chaufferies où un retour d'expérience du maître d'ouvrage serait intéressant ?)

3. A l'avenir, l'entreprise compte-t-elle se positionner sur le marché du chauffage collectif/industriel au granulé ?

a. Si non :

- i. Quelles sont les raisons qui expliquent ce choix ? (Intérêt économique limité ? autres ?)
- ii. Quels sont les facteurs qui pourraient vous faire changer d'avis ?
 1. Volonté des pouvoirs publics de développer le chauffage collectif/industriel au granulé
 2. Autres, précisez

b. Si oui :

- i. Est-ce un « simple » poursuite de l'activité actuelle ?
- ii. Y a-t-il une volonté de démarrer/accroître l'activité actuelle sur le collectif/industriel ?
 1. En remplacement d'une part de la production à destination du domestique
 2. En augmentation de l'activité actuelle dédiée au collectif/industriel
 3. Pour quels types d'installations (usage, puissance)
 4. En association avec d'autres acteurs de la filière (animateurs bois énergie, bureaux d'étude, fournisseurs de combustible...)

Guide d'entretien à destination des producteurs de granulés (À consulter avant notre échange téléphonique)

Dans l'objectif de dynamiser le développement du bois-énergie, le CIBE, avec le soutien de l'ADEME, effectue un retour d'expériences sur la logique présidant à la réalisation des installations aux granulés de bois. L'utilisation et la diffusion des résultats obtenus par exploitation des réponses sont réalisées de manière agrégée (les données propres à votre interview ne seront pas diffusées).

1. Pouvez-vous présenter votre structure ?

- a. Activité
- b. Nombre de salariés
- c. Territoire d'intervention
- d. Intensité de l'activité granulé

2. Aujourd'hui, votre entreprise est-elle présente sur le marché des chaufferies collectives et industrielles ?

a. Si non :

- i. Y a-t-il une volonté de ne pas se positionner sur ce marché ?
- ii. Quelles sont les contraintes qui ne permettent pas le développement de cette activité ?

b. Si oui :

- i. Quel sont les raisons qui vous ont poussé vers ce marché ? (Économique ? lissage de l'activité estivale ? opportunité particulière ?)
- ii. Proposez-vous la solution granulé aux maitres d'ouvrages d'installation collectives/industrielles ?
- iii. Quelles sont les types de chaufferies concernées ? (Puissance, usage)
 1. Logements
 2. École
 3. Maison de retraite/hôpital
 4. Piscine
 5. Industrie
- iv. Quels sont les particularités des contrats d'approvisionnement pour ces installations ?
 1. Qualité du combustible, certification
 2. Rayon d'approvisionnement moyen
 3. Prix du combustible
 4. Durée du contrat d'approvisionnement (obligations particulières ?)
 5. Moyen de livraison (type de camion ? passage par un transporteur intermédiaire ? reprise de fines et consignes de sécurité lors du remplissage du silo ?)
 6. Fréquence de livraison (hebdomadaire ? mensuelle ? livraisons en période estivale ?)
- v. Quels problèmes ont été rencontrés lors de la livraison de combustible ?
 1. Surpression dans le silo
 2. Accessibilité de la chaufferie

3. À l'avenir, l'entreprise compte t elle se positionner sur le marché du chauffage collectif/industriel au granulé ?

a. Si non :

- i. Quelles sont les raisons qui expliquent ce choix ? (Intérêt économique limité ? autres ?)
- ii. Quels sont les facteurs qui pourraient vous faire changer d'avis ?
 1. Volonté des pouvoirs publics de développer le chauffage collectif/industriel au granulé
 2. Autres, précisez

b. Si oui :

- i. Est-ce un « simple » poursuite de l'activité actuelle ?



- ii. Y a-t-il une volonté de démarrer/accroître l'activité actuelle sur le collectif/industriel ?
 - 1. En remplacement d'une part de la production à destination du domestique ou en accroissement de la production
 - 2. Pour quels types d'installations (usage, puissance)
 - 3. En association avec d'autres acteurs de la filière (animateurs bois énergie, bureaux d'étude, fournisseurs d'équipement)

6.2. Méthodologie pour déterminer les zones de pertinence technico-économique des installations aux granulés de bois

Cette phase de l'étude consiste à déterminer la pertinence économique des installations aux granulés de bois par rapport à la plaquette et aux énergies fossiles. Un simulateur (tableur Excel) permettant la comparaison des différents scénarios en coût total a été actualisé à partir de celui de l'étude de 2011.

6.2.1. Méthodologie

En 2011 les auteurs de l'étude ont eu du mal à trouver des données économiques, sur un nombre conséquent d'installations aux granulés, afin d'alimenter le simulateur. Ainsi une grande partie des données récoltées à l'époque provient de l'étranger (chaufferies allemandes notamment). Malgré l'application d'hypothèses correctives l'utilisation de ces données reste une solution de dernier recours. Cette nouvelle étude se base sur les données de chaufferies françaises récoltées en 2019.

6.2.2. Champ de l'étude

Afin que le simulateur soit pertinent dans le plus grand nombre de cas de figure, le champ des simulations se restreint aux conditions suivantes :

- Les situations cibles sont les chaufferies dédiées des secteurs suivants :
 - Logements
 - Médico-social
 - Enseignement
 - Piscine
 - Autre activité tertiaire
- Le granulé de bois non traité thermiquement sera le seul granulé considéré.
- La plage de puissance étudiée se situe entre 50 et 600 kW (puissance bois sortie chaudière).
- La plage des besoins thermiques se situe en dessous de 2 500 MWh utiles.
- On pourra considérer une chaudière unique ou plusieurs chaudières en série.
- La condensation et la micro-cogénération sont exclues de la simulation.

6.2.3. Choix des régions pour la collecte des données économiques

Chaque année, une campagne de récolte de données techniques générales est mise en place, pour alimenter la base d'informations du CIBE. Le recensement du CIBE fait état de 1 156 installations de plus de 50 kW aux granulés en 2018. Le choix a été d'essayer de récupérer les données économiques approfondies sur 150 installations, soit 13% des installations en place, pour avoir un simulateur solide statistiquement. Les données attendues pour les installations renseignées sont :

- Informations générales : localisation du site, type de bâtiment à chauffer, âge de la chaufferie.
- Informations techniques : puissance de l'installation, consommation de combustible, type de combustible d'appoint.
- Informations économiques :
 - Montant d'investissement avec détail des postes de dépenses : process bois, process appoint, génie civil, filtre, réseau, ingénierie.
 - Montant d'exploitation : Achat de combustible bois + appoint, électricité, entretien courant, provision pour grosses réparations.
 - Montant d'aides publiques
 - Année de collecte des données économiques

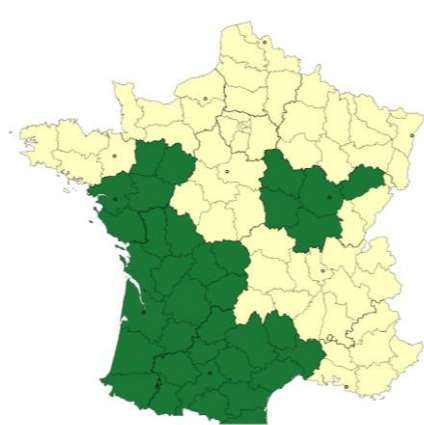
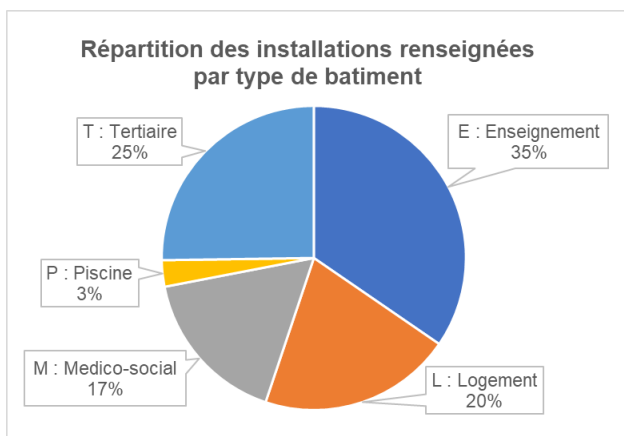
Parmi ces installations, doivent être intégrés tous les cas types identifiés, ainsi qu'une large gamme de puissance de chaudières. Afin de faciliter la récolte des données, nous avons choisi de restreindre l'aire de recherche à 3 régions présentant un intérêt vis-à-vis des chaufferies aux granulés. L'idée de cette restriction est d'avoir besoin de solliciter le moins d'animateurs bois-énergie que possible, pour nous aider à récolter ces données.

Les premiers critères de choix se basaient sur la puissance cumulée ainsi que le nombre d'installations aux granulés par région. Ces critères ont pour défaut de mettre en évidence les plus grandes régions géographiques en termes de surface et de population. Or ces régions présentent bien souvent des structures d'animation bois-



énergie morcelées par département et donc un grand nombre d'animateurs à solliciter pour avoir les informations de la région entière. Forts de ce constat, nous avons décidé de cibler les territoires présentant une forte concentration d'installations aux granulés de plus de 300 kW (qui sont plus rares que celles de plus faible puissance). On compte seulement 88 installations de ce type sur les plus de 1 100 recensées. Les territoires ciblés doivent également proposer une structure d'animation unique pour la récolte des données. Cette seconde analyse nous a orientés vers six territoires pour lesquels le renseignement de 25 installations (en ciblant en priorité les fortes puissances) était attendu. Nous estimions un total de 140 – 150 installations. Cependant, certains animateurs ne pouvaient pas répondre favorablement à notre requête à cause d'un agenda ne laissant pas le temps pour une telle enquête.

Finalement, des données ont été récoltées en Occitanie, Nouvelle Aquitaine, Pays de la Loire et Bourgogne Franche Comté. En prenant en compte la disponibilité de nos interlocuteurs on estimait, au début de la campagne de récolte des informations, que la base de données comportera environ 130 installations.



Répartition géographique des installations au granulé renseignées par les animateurs bois-énergie

6.2.4. Collecte de données économiques

Les animateurs des territoires définis précédemment se sont vu remettre un tableur Excel à compléter avec les informations attendues. Après les retours des structures sollicitées, la base de données comporte finalement des chiffres exploitables pour 107 installations. Parmi ces installations on compte 37 établissements d'enseignement (E), 22 installations pour le chauffage de logements (L), 18 établissements médico-sociaux (MS), 3 piscines (P) et 27 établissements tertiaires (T).

Le détail concernant le régime de l'installation, chaufferie dédiée ou réseau de chaleur (juridique), est indiqué pour 45 de ces installations : 35 chaufferies dédiées et 10 réseaux de chaleur

6.2.5. Questionnaire d'entretien "maître d'ouvrage"

Retour d'expériences sur l'utilisation des granulés de bois en chaufferies collectives et industrielles

Questionnaire d'entretien (À consulter avant notre échange téléphonique)

Dans l'objectif de dynamiser le développement du bois-énergie en chaufferies collectives et industrielles, le CIBE, avec le soutien de l'ADEME, effectue un retour d'expériences sur l'étude d'utilisation des granulés de bois en chaufferies collectives et industrielles et l'articulation avec l'usage des plaquettes et broyats : une meilleure connaissance des choix effectués en la matière permet de promouvoir les bonnes pratiques et d'identifier les éventuels freins en vue de les lever.

A cette fin, le présent questionnaire est soumis à divers maîtres d'ouvrage d'installations aux granulés de bois dans le collectif et l'industrie. L'utilisation et la diffusion des résultats obtenus par exploitation des réponses sont réalisées de manière agrégée (les données propres à un maître d'ouvrage et/ou une installation ne sont pas diffusées).

Présentation de la structure interrogée

0. Pouvez-vous présenter brièvement votre structure (entreprise/collectivité) ?
 - a. Contexte : activité / localisation
 - b. Nombre de salariés / habitants

1. Pouvez-vous présenter rapidement votre chaufferie ?
 - a. Puissance totale
 - b. Puissance chaudière granulé
 - c. Énergie d'appoint/secours
 - d. Quantité de chaleur produite
 - e. Consommation annuelle de granulés
 - f. Capacité de stockage du silo
 - g. Chaufferie dédiée ? réseau de chaleur ?

Idee des granulés

2. Comment avez-vous eu connaissance de la possibilité d'utiliser le granulé de bois comme source d'énergie ?
 - a. Par l'animateur bois-énergie régional / départemental
 - b. Par la filière professionnelle (syndicat, centre technique) / par un réseau de collectivités
 - c. Par la presse du secteur de l'énergie / du secteur des collectivités
 - d. Par un industriel / une entreprise / une collectivité utilisant déjà le bois comme source d'énergie
 - e. Autre (préciser)

3. À quel moment l'option granulé de bois a-t-elle été envisagée dans ce projet ?
 - a. Dès l'émergence du projet
 - b. Après note d'opportunité
 - c. Après étude de faisabilité
 - i. À quel moment le choix entre plaquettes et granulés a-t-il été fait ?

4. Quelle est la motivation principale qui a permis la réalisation de votre projet bois-énergie ?
 - a. Diminution du coût de l'énergie consommée
 - b. Bénéfice d'une aide financière à l'investissement
 - c. Amélioration de l'impact environnemental de l'activité
 - d. Volonté de valoriser une ressource locale
 - e. Image positive liée à l'utilisation d'une énergie renouvelable
 - f. Autre (préciser)



Étude du projet aux granulés

5. Quelles ont été les étapes d'étude du projet granulés ?
 - a. Note d'opportunité seule
 - b. Étude de faisabilité seule
 - c. Les deux

6. Qui a réalisé l'étude de pré-faisabilité ?
 - a. Personnel interne à l'entreprise / à la collectivité
 - b. Bureau d'étude extérieur
 - c. Société de services en efficacité énergétique
 - d. Société spécialisée en conception / construction bois-énergie
 - e. Animateur bois-énergie

7. Qui a réalisé l'étude de faisabilité ?
 - a. Personnel interne à l'entreprise / à la collectivité
 - b. Bureau d'étude extérieur
 - c. Société de services en efficacité énergétique
 - d. Société spécialisée en conception / construction bois-énergie

8. Avez-vous fait appel à un assistant à maîtrise d'ouvrage ?
 - a. Oui
 - b. Non

Choix des granulés

9. Quels sont les critères techniques qui ont rendu la solution aux granulés préférable à la solution plaquettes ?
 - a. Contrainte d'espace
 - b. Contrainte d'accessibilité
 - c. Intermittence d'usage de la chaudière
 - d. Puissance de la chaudière principale
 - e. Simplicité d'usage

10. Quels sont les critères économiques qui influencent le choix du granulé ?
 - a. Aides disponibles
 - b. Montant total d'investissement
 - c. Coût de la chaleur

Réalisation

11. Quel choix a été effectué pour la réalisation de l'installation ?
 - a. Externalisation de l'ensemble conception / réalisation / exploitation à une société de services en efficacité énergétique
 - b. Externalisation de la conception / réalisation à société spécialisée en conception / construction bois-énergie
 - c. Maîtrise d'œuvre externe « classique »
 - d. Maîtrise d'œuvre assurée en interne
 - i. Précisions sur réponses à la question précédente
 1. Pourquoi ce choix ?
 2. Les autres possibilités ont-elles été envisagées ? Si oui, pourquoi n'ont-elles pas été retenues ?
 3. Avec le recul, pensez-vous que le choix effectué est effectivement le bon choix ? Si non, pourquoi ?

Exploitation

12. Quel choix a été effectué pour l'exploitation de l'installation et la fourniture de combustible ?

- a. Contrat de résultat incluant l'approvisionnement en combustible avec une société de services en efficacité énergétique
 - b. Contrat d'exploitation / maintenance avec une société externe et contrat de fourniture de combustible avec un fournisseur de combustible
 - c. Conduite / maintenance courante réalisées en interne et contrat de fourniture de combustible avec un fournisseur de combustible
13. Précisions sur réponses à la question précédente
- a. Pourquoi ce choix ?
 - b. Les autres possibilités ont-elles été envisagées ? Si oui, pourquoi n'ont-elles pas été retenues ?
 - c. Avec le recul, pensez-vous que le choix effectué est effectivement le bon choix ? Si non, pourquoi ?
 - d. Quels problèmes ont été rencontrés lors des phases d'étude, de conception et de réalisation ? Comment ont-ils été résolus ?
14. Y a-t-il eu des dysfonctionnements majeurs de l'installation bois-énergie depuis sa mise en service ?
- a. Oui (détailler)
 - b. Non
15. Existe-t-il un plan de gestion des cendres ? (Récupération pour épandage par exemple)
- a. Oui (détailler)
 - b. Non

Approvisionnement en combustible

16. Quel prix de combustible a été négocié dans le contrat d'approvisionnement ?
17. Avez-vous rencontré des problèmes d'approvisionnement en combustible ?
- a. Oui (détailler)
 - b. Non

Financement

18. Comment ont été financés les travaux (hors subventions) ? (Plusieurs réponses possibles sauf si externalisation)
- a. Externalisation conception / réalisation / exploitation / financement à une société de services en efficacité énergétique
 - b. Emprunt bancaire « classique »
 - c. Emprunt bancaire spécifique à taux bonifié (préciser)
 - d. Crédit-bail
 - e. Participation d'un tiers investisseur
 - f. Fonds propres
 - g. Avance remboursable
 - h. Autre (préciser)
19. Précisions sur réponses à la question précédente
- a. Pourquoi ce choix ?
 - b. D'autres possibilités ont-elles été envisagées ? Si oui, lesquelles et pourquoi n'ont-elles pas été retenues ?
 - c. Avec le recul, pensez-vous que le choix effectué est effectivement le bon choix ? Si non, pourquoi ? Si oui, est-il toutefois possible d'envisager des pistes d'optimisation ?
 - d. Quels problèmes ont été rencontrés pour le financement de l'installation ?
 - e. Comment ont-ils été résolus ?
20. Avez-vous bénéficié de subventions ?
- a. Oui
 - b. Non
21. Si oui, de la part de quels fonds / organismes ? (Plusieurs réponses possibles)
- a. ADEME
 - b. Région
 - c. Département



- d. Fonds européens (FEDER...)
- e. Autre (préciser)

22. Précisions sur réponses à la question précédente

- a. Avez-vous rencontré des difficultés pour obtenir de l'information au sujet de ces aides ? Pour les mobiliser ?
- b. Quelles améliorations pourraient être apportées pour l'information au sujet des aides ? Pour leur mobilisation ?

Vente de chaleur

23. Y a-t-il vente de la chaleur produite par l'installation ?

- a. Oui
- b. Non
 - i. Si oui, dans quel cadre (réseau public, réseau privé...) et à quel prix ?

7. Annexe confidentielle : comptes rendus d'entretiens



INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Principales caractéristiques des granulés de bois définies dans la norme NF EN ISO 17225-2.....	10
Prix des granulés pour les chaufferies collectives (source : CIBE d'après CEEB et ADEME / CODA Stratégies)	16
Principales caractéristiques des « agro pellets » définies dans la norme NF EN ISO 17225-6	17
Caractéristiques comparées des granulés et plaquettes de bois (source : CIBE).....	19
Coûts d'investissement et d'exploitation pour une chaufferie dédiée utilisant une énergie fossile – Hypothèses utilisées pour les simulations.....	27
Coûts d'investissement et d'exploitation pour une chaufferie dédiée utilisant des plaquettes – Hypothèses utilisées pour les simulations.....	27
Coûts d'investissement et d'exploitation pour une chaufferie dédiée utilisant des granulés – Hypothèses utilisées pour les simulations	28
Grille 2020 du Fonds Chaleur pour l'aide forfaitaire à la production de chaleur à partir de biomasse (source : ADEME)	29
Puissance bois installée (en kW) en fonction du secteur et des besoins thermiques	37

FIGURES

Évolution de la production et du marché français du granulés de bois (en millions de tonnes) (source : SNPGB).....	11
Carte des producteurs de granulés de bois en France en 2018 (source : SNPGB)	12
Évolution des ventes et du parc d'appareils de chauffage domestique aux granulés de 2002 à 2019 (source : SNPGB et Propellet d'après ADEME / Observ'ER)	13
Répartition régionale de la puissance cumulée (en kW) des installations collectives et industrielles aux granulés de bois identifiées par le réseau des animateurs bois-énergie (Source : CIBE - 2019).....	14
Répartition régionale des puissances cumulées (en kW) et du nombre d'installations collectives et industrielles aux granulés de bois identifiées par le réseau des animateurs bois-énergie (source : CIBE).....	14
Répartition régionale de la consommation de granulés de bois par les installations collectives et industrielles identifiées par le réseau des animateurs bois-énergie (source : CIBE)	15
Prix des granulés en sortie d'usine (source : CEEB)	15
Principales caractéristiques des granulés de bois traité thermiquement définies dans la norme ISO/TS 17225-8.....	18
Stockage des granulés : silo textile (à gauche) et silo maçonné adossé à la chaufferie (à droite) (source : Propellet)	20
Livraison de granulés de bois par camion souffleur (source : Propellet).....	21
Ordres de grandeur de consommation annuelle d'énergie (source : Biomasse Normandie).....	22
Intermittence d'usage et intérêt du bois-énergie (source : Biomasse Normandie).....	22
Arbre de décision permettant de distinguer les situations pertinentes pour l'installation de chaufferies plaquettes ou granulés (source : CIBE)	25
Subventions considérées dans le cadre des simulations – Montant (€).....	29
Subventions considérées dans le cadre des simulations – Montant rapporté au surcoût d'investissement (%)	30
Subventions considérées dans le cadre des simulations – Montant rapporté à la production de chaleur bois sortie chaudière (€/MWh)	31
Dimensionnement thermique et principe de la biénergie (source : CIBE)	32
Exemple de décomposition du coût global de la chaleur produite à partir de combustibles fossiles (moyenne gaz naturel et fioul domestique), de granulés bois + appoint énergie fossile et de plaquettes bois + appoint énergie fossile.....	33
Influence relative de la variation de paramètres techniques et économiques sur le coût global de la chaleur produite à partir de plaquettes de bois (cas considéré : secteur résidentiel collectif, 1.000 MWh utiles par an)	35
Influence relative de la variation de paramètres techniques et économiques sur le coût global de la chaleur produite à partir de granulés de bois (cas considéré : secteur résidentiel collectif, 1.000 MWh utiles par an)	36
Secteur sanitaire et social : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles	37
Secteur résidentiel collectif : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles	38

Secteur de l'enseignement : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles.....	39
Secteur tertiaire : compétitivité des solutions bois face aux énergies fossiles	40
Évolution du point d'iso-coût global de la chaleur produite à partir de granulés de bois ou d'énergie fossile dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des prix de ces combustibles	41
Zones de pertinence respectives des granulés de bois et du combustible fossile dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des besoins thermiques et du rapport entre les prix des granulés et du combustible fossile (pour un prix des granulés variant de +/- 10 % autour de la valeur moyenne 2018) ...	42
Évolution du point d'iso-coût global de la chaleur produite à partir de granulés de bois ou de plaquettes de bois dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des prix de ces combustibles (pour un prix du combustible fossile d'appoint de 95 €TTC/MWhPCI).....	42
Zones de pertinence respectives des granulés de bois et des plaquettes de bois dans le secteur résidentiel collectif, en fonction des besoins thermiques et du rapport entre les prix des granulés et des plaquettes (pour une variation du prix des granulés de +/- 10 % autour de la valeur moyenne 2018 et un prix du combustible fossile d'appoint de 95 €TTC/MWhPCI)	43



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



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 un regard.



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



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.



ARTICULATION DES USAGES ENTRE GRANULES ET PLAQUETTES POUR LES CHAUFFERIES BIOMASSE

La consommation en granulés de bois des chaufferies collectives et industrielles en France ne représente qu'environ 5 % du marché français national des granulés, très largement dominé par les usages domestiques dans les poêles et les chaudières des particuliers, et seulement 2 % de l'énergie entrant dans les chaufferies collectives et industrielles (alors que le nombre de chaufferies aux granulés représente près de 20 % de l'ensemble), la très large majorité étant fournie par le bois déchiqueté (plaquettes forestières, connexes des industries du bois, broyats de bois en fin de vie...).

Face à ce constat, **il est important pour la filière bois-énergie de mieux connaître les chaufferies utilisant des granulés de bois et d'accompagner leur développement grâce à une meilleure appréhension de la logique présidant à leur réalisation et une connaissance approfondie de l'articulation possible entre l'usage des granulés et des plaquettes.** C'est la condition pour proposer une offre complète de solutions et toucher ainsi un plus large public. La présente étude vise à répondre à cette attente.



www.ademe.fr

