



Enquête des conditions d'exploitation des chaufferies automatiques à bois en Lozère et dans le Gard

Février 2010



La mission bois-énergie Lozère et Gard est cofinancée par l'Union Européenne. L'Europe s'engage en Languedoc-Roussillon avec le fonds européen de développement régional.

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

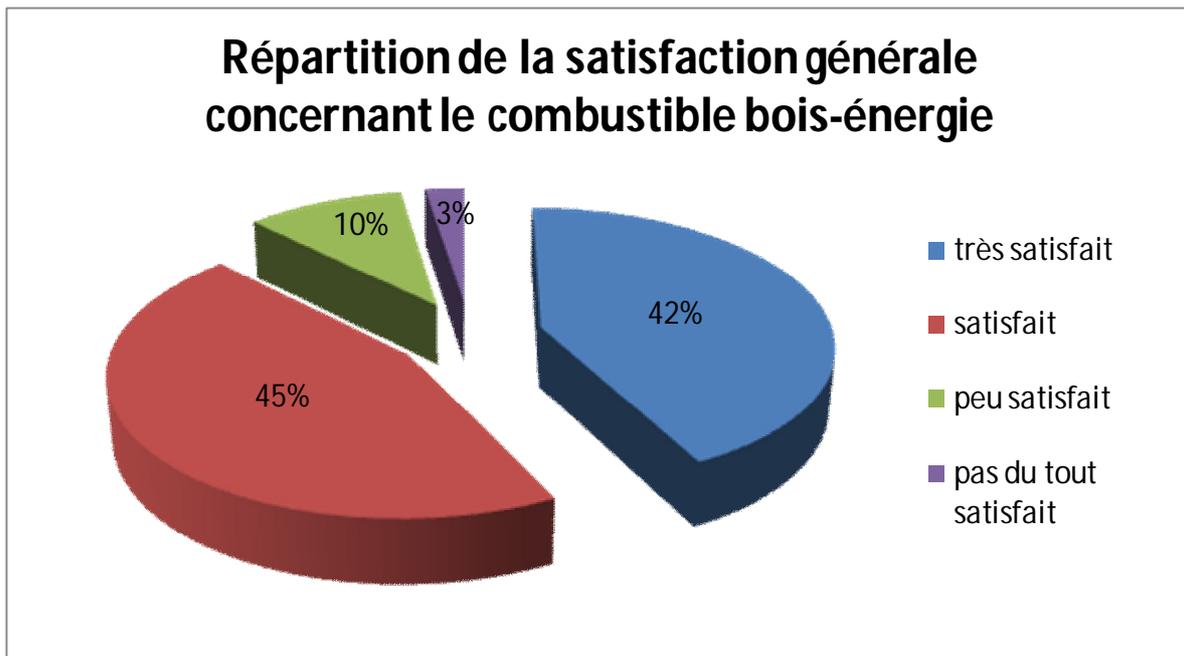


1.2.3 – Résultats

1.2.3.1 – Combustible

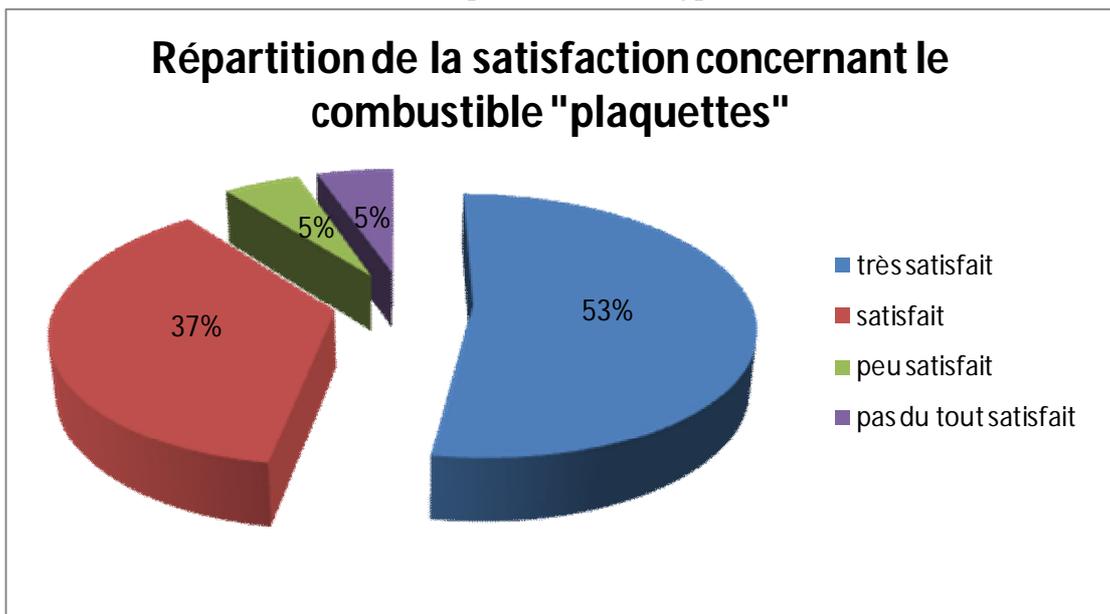
1.2.3.1.1 – Satisfaction relative au combustible

A la question : « êtes-vous satisfait du combustible bois utilisé ? », les maîtres d'ouvrage interrogés répondent de la façon suivante :

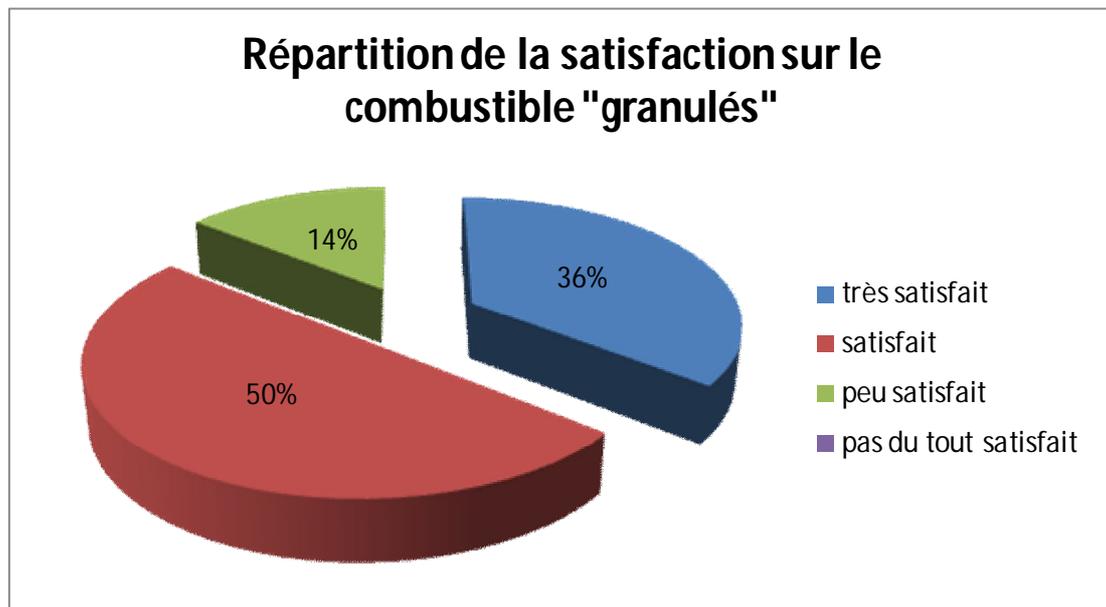


La satisfaction globale par rapport au combustible est donc très élevée : 87 % des maîtres d'ouvrage de chaufferies sont satisfaits ou très satisfaits.

Il a semblé intéressant de détailler ces réponses selon le type de combustible :



Concernant les plaquettes, la satisfaction est très positive. Seuls deux maîtres d'ouvrage sont l'un « peu satisfait » et l'autre « pas du tout satisfait », car ils ont subi des problèmes techniques de la chaudière (extinctions, goudronnage) liés à plusieurs livraisons de plaquettes excessivement humides.



Concernant le granulé, la proportion de « très satisfaits » diminue un peu, mais seuls deux maîtres d'ouvrage sont « peu satisfaits » et aucun n'est « pas du tout satisfait ». Pour les deux maîtres d'ouvrage peu satisfaits, ils déplorent une présence excessive de fines qui provoquent des arrêts techniques (blocage du système d'amenée du combustible, encrassement de la chaudière).

Les autres combustibles sont moins répandus et ne nécessitent pas de représentation graphique :

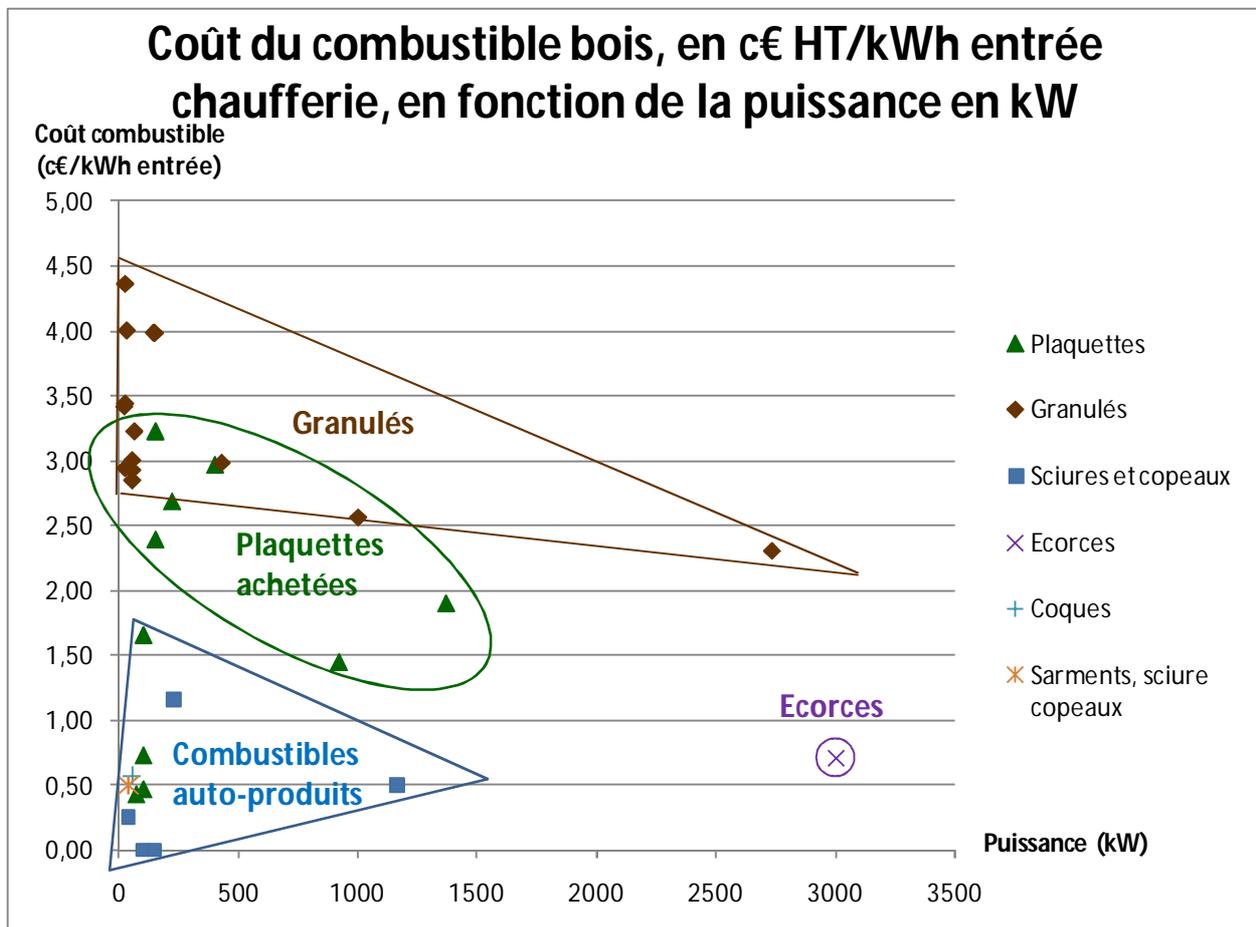
- pour le mélange de sciure et de copeaux : un maître d'ouvrage est « très satisfait », trois sont satisfaits. Cette bonne satisfaction vient du fait que ce combustible est utilisé dans les entreprises de la seconde transformation, dans des chaufferies qui y sont bien adaptées et avec des personnes qui connaissent bien les spécificités de l'installation et du combustible ;
- pour les sarments de vigne broyés, utilisés en mélange avec de la sciure et des copeaux : le seul maître d'ouvrage concerné est « peu satisfait », car les sarments sont difficiles à broyer, leur granulométrie peut causer quelques blocages de vis d'amenée, et ils génèrent beaucoup de cendres ; toutefois, ces inconvénients sont pondérés par le fait que cette ressource est disponible gratuitement et localement ;
- enfin, un maître d'ouvrage utilise des coques d'amande : même si ce combustible génère du mâchefer qui oblige à un nettoyage manuel et fréquent du foyer, il juge néanmoins ce combustible « très satisfaisant » compte tenu de la disponibilité locale et de la satisfaction de valoriser écologiquement un produit qui n'a guère d'autre débouché.

Pour résumer, le combustible bois est jugé « très satisfaisant » ou « satisfaisant » par 87 % des maîtres d'ouvrage enquêtés ; les problèmes cités sont très minoritaires et concernent essentiellement une humidité excessive pour les plaquettes et la présence excessive de fines dans les granulés.

1.2.3.1.2 - Coût du combustible bois

On constate que, parmi les maîtres d'ouvrage enquêtés qui achètent du combustible, tous maîtrisent en direct l'achat du combustible. Aucun n'a mis l'approvisionnement en combustible à la charge d'un exploitant par le terme P1 d'un contrat d'exploitation.

Le coût du combustible bois est ramené au kWh entrée chaufferie de façon à faciliter les comparaisons. Cela permet de dresser le graphique présenté en page suivante.



Commentaires :

- il y a de fortes disparités entre les différents combustibles. Les zones de prix constatées sont matérialisées par les ellipses et triangles tracés sur le graphique ;
- pour les granulés : dans les petites puissances, on constate une assez forte dispersion des prix payés : de 2,8 à 4,4 c€HT/kWh. C'est essentiellement la mesure de la différence entre les prix bon marché pratiqués par le fabricant industriel de granulés présent en Lozère, et les prix correspondant à des détaillants effectuant des livraisons de faible volume unitaire dans des lieux relativement reculés. Les plus grosses chaufferies paient un prix légèrement inférieur, ce qui s'explique par un prix intéressant consenti aux gros clients, mais pour autant, il est compréhensible que ce prix ne puisse pas non plus descendre beaucoup, compte tenu de la valeur ajoutée attachée à un produit qui relève d'une fabrication industrielle comportant des charges de fonctionnement et d'amortissement importantes et incompressibles ;
- pour la plaquette achetée : on constate que les chaufferies de puissance importance (de l'ordre du mégawatt) paient la plaquette nettement moins cher que les petites chaufferies. Cette différence vient du fait que les petites chaufferies nécessitent une plaquette fine et sèche (moindre production du broyage ; nécessité d'un stockage) et livrée par petits volumes, tandis que les plus grosses chaufferies bénéficient des tarifs bas qui vont avec

des volumes d'achat annuels plus importants, des livraisons par semi-remorque et une plaquette généralement plus grosse et plus humide. On remarque aussi que la plaquette la plus chère revient plus cher au kWh que le granulé le moins cher ;

- les écorces sont un combustible peu recherché, acheté en très gros volumes et livré à courte distance par semi-remorques, ce qui explique le prix très bas ;
- ainsi, les prix des combustibles commercialisés apparaissent globalement conformes à ceux constatés au niveau national (enquête de prix réalisée par la mission bois-énergie en 2007 ; recueil des prix pratiqués dans les départements voisins, réalisé courant 2008 et 2009 par la mission bois-énergie ; prix publiés par la revue *Bio énergie internationale*) ;
- concernant les combustibles auto-produits, la dispersion importante constatée vient du fait qu'il était demandé au maître d'ouvrage d'évaluer le prix de revient de son combustible. Certains ont considéré que le combustible était gratuit ; d'autres cherchent à évaluer le coût de leur temps de travail et des charges (fournitures, amortissement) nécessaire à cette production ; d'autres encore semblent évaluer la valeur de leur combustible en fonction du prix auquel ils pourraient le valoriser s'ils le vendaient à des tiers. Parce que la méthodologie de l'étude prévoyait d'interroger les maîtres d'ouvrage, et non pas d'appliquer une méthode de calcul standardisée se substituant à ces déclarations, on recueille sur ce point précis des données de qualité incertaine, qui mesurent au moins autant la valeur subjective attribuée par le maître d'ouvrage à son combustible, que son coût réel.

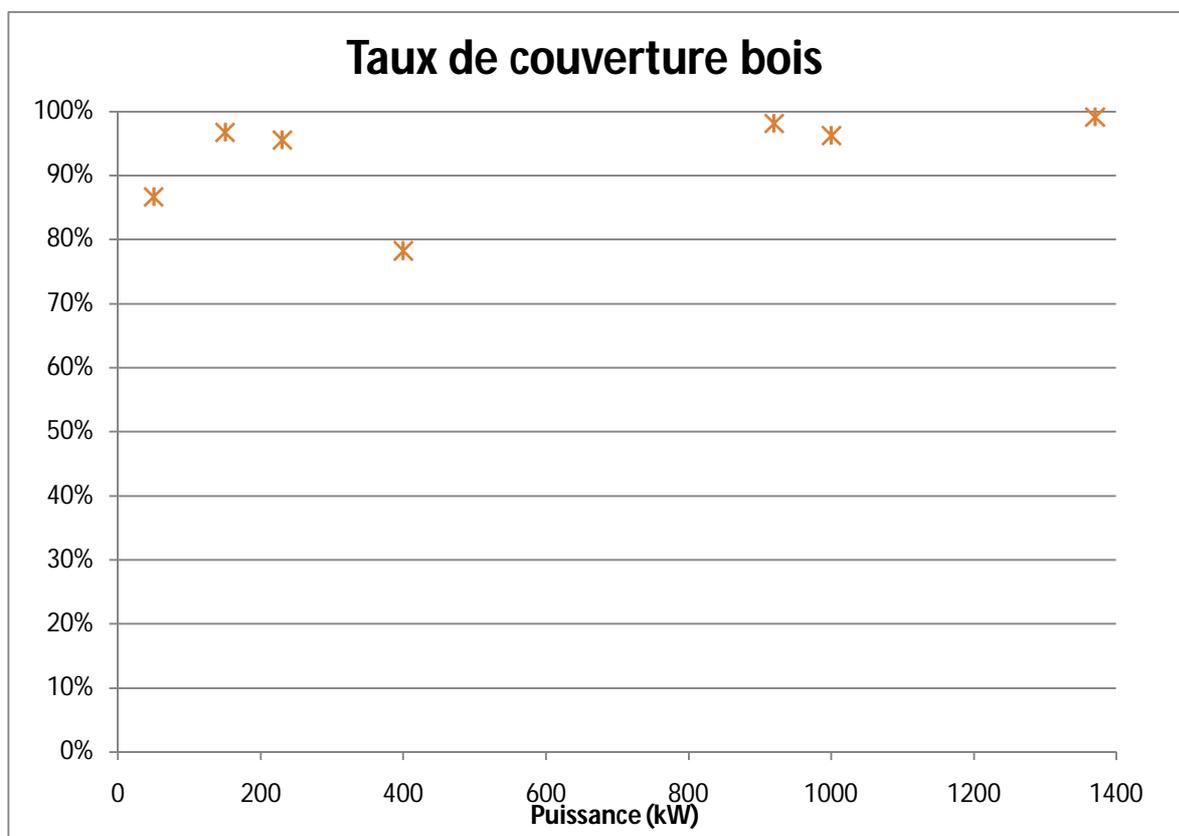
1.2.3.1.3 – Coût du combustible de l'appoint-secours

Onze chaufferies disposent d'un appoint ou secours :

- deux chaufferies de petite puissance sont associées à un système solaire thermique (chauffage + ECS) ;
- six chaufferies disposent de chaudières au fioul ;
- deux chaufferies disposent de chaudières au gaz (GPL en citerne) ;
- dans une installation, les systèmes de chauffage des différents bâtiments ont été conservés, ce qui fait que les installations d'appoint et secours recourent au fioul, au gaz ou à l'électricité selon les bâtiments.

Les éventuels ballons de production d'eau chaude sanitaire électrique utilisés hors saison de chauffe ne sont pas comptabilisés comme un appoint-secours.

Pour ces chaufferies comportant un appoint-secours, lorsque les consommations de celui-ci sont connues (ce qui exclut le solaire notamment), il est intéressant d'exprimer le taux de couverture des besoins par la chaufferie bois.



Interprétation et compléments :

- dans trois cas, le taux de couverture se révèle bien supérieur à ce qui était prévu. Parmi ceux-ci, on peut estimer que :
 - pour les deux premiers cas, cela est dû à une chaudière qui se révèle capable d'assurer la quasi-totalité des besoins, ce qui vient à son tour de la surévaluation des déperditions, du dimensionnement de la chaudière bois à plus de 50 % de la puissance totale calculée, et du fait que tous les bâtiments pressentis n'ont pas encore été raccordés ;
 - dans le dernier cas, des raisons similaires sont associées à une gestion habile du combustible, qui permet d'utiliser un combustible plus sec en hiver, relevant ainsi temporairement la puissance de la chaudière bois ;
- dans trois cas, la chaudière fioul ou gaz, prévue comme secours seul, fonctionne effectivement très peu (arrêts techniques de la chaudière bois), ce qui conduit à un taux de couverture très élevé ;
- dans un cas, les difficultés de fonctionnement de la première année, liée notamment à un combustible trop humide, a conduit à consommer davantage d'énergie d'appoint que prévu initialement ;
- dans un autre cas, la chaudière fioul, initialement prévue comme secours seul, fonctionne assez souvent, pour cause de rupture d'approvisionnement en bois ou d'arrêt technique de la chaudière bois. La chaudière bois semble être légèrement sous-dimensionnée même si le chauffage apporté par la chaudière bois seule, lorsqu'elle fonctionne, ne s'est jamais

avéré insuffisant. Ce fonctionnement du fioul depuis plusieurs années révèle que les problèmes d’approvisionnement en bois ou d’arrêts techniques n’ont jamais été totalement résolus. Le taux de couverture est néanmoins supérieur à 85 %.

Dans l’ensemble, les taux de couverture sont élevés, nettement supérieurs à la valeur « traditionnelle » de 80 %, ce qui indique un fonctionnement globalement satisfaisant des chaufferies bois. Le taux de couverture le plus bas est lié à des difficultés passagères dues principalement à un combustible trop humide. Le combustible ayant été amélioré, ce problème devrait être résolu rapidement. Une seule installation recourt durablement au secours fioul, tout en conservant un taux de couverture satisfaisant.

1.2.3.1.4 – Ratio consommation/puissance

La consommation en bois peut être convertie en « énergie sortie chaudière » en lui appliquant le rendement moyen annuel estimé de la chaudière. Cette énergie sortie chaudière (en kWh), divisée par la puissance nominale de la chaudière (en kW), donne la « durée annuelle de fonctionnement équivalent pleine puissance » (en heures).

Or, en thermique classique,

$$\text{Besoins}/P = 0,024 \times \text{DJU} / (\text{T réf} - \text{Tbase}) \times I$$

où :

Besoins : besoins thermiques du bâtiment (déperditions par les parois et le renouvellement d’air)

P : puissance de déperdition

DJU : degrés jours unifiés annuels, base 18°C

T réf : température standard à l’intérieur du bâtiment

T base : température de base telle que donnée par le DTU

I : facteur d’intermittence

Les DJU et la différence (Tréf – T base) étant tous les deux représentatifs de la « rigueur de l’hiver » d’un emplacement donné, leur ratio est à peu près constant partout en France (il varie entre 1600 et 2000 environ). En principe donc, le ratio Besoins/P ne devrait dépendre que de l’intermittence du bâtiment.

Néanmoins, lorsqu’on assimile l’indicateur « consommation/puissance » au ratio Besoins/P, il y a quatre approximations :

- le rendement moyen annuel de la chaudière est estimé ;
- en assimilant énergie sortie chaudière et besoins thermiques, on néglige trois facteurs :
 - l’influence des rendements de distribution, d’émission et de régulation ;
 - l’influence des apports gratuits ;
 - la part éventuelle de consommation dédiée à la production d’eau chaude sanitaire.

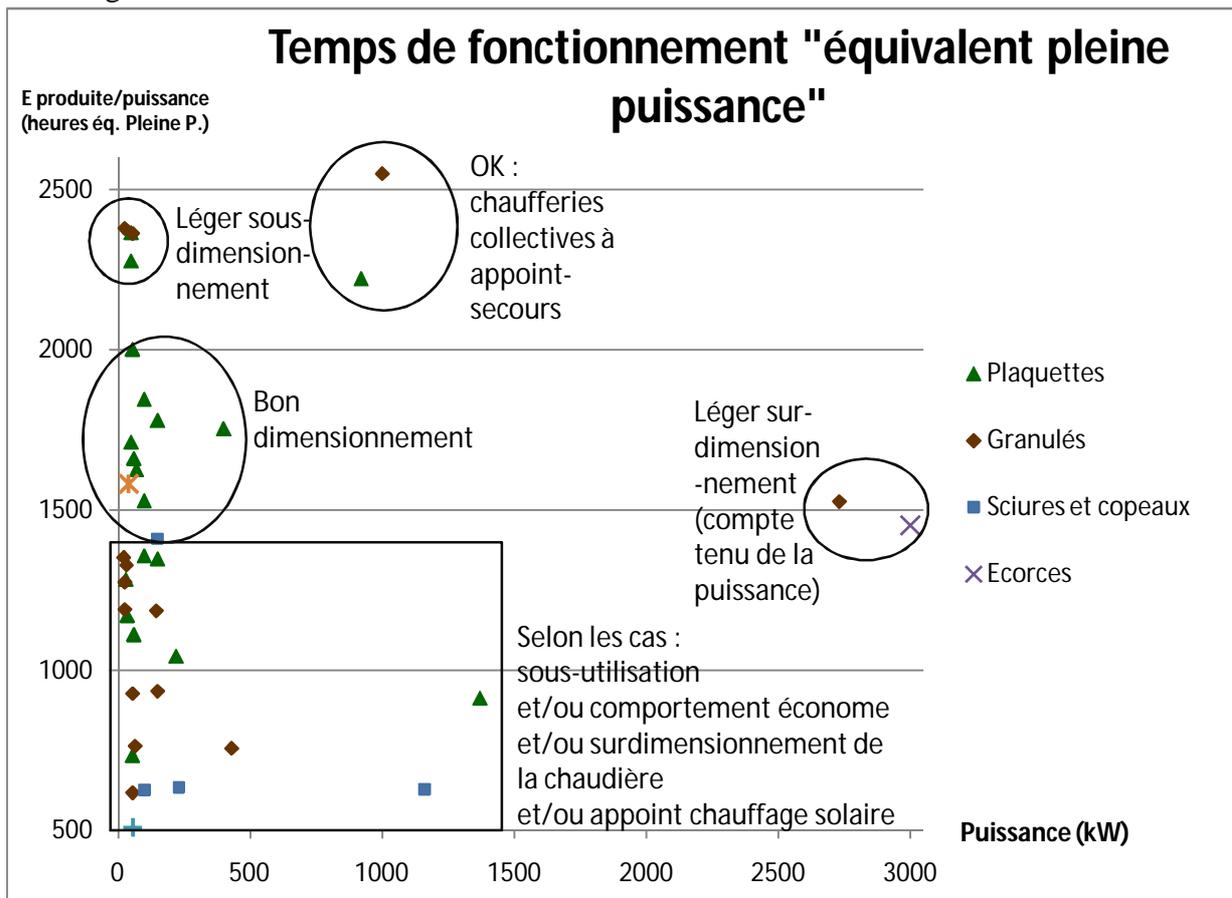
La valeur « consommation/puissance » est donc un indicateur intéressant et utile, mais il faut se garder d’interprétations trop catégoriques, compte tenu des approximations nécessaires à son calcul.

Pour les chaudières bois qui sont dimensionnées à la totalité de la puissance, la valeur consommation/puissance devrait donc être de l’ordre de 1800 heures pour un bâtiment chauffé à température constante toute l’année, et de l’ordre de 1000 à 1600 heures pour des bâtiments dont

l'intermittence d'utilisation permet la programmation de réduits de nuit et de phases de chauffage hors gel.

Pour les chaudières bois qui ne sont pas dimensionnées à la totalité de la puissance, le taux de couverture des besoins (typiquement 80 %) est supérieur au taux de couverture de la puissance (typiquement 50 %) : le ratio consommation/puissance de la chaudière bois devrait donc être nettement supérieur à 2000 heures.

Voici l'expression de ce ratio pour les chaufferies enquêtées, avec l'interprétation, par groupe des principales causes des valeurs, compte tenu de notre connaissance du bâtiment, de l'installation et de son usage :



Les précisions suivantes peuvent être apportées :

- même si plusieurs petites chaufferies semblent légèrement sous-dimensionnées, aucun maître d'ouvrage ne se plaint d'un chauffage insuffisant par grand froid. Il semblerait donc que le foisonnement et l'intermittence des besoins, associés à l'inertie thermique de la maison, permettent de ne pas remarquer un éventuel manque de puissance. Il est aussi possible que ce soit dû à la production d'eau chaude sanitaire, qui consomme de l'énergie mais se fait généralement en « temps caché », sans nécessiter de surcroît de puissance ;
- de nombreuses chaudières apparaissent surdimensionnées. Les chaufferies bois sans appoint-secours sont souvent surdimensionnées car le maître d'ouvrage, le chauffagiste ou le bureau d'études ont pris une marge importante de sécurité, ou ont sous-estimé l'effet du foisonnement et de l'intermittence des besoins, ou encore parce que les informations thermiques qu'ils ont utilisées pour le dimensionnement (puissance installée précédemment, consommations annuelles) sont elles-mêmes surévaluées ou bien datent d'avant des opérations d'isolation des bâtiments. Toutefois, il n'y a que deux cas où des dysfonctionnements techniques constatés pourraient éventuellement avoir un lien avec ce

surdimensionnement. Pour ce qui est des chaufferies bois avec appoint-secours, le temps de fonctionnement équivalent pleine puissance de la chaudière bois est souvent moins élevé que l'on ne pourrait l'attendre, ce qui confirme un dimensionnement « généreux » de la puissance de la chaudière bois. La conséquence positive est que le taux de couverture bois est souvent élevé, comme vu précédemment ;

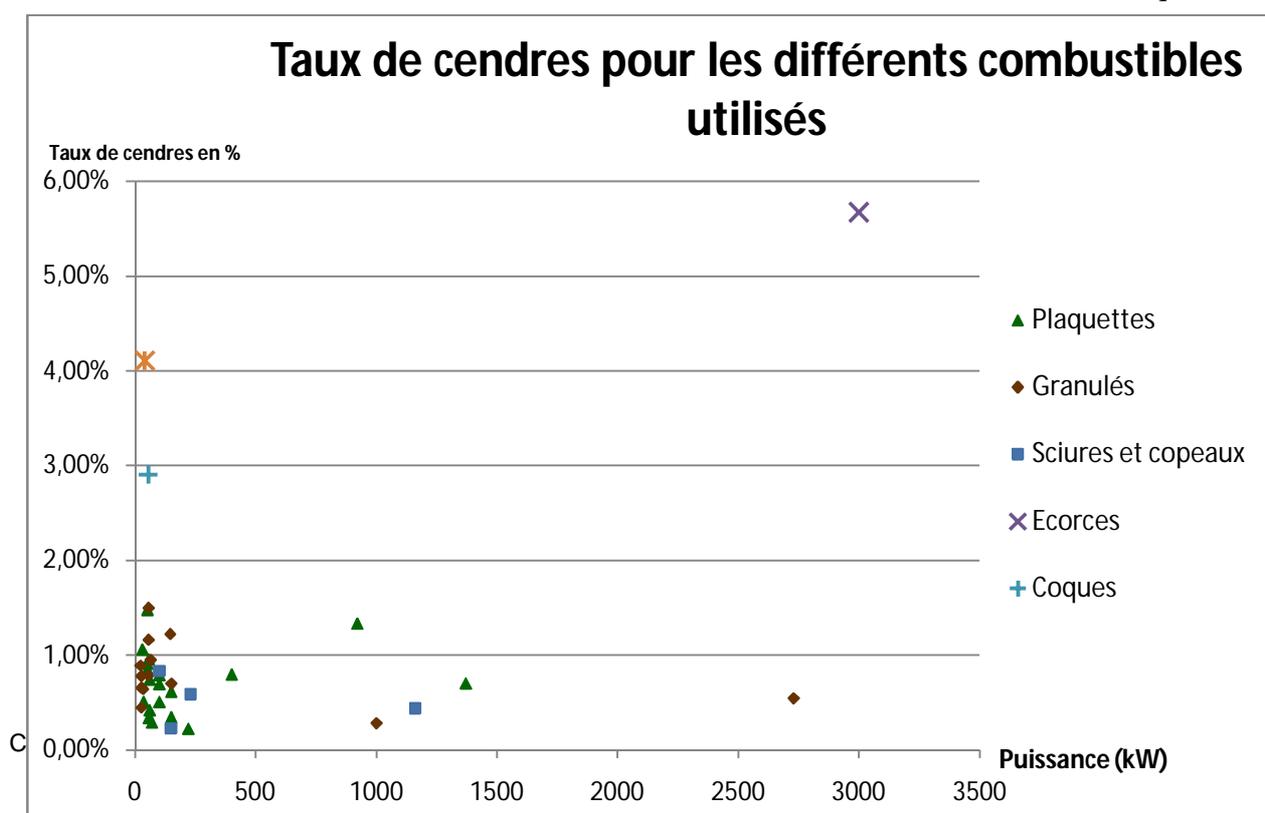
- il apparaît assez souvent une sous-utilisation : bâtiments pas encore en service, démarrage progressif de l'activité ;
- dans deux cas, la sous-consommation est clairement associée aux apports du chauffage solaire, qui n'avaient pas été suffisamment pris en compte lors des études préalables. Pour autant, l'apport solaire n'étant pas régulier, on ne peut pas parler de sous-dimensionnement de la chaudière ;
- enfin, certains maîtres d'ouvrage ont un comportement économe : ils chauffent peu.

En résumé, il n'apparaît aucun cas de puissance insuffisante mais, à l'inverse, d'assez nombreux cas où la chaudière à bois a été dimensionnée trop puissante. Malgré l'effort répété de pédagogie pour encourager maîtres d'ouvrage, chauffagistes et bureaux d'études à dimensionner au plus juste, les dimensionnements « généreux », qui ne posaient pas de problème avec les chaudières à fioul ou à gaz mais qui sont à éviter pour les chaufferies bois, persistent encore souvent.

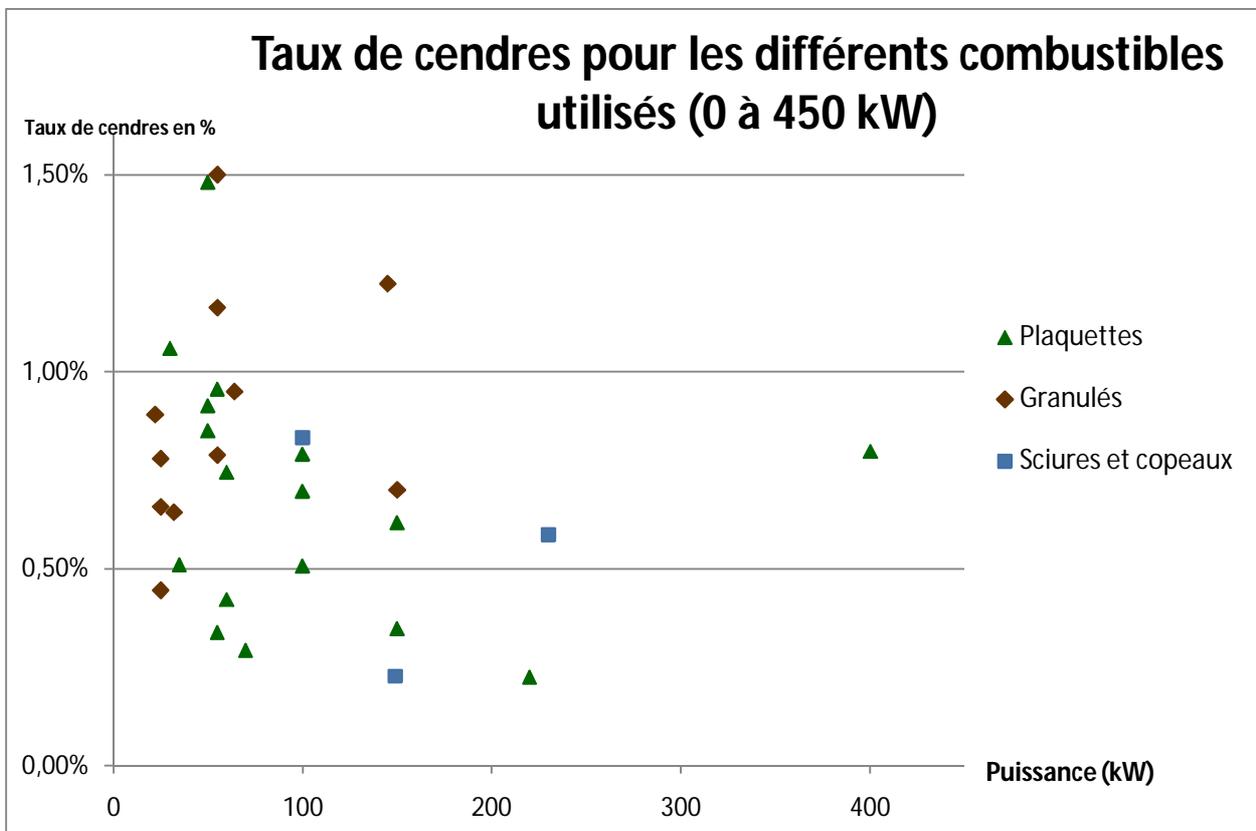
1.2.3.2 – Quantité de cendres

Il est intéressant de comparer la quantité de cendres selon les chaufferies et les combustibles. Pour cela, on calcule le taux de cendres, qui est défini par la littérature comme la masse de cendres produites divisée par la masse de combustible bois (ramenée en masse anhydre), qui a brûlé.

Les quantités de cendres produites annuellement sont évaluées d'après les déclarations du maître d'ouvrage. Dans la mesure où il est rare qu'il consigne précisément les quantités de cendres évacuées, ces évaluations sont souvent réalisées sur la base de la contenance du cendrier (donnée précise) multiplié par un taux de remplissage moyen (donnée peu précise) multiplié par le nombre de fois où le cendrier a été vidé dans l'année (donnée de précision variable), et enfin multiplié par la densité moyenne des cendres (donnée assez précise). On obtient donc un résultat qui peut être entaché de fortes incertitudes. Ces incertitudes sont là aussi inhérentes à la méthode d'enquête.



La plupart des points correspondant à des chaufferies de moins de 450 kW, un agrandissement de cette zone du graphique permet une lecture plus aisée et plus précise :



Interprétation des graphiques :

- pour le granulé et la plaquette, il est étonnant de voir que les valeurs sont dispersées de façon similaire, entre 0,22 % et 1,5 %. La littérature [Bois-énergie, chaufferies à alimentation automatique, ADEME] indique 0,5 % pour le granulé (qui ne contient généralement pas d'écorce) mais 0,5 à 1,5 % pour la plaquette selon la quantité d'écorce qu'elle contient. Force est de constater qu'une partie des chaufferies à granulé produisent plus de cendres que prévu, et que la plaquette, pourtant presque toujours d'origine forestière ou bocagère (donc avec écorce et menus bois) produit souvent des taux de cendres faibles. Pour les deux combustibles, les taux nettement inférieurs à 0,5 % sont étonnants et pourraient éventuellement provenir d'une sous-déclaration du maître d'ouvrage ;
- pour les copeaux et sciure, qui proviennent presque toujours de bois autochtone et sans écorce, les valeurs sont comprises entre 0,23 % et 0,83 %. L'ouvrage cité plus haut indique 0,5 à 1 % : les résultats sont conformes, mais le taux de 0,23 % semble étonnamment bas ;
- pour les écorces, le taux calculé à 5,7 % est dans le bas de la fourchette indiqué par le même ouvrage, qui est de 5 à 20 % ;
- pour les sarments, qui sont mélangés à des copeaux et sciure, le taux trouvé à 4,1 % est conforme aux informations très partielles provenant des quelques comptes rendus d'expérimentation, qui sont en notre possession ;

- pour les coques d'amande, le taux élevé est normal, car il s'agit d'un combustible contenant beaucoup de minéraux, qui ont d'ailleurs tendance à s'agglomérer pour former du mâchefer.

En résumé, on peut retenir, pour les taux de cendres :

- assez fortes incertitudes sur les résultats, compte tenu du mode déclaratif de l'enquête ;
- résultats globalement bas, ce qui est un indice d'une bonne combustion et d'un bon fonctionnement des chaudières ;
- les granulés produisent davantage de cendres que prévu, ce qui pourrait indiquer l'utilisation de granulés contenant de l'écorce, ou bien des problèmes de combustion incomplète.

1.2.3.3 – Consommation électrique en chaufferie

Un seul maître d'ouvrage a pu nous communiquer une information fiable sur la consommation électrique de sa chaufferie, grâce à un compteur électrique dédié (qui mesure l'électricité consommée par l'ensemble de la chaufferie, y compris les circulateurs). Pour une chaufferie de 100 kW avec petit réseau de chaleur, la consommation électrique est de 1784 kWh par an, soit 11,7 kWh électrique par MWh sortie chaudière, soit encore 1,17 % de l'énergie sortie chaudière.

Ce sujet est rarement abordé dans la littérature spécifique du bois-énergie, et peu de fiches de sites de chaufferies contiennent cette information, à notre connaissance. D'après les rares informations disponibles, nous retenons généralement pour les notices d'opportunité 1 % à 1,5 % de l'énergie distribuée pour les chaufferies sans réseau de chaleur enterré, et entre 1,5 % et 3 % pour les chaufferies avec réseau de chaleur enterré.

D'après ces ratios, la consommation de cette seule chaudière documentée semble basse. Cela peut être dû au fait que la régulation de cette chaudière commande le fonctionnement des circulateurs seulement lorsque c'est nécessaire, ce qui évite la consommation élevée induite par des circulateurs fonctionnant pendant toute la saison de chauffe que l'on voit dans d'autres installations.

On constate donc un véritable déficit de retour d'informations au sujet de la consommation spécifique d'électricité des chaufferies automatiques à bois.

1.2.3.4 – Maintenance

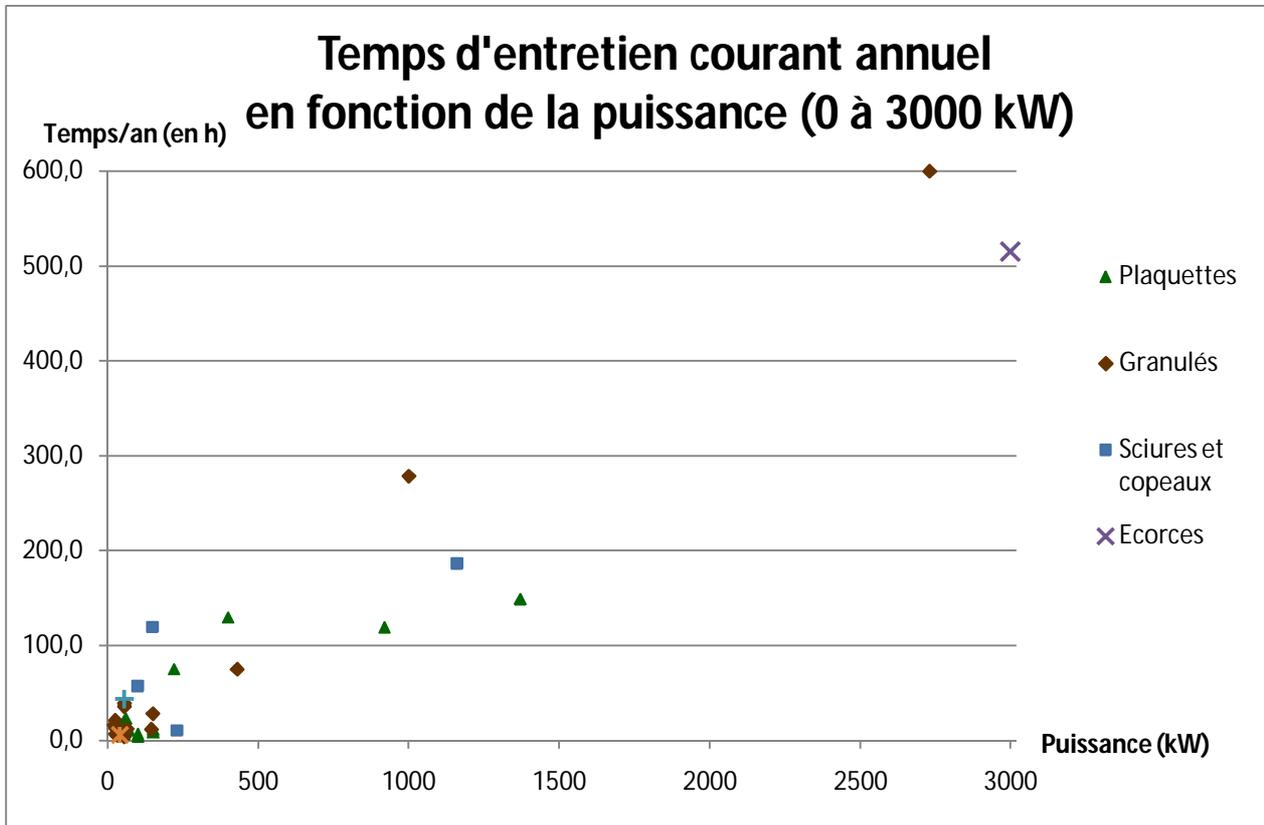
Dans ce chapitre, la « maintenance » est définie comme dans le terme classique « P2 » d'un contrat d'exploitation, c'est-à-dire qu'elle comprend la surveillance, la conduite et l'entretien, y compris les révisions annuelles ou périodiques, y compris les changements de très petites pièces (filtres, joint...) mais en excluant tout changement de pièce plus importante (vanne, pompe, carte électronique, vis d'entraînement, etc.). L'électricité consommée en chaufferie peut parfois faire partie du terme P2, mais ici elle a été séparée et traitée au paragraphe précédent.

Il est apparu lors de l'enquête que seulement 5 chaufferies sur 40 ont un exploitant professionnel distinct du maître d'ouvrage.

Les 35 autres maîtres d'ouvrage font donc la conduite et l'entretien courant eux-mêmes.

Une bonne partie d'entre eux font aussi eux-mêmes la révision périodique (annuelle, pour les petites chaufferies).

Pour ces 35 cas, le maître d'ouvrage peut donc évaluer le temps qu'il y consacre, mais ne chiffre généralement pas un coût annuel. C'est pourquoi, afin de pouvoir comparer l'ensemble des chaudières, c'est plutôt le temps annuel consacré à la maintenance, y compris la révision annuelle, qui fait l'objet d'une exploitation graphique.



On constate que la durée annuelle d'entretien courant est globalement basse : moins de 25 heures pour la grande majorité des chaufferies de moins de 200 kW. C'est la conséquence de l'automatisation croissante des chaudières de cette gamme de puissance : allumage automatique, nettoyage automatique des échangeurs, décentrage automatique vers des cendriers de grande contenance, adaptation automatique à des changements (limités) dans les caractéristiques du combustible... De plus, la fiabilité de la chaudière et de ses différents périphériques a elle aussi progressé par rapport aux chaudières des années 1990 et du début de la décennie 2000.

Même si les chaudières à granulés sont souvent réputées nécessiter moins d'entretien, la tendance semble ici plutôt inverse.

Globalement, on constate que les chaudières qui nécessitent davantage d'entretien sont des chaudières plus anciennes, moins automatisées, ou utilisant un combustible générant davantage d'entretien (notamment coques d'amandes, sarments de vigne, écorces, copeaux et sciure, et granulés dans certains cas).

1.2.3.5 – Gros entretien

1.2.3.5.1 – Modalités de gros entretien constatées lors de l'enquête

On distingue classiquement dans les contrats d'exploitation de chaufferies un terme P3 dit de « garantie totale », de « gros entretien » ou encore de « grosses réparations et renouvellement ».

Toutefois, on constate que, dans les chaufferies faisant l'objet de l'enquête, seulement deux d'entre elles ont un terme P3 dans leur contrat d'exploitation.

Presque tous les maîtres d'ouvrage enquêtés fonctionnent au coup par coup : lorsqu'un changement de pièce est nécessaire (signes avant-coureurs ou panne avérée), ils font intervenir l'exploitant ou le chauffagiste.

Pour les chaufferies neuves (moins de deux ans), les éventuels changements de pièces sont couverts par la garantie du constructeur et de l'installateur.

Même au-delà de ces deux ans, il n'est pas rare que le constructeur de la chaudière offre la pièce, à charge du maître d'ouvrage de la poser ou de la faire poser.

Pour les 30 chaufferies récentes (de moins de dix ans) et de moins de 150 kW enquêtées, il apparaît dans les déclarations des maîtres d'ouvrage, au total (sous garantie ou hors garantie) :

- 2 changements de vis de décentrage ;
- 1 changement de vis de déssilage ;
- 2 changements de carte électronique ;
- 2 changements de roulements de moteur ;
- 1 changement d'allumeur électrique ;
- 1 moteur d'air primaire ;
- 1 pompe (circulateur).

Il est probable que quelques pannes aient été oubliées, mais le faible nombre de réparations recensées (dix, soit seulement 0,33 réparation par chaufferie en moyenne) semble indiquer l'excellente fiabilité des chaudières automatiques à bois modernes.

On constate, de la part des maîtres d'ouvrage, un comportement similaire à celui de l'automobiliste qui connaît à peu près ses coûts de carburant et d'entretien courant, mais qui, pour les plus grosses pannes, les paie au coup par coup, sans établir de provisions, sans passer de contrat pour les garantir, et sans chercher à en établir un coût moyen annuel.

Ainsi, pour 38 chaufferies sur 40, le coût moyen des grosses réparations ne peut pas être établi puisque celui-ci varie de façon aléatoire et imprévisible d'une année sur l'autre. Qui plus est, sachant que le coût du gros entretien augmente généralement lorsque la chaufferie vieillit, il faudrait attendre que la chaufferie ait 15 ou 20 ans pour pouvoir dégager, a posteriori, un coût moyen annuel de gros entretien, à supposer que le maître d'ouvrage ait conservé la trace de ses dépenses sur une aussi longue durée !

1.2.3.5.2 – Cas général des chaufferies avec contrat d'exploitation incluant un terme P3

Pour compléter l'étude et pour mieux comprendre le fonctionnement des contrats d'exploitation, nous avons compulsé des documentations et ouvrages, et interrogé un exploitant et un bureau d'études spécialisé en contrôle de contrats d'exploitation.

Le terme « P3 », dit « garantie totale », est toujours associé au moins à un terme « P2 » (on parle alors de « P2 + P3 ») : l'exploitant ne peut garantir qu'une chaufferie dont il effectue la maintenance lui-même. Ces contrats de garantie totale s'appliquent souvent à des chaufferies de puissance importante (à partir de plusieurs centaines de kW de puissance).

Il apparaît que la tendance actuelle est de proposer des contrats dits « P3 transparents », (par opposition aux « P3 forfaitaires » du passé), dans lesquels :

- l'exploitant qui prévoit de changer une pièce avertit le maître d'ouvrage, qui peut contrôler la pertinence de cette proposition avant de donner son accord ;
- le coût des pièces et de la main d'œuvre des grosses réparations effectivement réalisées sont récapitulés lors de comptes rendus réguliers ;
- certains exploitants vont jusqu'à détailler leur marge sur les pièces et main d'œuvre facturés ;
- la différence entre le coût prévisionnel, versé par le maître d'ouvrage sous forme de provisions, et le coût réel exécuté, est comparée, soit annuellement, soit à l'échéance du contrat. Le contrat prévoit généralement qu'à son échéance, une éventuelle économie par rapport au prévisionnel soit partagée entre l'exploitant et le maître d'ouvrage, tandis qu'un éventuel dépassement reste entièrement à charge de l'exploitant.

La tendance est aussi à des contrats d'exploitation avec P3 de durée plus courte qu'auparavant : cinq à huit ans.

Il apparaît également que le coût du gros entretien est généralement croissant avec l'ancienneté d'une chaufferie. Il est nul ou quasi nul les deux premières années (ce sont les garanties des fournisseurs et de l'installateur qui s'appliquent). Ensuite, à chaque renouvellement de contrat, les exploitants, après visite de la chaufferie, établissent une proposition de P3 qui tient compte de la quantité prévisionnelle de gros entretien à réaliser, cette quantité augmentant naturellement au fur et à mesure de l'ancienneté et de la vétusté de la chaufferie. Donc, même pour une chaufferie qui fait l'objet d'un terme P3 en bonne et due forme, le coût de celui-ci n'est pas constant : il va augmenter au fur et à mesure du vieillissement de la chaufferie.

Enfin, une des questions importantes pour le terme P3 d'un contrat d'exploitation d'une chaufferie automatique à bois est de savoir si on inclut ou non la chaudière bois dans l'étendue du contrat, comme c'est généralement l'usage pour les chaufferies à fioul ou à gaz.

Les chaudières automatiques à bois se caractérisent par un coût unitaire très élevé. Du point de vue du maître d'ouvrage, inclure la chaudière dans le P3 peut sembler judicieux car il n'a ainsi pas à prévoir un remplacement, très onéreux ; l'inconvénient est qu'il s'expose à devoir payer un coût très élevé pour le P3, surtout quand la chaudière approche de la fin de la durée de vie, l'exploitant voulant s'assurer que le coût de remplacement de la chaudière soit effectivement couvert par les provisions versées.

1.2.3.5.3 – Conclusion sur le gros entretien et conséquences pour les études préalables

A l'issue de l'étude, il apparaît donc que :

- 38 chaufferies sur 40 n'ont pas de contrat d'exploitation avec terme P3 ;
- Le terme P3 est généralement utilisé sur des chaufferies de taille importante, or notre échantillon en comportait très peu car il y a encore peu de chaufferies automatiques à bois de taille importante en Lozère et dans le Gard ;
- très peu de maîtres d'ouvrage peuvent répondre précisément lorsqu'on leur demande le cumul du coût du gros entretien sur la durée de vie de leur chaufferie ;
- le coût du P3 augmente au cours de la vie d'une chaufferie ;
- les chaufferies récentes ont dans l'ensemble un coût de gros entretien très faible, puisque les deux premières années sont couvertes par la garantie et que les années suivantes ne voient généralement pas de défaillance de pièces importantes. Pour ces chaufferies récentes, il est trop tôt pour établir un coût moyen annuel ; il faudrait pouvoir le faire a posteriori, avec le recul sur toute la durée de vie de la chaufferie.

Pour toutes ces raisons, il apparaît donc totalement impossible de dégager un coût moyen annuel de gros entretien, à l'issue de cette enquête.

Ce constat pose avec acuité la question de savoir comment estimer le coût prévisionnel du gros entretien, dans les études préalables d'aide à la décision (notices d'opportunité, diagnostics énergétiques, études de faisabilité). On constate que le coût réel du gros entretien dépend de nombreux facteurs, tels que la puissance de la chaufferie, son âge, la façon dont le maître d'ouvrage gère cet entretien (remplacement au coup par coup ou contrat de garantie totale). De plus, ce coût apparaît particulièrement difficile à évaluer.

Pour autant, il est bien sûr souhaitable que le porteur de projet soit informé objectivement du coût de gros entretien, qui fait clairement partie du coût d'exploitation prévisionnel.

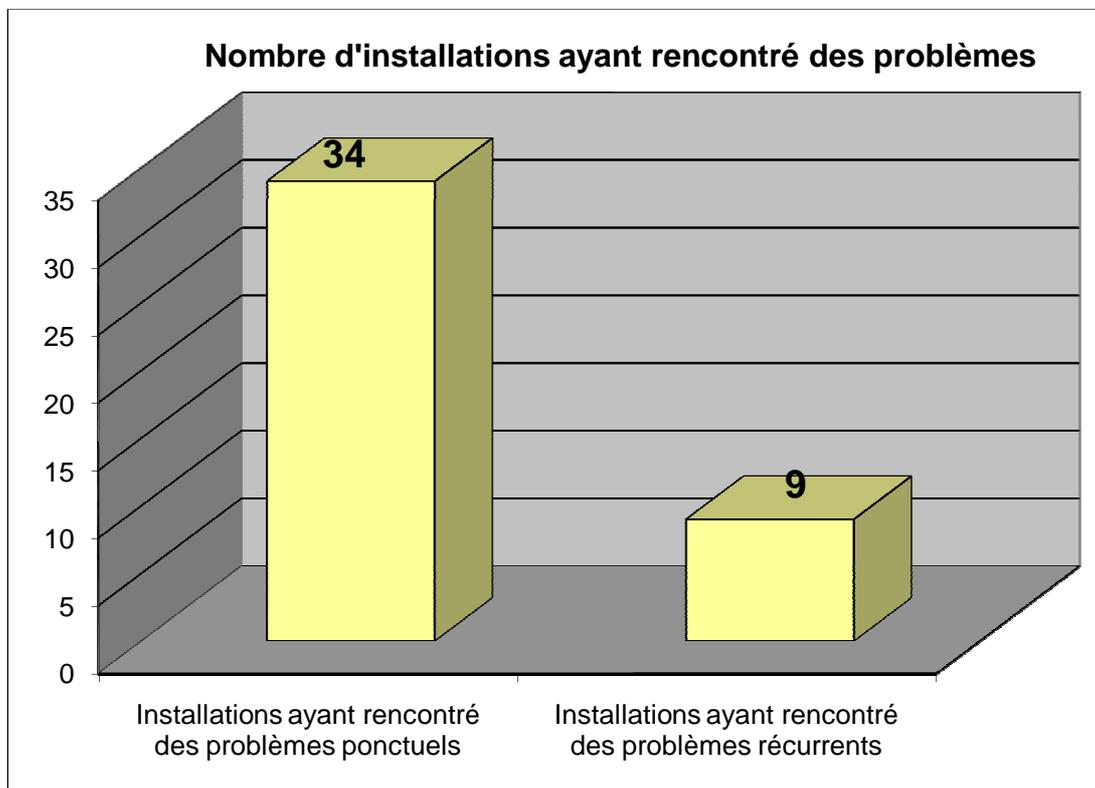
Il apparaît donc nécessaire d'approfondir cette réflexion, au-delà de cette étude, afin de dégager une façon de mieux évaluer le coût du gros entretien dans les études préliminaires, dans le but à la fois de mieux refléter la réalité et de mieux informer le maître d'ouvrage et les organismes amenés à évaluer l'équilibre financier du projet.

1.2.3.6 – Problèmes rencontrés

Les problèmes rencontrés peuvent relever aussi bien du combustible, que de la maintenance ou du gros entretien, mais ils influent directement sur la qualité perçue par le maître d'ouvrage et sur

sa satisfaction relative au chauffage automatique à bois. Il s'agit donc d'un facteur déterminant pour la publicité (ou la contre-publicité) réalisée directement par les maîtres d'ouvrage, en bouche à oreille. C'est pourquoi leur analyse qualitative est traitée séparément, dans le présent paragraphe.

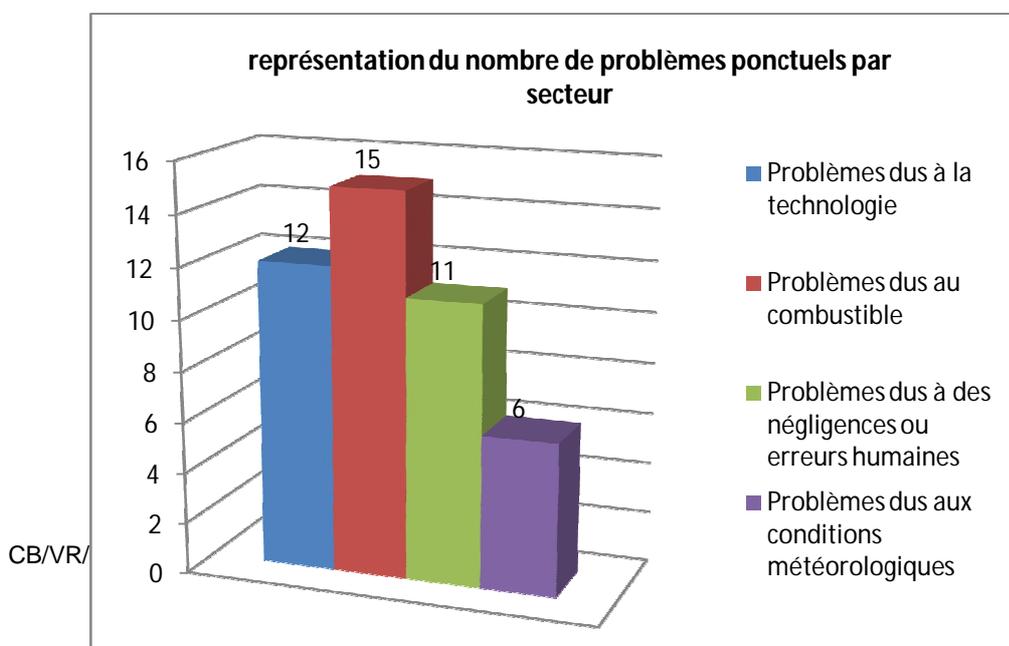
Il était demandé aux maîtres d'ouvrage s'ils avaient rencontré des problèmes ponctuels, ou des problèmes récurrents. Les réponses se répartissent de la façon représentée par le graphique suivant :

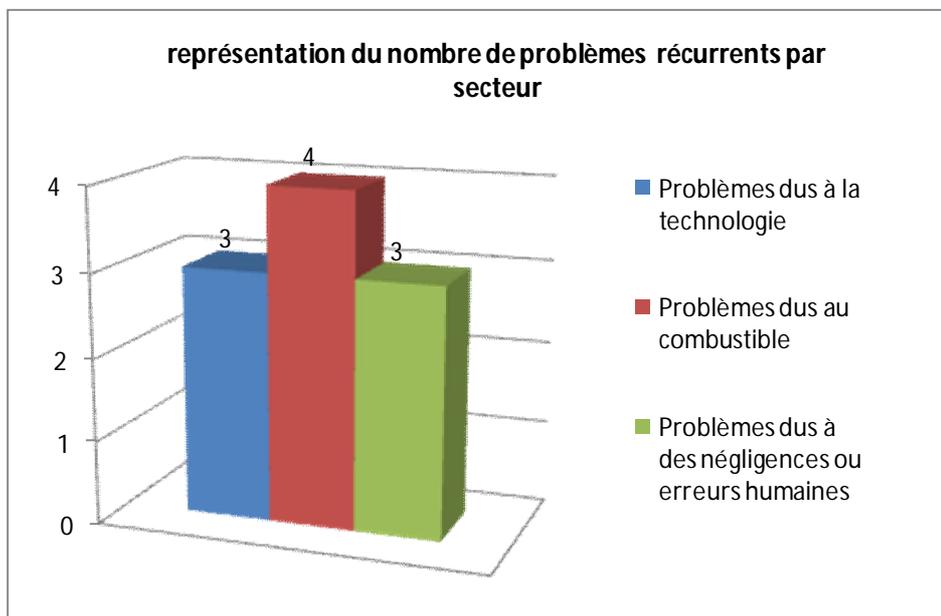


Les 9 installations ayant rencontré des problèmes récurrents ont aussi rencontré des problèmes ponctuels. Cela donne donc au final :

- 9 installations ont connu des problèmes ponctuels et récurrents ;
- 25 installations ont connu des problèmes ponctuels seuls ;
- 6 installations n'ont pas connu de problème signalé.

Il était demandé ensuite aux maîtres d'ouvrage de préciser la nature des problèmes, en distinguant les problèmes ponctuels et les problèmes récurrents.





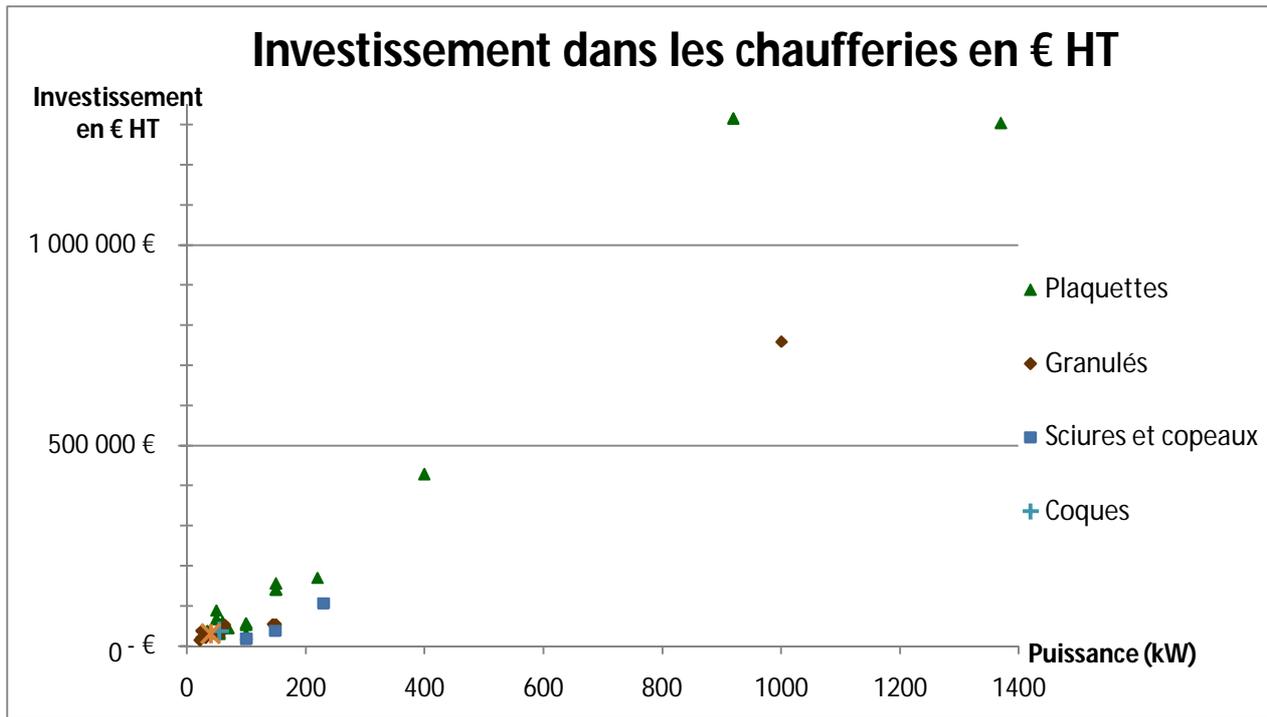
Pour donner une meilleure idée de la nature et de la variété des problèmes affectant les chaufferies automatiques à bois, la liste complète de ce qui a été signalé par les 34 maîtres d'ouvrage ayant déclaré un ou plusieurs problème(s) est jointe en annexe n° 4. Les lignes correspondent chacune à une chaufferie ; conformément aux engagements pris envers les maîtres d'ouvrage, ces renseignements restent non nominatifs. Cette liste peut sembler impressionnante, mais il faut considérer qu'il s'agit du recensement des problèmes rencontrés par 40 chaufferies pendant plusieurs années cumulées.

1.2.3.7 – Investissements

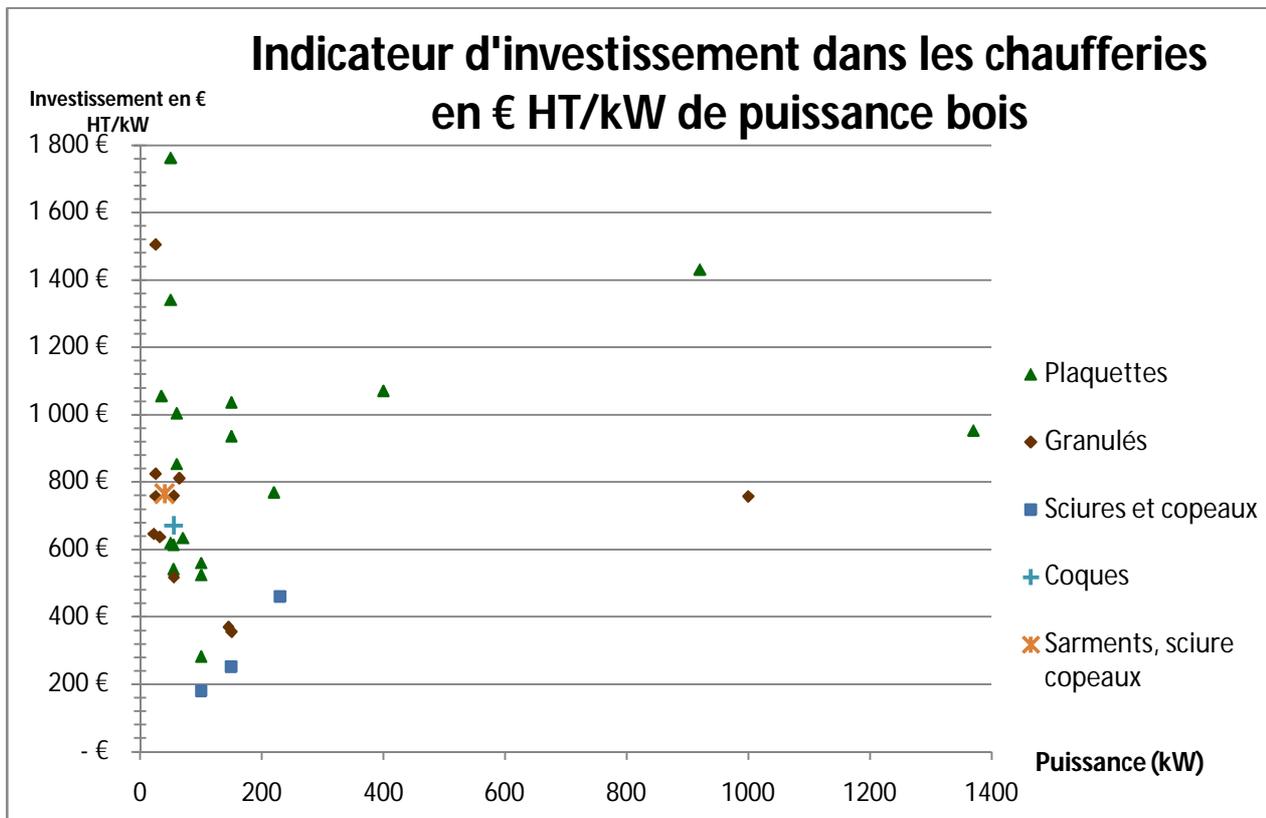
Lors de l'enquête, il était demandé aux maîtres d'ouvrage d'indiquer les coûts d'investissements réels de la chaufferie automatique à bois, et les subventions obtenues. Pour se rapprocher de l'assiette retenue par les organismes financeurs du bois-énergie, le coût retenu est celui de la chaufferie et du silo, avec réseau de chaleur le cas échéant, mais hors travaux relatifs à l'eau chaude sanitaire, à la distribution et à l'émission, et hors appoint-secours, le cas échéant.

Pour certaines chaufferies, notamment les chaufferies très anciennes, ces chiffres n'ont pas pu être obtenus.

Malgré, là aussi, des imprécisions inhérentes à la méthode de l'enquête déclarative, ces informations ont pu être obtenues pour 34 chaufferies. Ces chaufferies sont récentes : toutes avaient moins de 6 ans à la date de l'enquête, sauf deux de 2001 et une de 1996. On a donc choisi, en première approche, de ne pas actualiser la valeur de ces investissements. C'est la valeur HT de l'investissement qui est retenue, pour s'affranchir des divers taux de TVA constatés et de la récupération éventuelle de TVA.



Pour faciliter l'analyse, l'investissement est ramené au kW de puissance de la chaudière bois :



Voici le prix moyen pour les groupes de combustibles comportant au moins trois chaufferies :

Prix moyen d'investissement en € HT/kW par groupe de combustible	
plaquettes	887 €
granulés	722 €
copeaux et sciure	298 €

Interprétation :

On constate une très forte dispersion des prix ramenés au kW. Il apparaît donc une grande variation entre des chaufferies « bon marché » et des chaufferies « chères ». Un examen au cas par cas amène les constats suivants :

Principaux facteurs tendant à la réalisation de chaufferies « chères » :

- maîtrise d'ouvrage publique ou para-publique ;
- création d'un bâtiment dédié à la chaufferie et au silo, surtout s'il nécessite un effort d'intégration architecturale ou paysagère.

Principaux facteurs tendant à la réalisation de chaufferies « bon marché » :

- maîtrise d'ouvrage privée ;
- intégration de la chaufferie et du silo dans un bâtiment existant.

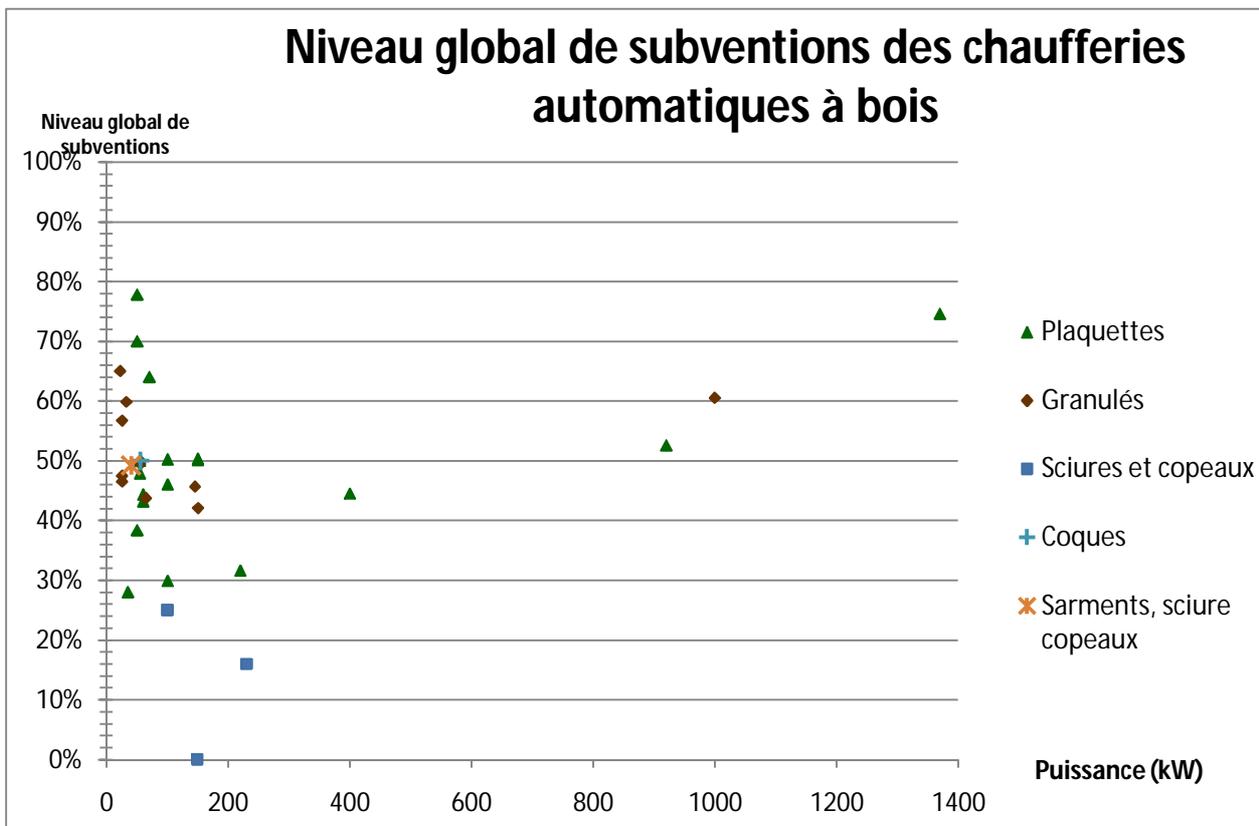
De plus, on constate aussi des « effets de gamme » ; c'est-à-dire que dans une gamme de chaufferies « domestiques », qu'on peut indiquer de façon schématique comme s'étendant de 15 à 200 kW, les chaufferies les moins puissantes ont un coût incompressible ramené à peu de kilowatts et apparaissent donc chères ; les chaufferies les plus puissantes (70 à 100 kW) ont un coût augmenté, mais inférieur néanmoins à ce que donnerait une simple projection proportionnelle, et apparaissent donc meilleur marché.

Le même phénomène existe dans les chaufferies de gamme « moyenne », qu'on peut indiquer de façon schématique comme s'étendant de 300 à 1600 kW : les chaufferies les moins puissantes ont un investissement incompressible relativement élevé, alors que les chaufferies les plus puissantes bénéficient de relatives économies d'échelle.

1.2.3.8 – Subventions

Pour ces 34 chaufferies pour lesquelles les coûts d'investissements sont connus, 33 ont bénéficié de subventions publiques, votées entre 2001 et 2008 suivant les cas. Ces subventions émanent de la Région Languedoc-Roussillon, de l'ADEME, de l'Union Européenne au titre du FEDER, des Départements et de l'Etat (au titre de l'ANAH, de la DGE ou du crédit d'impôt).

Le taux global de subvention est ramené au coût global de l'investissement. Ce coût d'investissement est le coût réel et final de la chaufferie et du silo, avec réseau de chaleur le cas échéant, mais hors travaux relatifs à l'eau chaude sanitaire, à la distribution, à l'émission, et à l'appoint-secours éventuel. A l'instar de l'approche de la majorité des organismes financeurs, le coût HT est retenu lorsque le maître d'ouvrage peut récupérer la TVA sur l'investissement, et le coût TTC dans le cas contraire. Cela permet de se rapprocher au mieux du coût réellement à charge du maître d'ouvrage, et donc du taux de subvention s'appliquant réellement sur cet investissement.



On constate que la plupart des chaufferies ont été subventionnées entre 25 et 50 %. L'ADEME, la Région et le FEDER plafonnant généralement leur intervention combinée à 50 % maximum (crédit d'impôt compris le cas échéant), les taux supérieurs à 50 % proviennent d'une aide complémentaire du Département concerné ou de l'Etat (ANAH ou DGE).

Les taux inférieurs à 25 % sont constatés dans l'industrie du bois : une chaufferie a été financée à 25 % au titre d'un atelier-relais porté par la commune ; une autre ayant coûté nettement plus cher que prévu, cela ramène le taux global à 16 % environ ; la troisième, datant d'avant 2002, n'avait pas fait l'objet d'une demande de subvention.

1.2.3.9 – Comparaison réel/prévisionnel

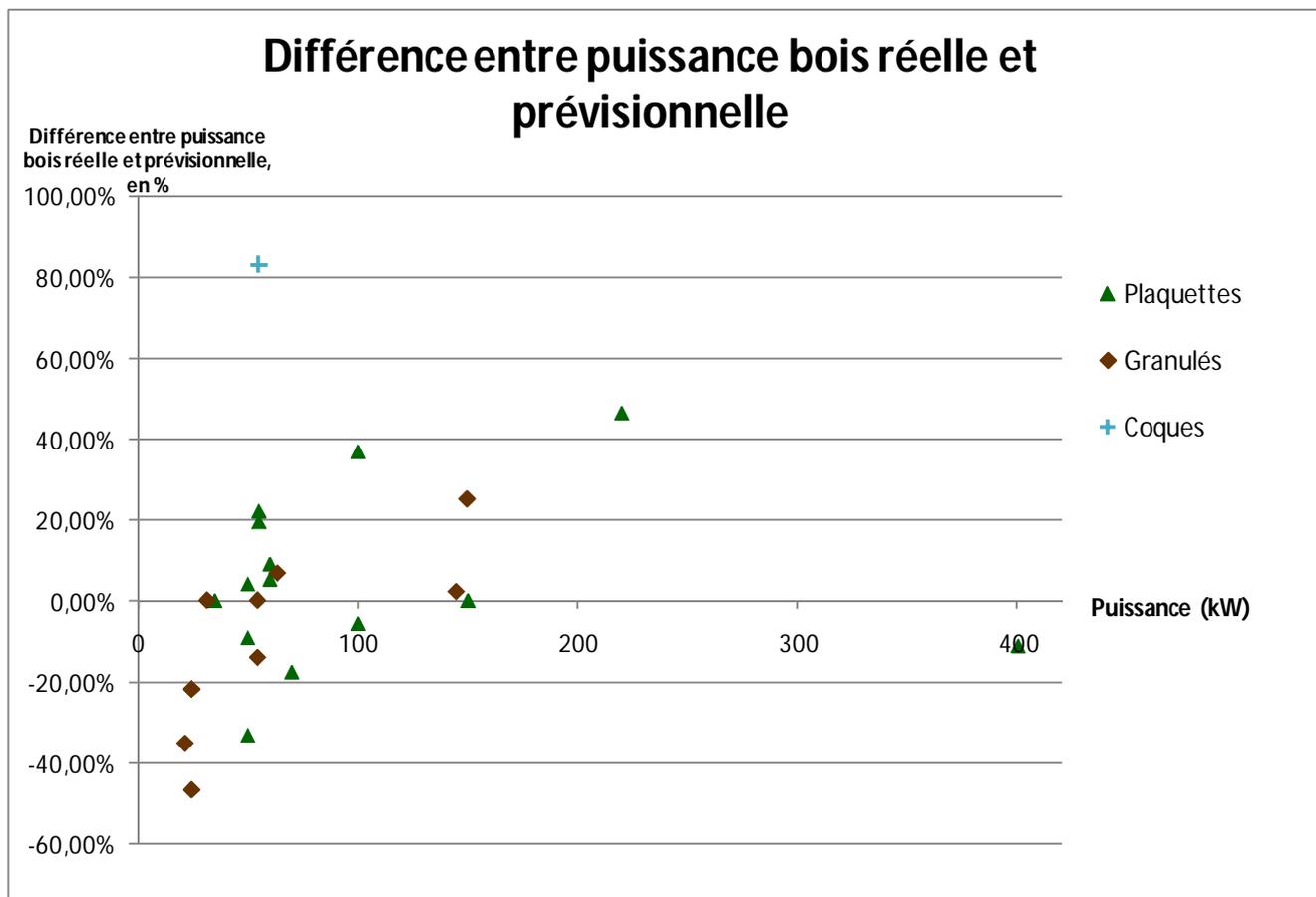
Un des objectifs de l'étude était de comparer les indicateurs des études d'aide à la décision (notice ou analyse d'opportunité ou étude de faisabilité) et la réalité de la chaufferie réalisée.

Sur les 40 chaufferies retenues pour l'étude, 29 ont fait l'objet d'une étude d'aide à la décision :

- 6 études de faisabilité ;
- 23 notices ou analyses d'opportunité.

1.2.3.9.1 – Comparaison prévisionnel/réel : puissance installée

Pour les 29 chaufferies ayant fait l'objet d'une étude préalable d'aide à la décision, la différence entre la puissance de la chaufferie bois installée, et la puissance de la chaufferie bois retenue dans l'étude prévisionnelle, rapportée à ce second terme, est exprimée en pourcentage. Un pourcentage positif indique donc un surcroît de puissance réelle, par rapport à la puissance prévisionnelle :



Pour aller plus loin dans l'analyse, nous avons tenté de recouper cette différence entre puissance bois réelle et puissance bois de l'étude prévisionnelle, avec les indications sur les probables sous- et sur-dimensionnements tirés de l'analyse du rapport consommation/puissance établi au 1.2.3.4 :

↓ Puissance bois installée, par rapport à la puissance bois prévisionnelle	Evaluation du dimensionnement, d'après le rapport consommation/puissance			Totaux
	Probablement sous-dimensionné	Dimensionnement OK	Probablement surdimensionné	
Inférieure	3	5	0	8
Identique (ou presque)	1	9	4	14
Supérieure	0	3	4	7
Totaux	4	17	8	

Interprétation :

- dans 8 cas, le dimensionnement différent de l'étude préalable est justifié a posteriori puisque le dimensionnement semble correct (dans 5 cas, la puissance posée a été inférieure à l'étude préalable, dans 3 cas, supérieure) ;
- dans 7 cas, le dimensionnement différent de l'étude préalable semble avoir conduit à un problème : dans 3 cas, la puissance inférieure s'est révélée légèrement sous-dimensionnée ; dans 4 cas, la puissance supérieure s'est révélée surdimensionnée (dont un fort surdimensionnement : + 83 %). Le dimensionnement de l'étude préalable semblait plus adapté ! Cette comparaison semblerait indiquer que, souvent, le surdimensionnement vient d'un souhait d' « avoir de la réserve », notamment dans l'optique du raccordement d'autres bâtiments par la suite, mais aussi parfois d'un espoir (pas toujours atteint !) d'augmenter le taux de couverture bois par rapport à l'appoint ;
- dans 9 cas, le dimensionnement identique à l'étude préalable apparaît correct.

Ces chiffres indiquent que les calculs des études préalables sont souvent relativement précis, surtout par rapport au fait qu'il ne s'agit que d'une pré-étude ou étude de niveau « aide à la décision ».

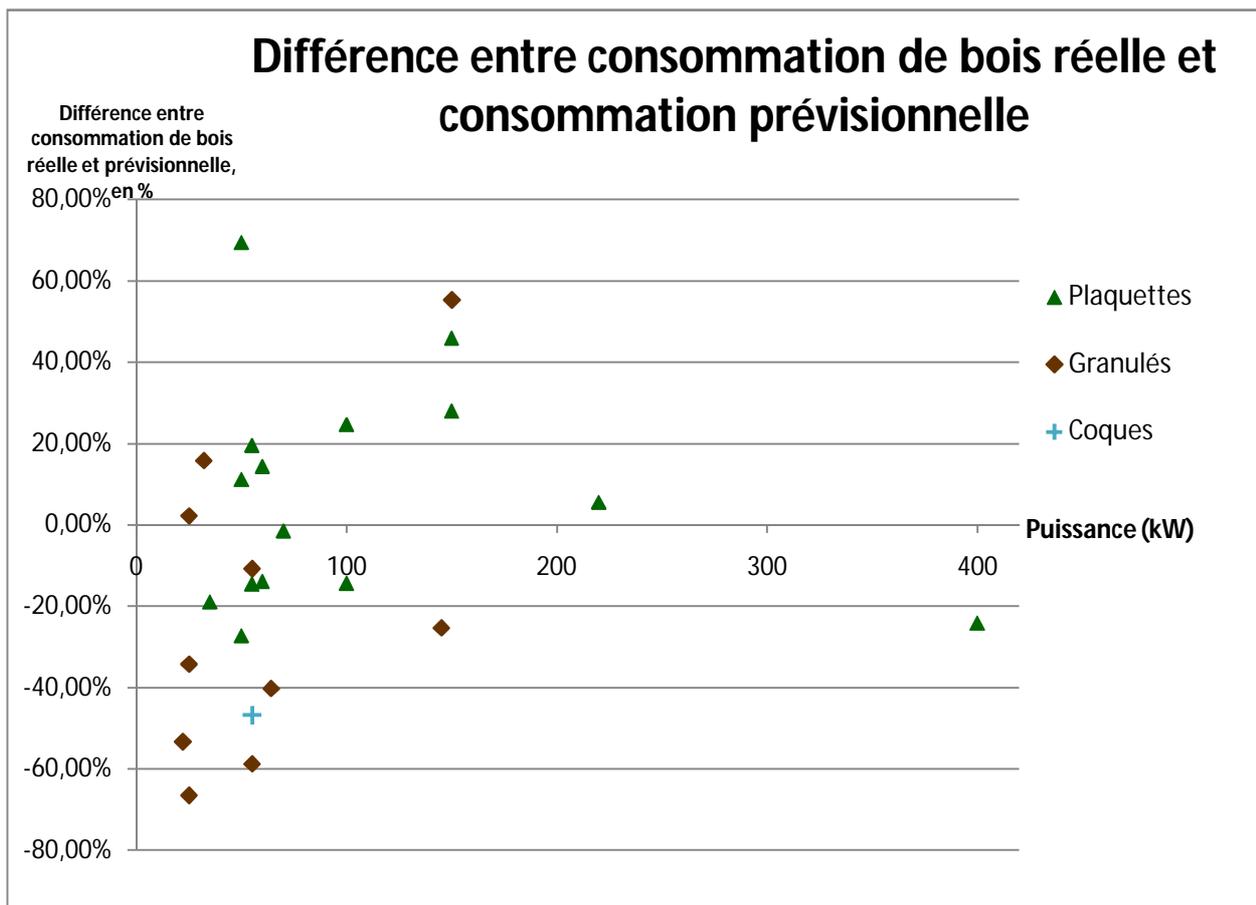
Ce qui est plus inquiétant, c'est le « flottement » qu'on constate à l'étape du dimensionnement définitif : il y a parfois reprise du chiffre de l'étude préalable sans réalisation d'un calcul plus précis ; parfois des choix différents mais dont la pertinence n'est pas toujours confirmée a posteriori.

1.2.3.9.2 – Comparaison réel/prévisionnel : consommations de combustible

De même, pour les 29 chaufferies ayant fait l'objet d'une étude préalable d'aide à la décision, la différence entre la consommation d'énergie bois constatée (en kWh entrée chaufferie), et la consommation prévisionnelle de l'étude d'aide à la décision, rapportée à ce second terme, est exprimée en pourcentage (cf. graphique en page suivante). Un pourcentage positif indique donc un surcroît de consommation réelle, par rapport à la consommation prévisionnelle.

L'analyse de ces différences, en lien avec les informations précédentes, fait apparaître les points suivants :

- une différence de plus ou moins 20 % semble acceptable, compte tenu des différences entre le comportement réel des usagers et les calculs thermiques standards, de la difficulté à réaliser des calculs thermiques sur des bâtiments existants souvent hétérogènes, etc.
- parmi les différences notables :
 - six cas semblent relever d'une mauvaise évaluation des besoins thermiques par l'étude préalable, notamment dans les analyses d'opportunité les plus anciennes, dont deux cas viennent d'une non prise en compte des apports d'un système de chauffage solaire ;
 - sept cas relèvent d'une sous-utilisation actuelle du chauffage (bâtiments non encore reliés, bâtiments moins souvent utilisés que prévus, ou comportement très économe du maître d'ouvrage) ;
 - un cas s'explique principalement par les arrêts techniques et un léger sous-dimensionnement, ce qui avait déjà constaté par le calcul du taux de couverture.



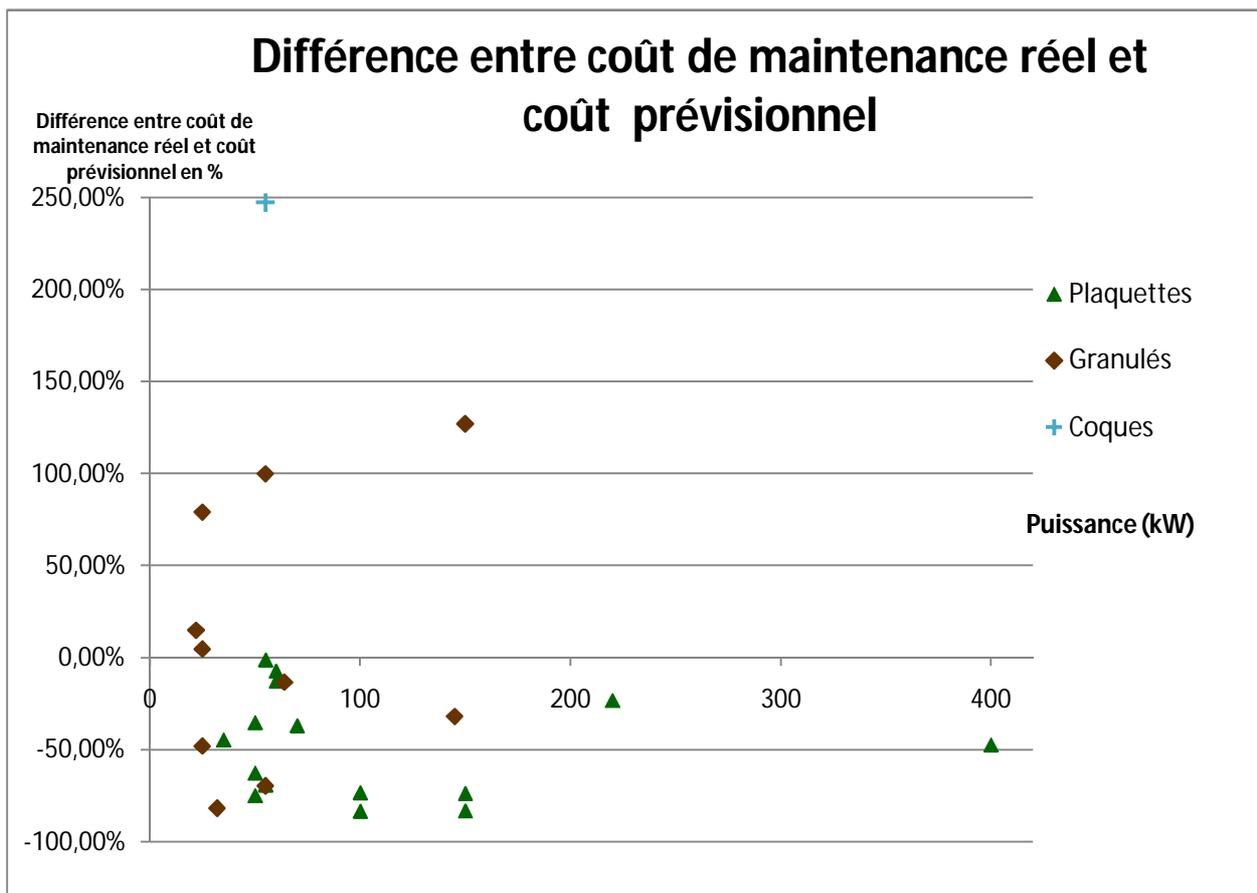
1.2.3.9.3 – Comparaison réel/prévisionnel : coût de la maintenance

Pour établir le coût de la maintenance, l'entretien réalisé par le maître d'ouvrage ou ses employés a été évalué à 17 euros de l'heure, ce qui correspond à peu près au salaire chargé d'un ouvrier d'entretien (voir graphique en page suivante). Un pourcentage positif indique donc un surcroît de coût de maintenance, par rapport au coût prévisionnel.

Interprétation des résultats (sous réserve de l'exactitude des déclarations des maîtres d'ouvrage) :

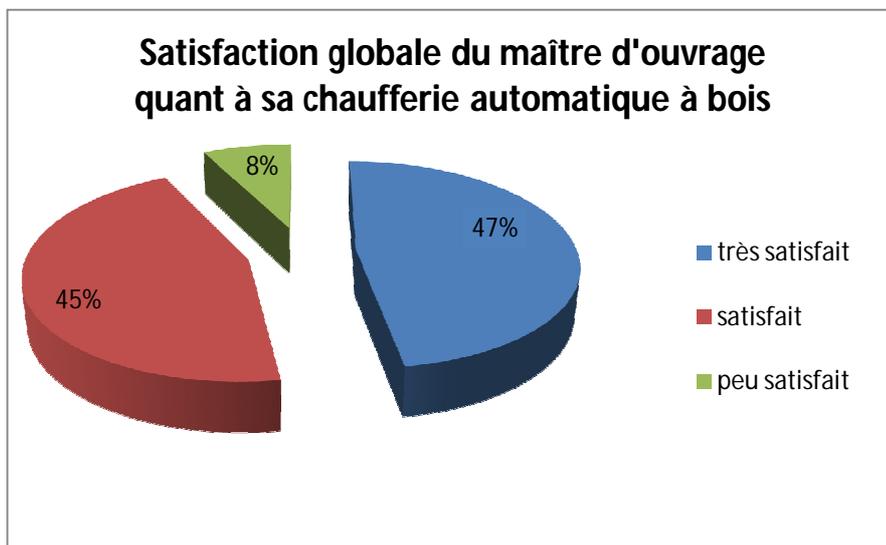
- le coût réel est inférieur de 20 % en moyenne, mais il y a de très fortes disparités ;
- les notices et analyses d'opportunité indiquent des coûts de maintenance relativement bas, même s'ils sont souvent encore supérieurs à la réalité ; dans un seul cas, le coût réel s'est révélé nettement supérieur au coût prévisionnel, car l'exploitation est confiée à un exploitant professionnel ;
- les études de faisabilité prennent en compte un coût de maintenance basé sur les tarifs pratiqués par les exploitants professionnels ; néanmoins, les études surévaluent ce coût de maintenance. Le coût réel s'avère être inférieur à la prévision de l'ordre de - 20 % pour un exploitant professionnel, et de l'ordre de -45 à - 80% pour de l'auto-entretien. Ainsi, les coûts de maintenance pratiqués par les professionnels pour les chaufferies enquêtées semblent « raisonnables » puisqu'ils se révèlent inférieurs aux évaluations des bureaux d'études basées sur les ratios communément admis dans la profession ;

- principales raisons des différences importantes :
 - dans 17 cas, le coût très nettement inférieur vient d'un temps passé peu important, associé à l'auto-entretien par le maître d'ouvrage (coût de l'heure très nettement inférieur à celui d'un exploitant professionnel) ;
 - dans 3 cas, le temps de maintenance est nettement supérieur à celui prévu dans la notice ou l'analyse d'opportunité. Il s'agit de chaufferies au granulé : on retrouve le constat dressé au 1.2.3.4, qui était que quelques chaufferies au granulé induisent un temps de maintenance supérieur à ce qui pourrait être attendu ;
 - enfin, dans un cas particulier, le coût d'entretien est très supérieur à la prévision, mais cela s'explique par un combustible très particulier (coques d'amande), qui génère du mâchefer et oblige donc à un nettoyage quasi-quotidien du foyer.



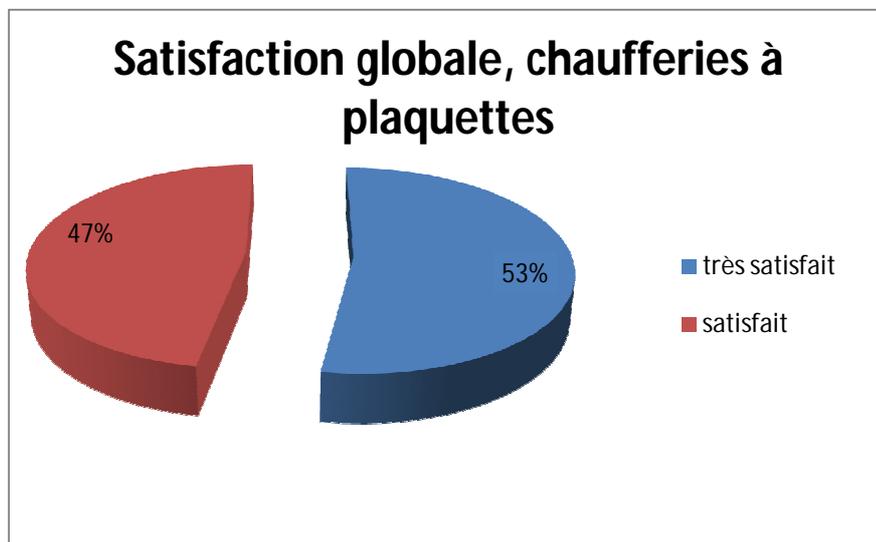
1.2.3.10 – Satisfaction globale du maître d'ouvrage

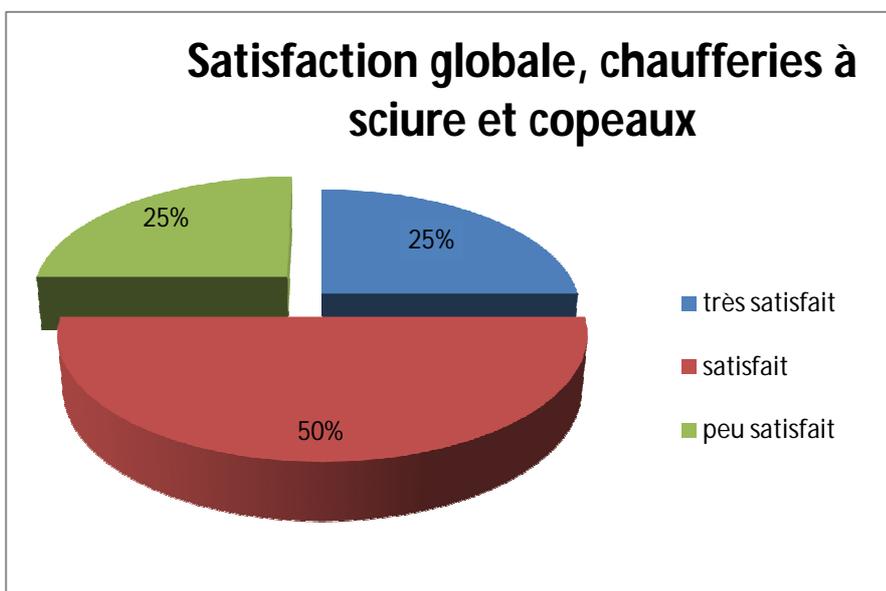
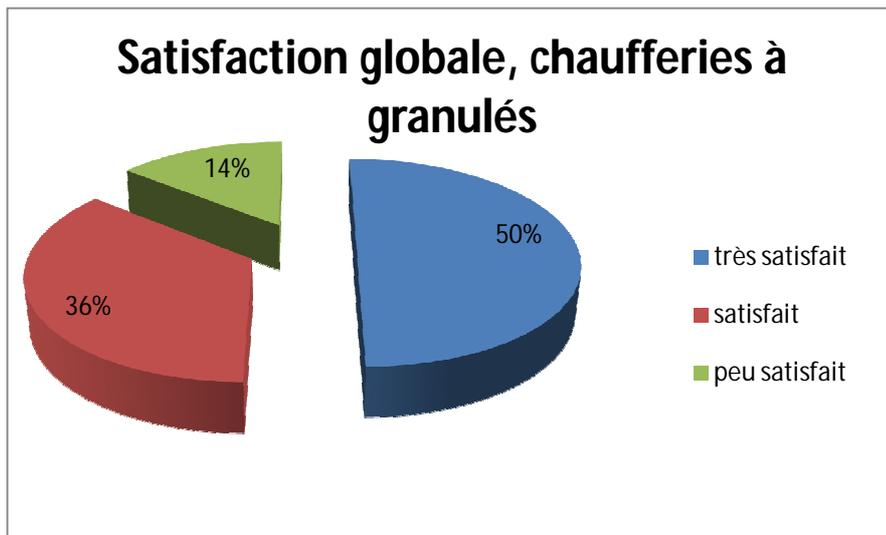
Enfin, il était demandé au maître d'ouvrage d'exprimer sa satisfaction globale concernant sa chaufferie automatique à bois. Les résultats sont présentés dans le graphique suivant :



La satisfaction des maîtres d'ouvrage est très élevée : 47 % sont « très satisfaits », 45 % « satisfaits », 8 % « peu satisfaits », et aucun n'est « pas du tout satisfait ».

Détail par combustible :





La satisfaction est bonne également pour les chaufferies fonctionnant avec autres combustibles : écorces, coques et sarments.

1.2.4 – Conclusion

Quarante chaufferies automatiques à bois ont fait l'objet d'une enquête et d'une visite sur site pour mieux connaître leurs conditions d'exploitation.

Concernant le combustible, les maîtres d'ouvrage sont très majoritairement satisfaits. Les rares cas d'insatisfaction portent sur une humidité excessive des plaquettes, ou sur la présence excessive de fines dans le granulé. Les prix des combustibles commercialisés constatés dans l'enquête sont conformes à ceux constatés ailleurs en France.

Dans les chaufferies avec appoint secours, les taux de couverture des besoins par l'énergie sont très élevés (supérieurs à 90 %), sauf deux cas, dont l'un semble désormais résolu.

Le calcul du ratio/consommation puissance semble indiquer qu'il y a d'assez nombreux cas de surdimensionnement de la puissance de la chaudière bois, associés ou non à des cas de sous-utilisation (bâtiments non encore raccordés, utilisation plus intermittente que prévue,...).

Les quantités de cendres produites sont globalement basses et conformes à la littérature. Cela témoigne du bon fonctionnement des chaufferies.

La consommation électrique des chaufferies n'a pu faire l'objet d'un traitement, à cause du manque de suivi par les maîtres d'ouvrage de ce paramètre, et du fait qu'il est très rare d'avoir un compteur électrique dédié à la chaufferie.

Les temps de maintenance sont globalement bas. Cela témoigne du haut niveau d'automatisation et de la bonne fiabilité des chaudières modernes. Les cas de temps de maintenance relativement élevés semblent liés à des chaufferies plus anciennes ou encore à des combustibles générant davantage d'encrassement ou de production de cendres.

Les coûts de gros entretien sont très mal connus, car ce poste est par nature variable d'une année sur l'autre et au fur et à mesure du vieillissement de la chaufferie. Il ne fait quasiment jamais l'objet d'un suivi sur l'ensemble de la durée de vie de la chaufferie, ce qui serait nécessaire pour établir a posteriori un coût moyen annuel. Pour les chaufferies récentes (moins de 10 ans), il semble particulièrement réduit (0,33 remplacement de pièce signalé par chaufferie, en moyenne).

Si la plupart des chaufferies ont rencontré des problèmes ponctuels, les problèmes récurrents ne concernent que neuf d'entre elles.

Le niveau d'investissement dans les chaufferies présente de fortes variations, qui semblent liées notamment à la nature du maître d'ouvrage et au besoin (ou non) de créer un bâtiment pour la chaufferie et le silo. S'il y a des effets de gamme, il n'y a pas pour autant de décroissance très nette, pour les chaufferies puissantes, du coût d'investissement ramené au kilowatt.

Les subventions publiques attribuées entre 2001 et 2008, selon les cas par la Région Languedoc-Roussillon, l'ADEME, l'Union Européenne au titre du FEDER, les Départements et l'Etat, atteignent généralement 25 à 50 % de l'investissement à la charge du maître d'ouvrage ; les taux supérieurs à 50 % provenant de l'aide complémentaire des Départements ou de l'Etat.

La comparaison entre les études préalables à la décision et la réalité de la chaufferie réalisée fait apparaître une bonne adéquation au niveau de la puissance et une assez bonne adéquation quant aux consommations de combustible (malgré quelques écarts notables concernant ce second terme). Pour la maintenance, les variations sont importantes, et sont le reflet de la large dispersion constatée en ce qui concerne les temps et coûts réels de maintenance.

Enfin, la satisfaction globale des maîtres d'ouvrage quant à leur chaufferie automatique à bois est très élevée, 92 % se déclarant « satisfaits » ou « très satisfaits ».

Globalement, la méthode de l'enquête auprès des maîtres d'ouvrage, consistant à noter leurs déclarations, a montré des limites et des imprécisions. Tous les maîtres d'ouvrage n'ont pas un suivi précis de leur chaufferie, et les informations sont parfois difficiles à obtenir. Des demandes complémentaires par téléphone ou courrier, ainsi que le recoupement avec les données en notre possession, ont souvent permis de compléter ces informations. Un contrôle approfondi sur pièces, serait à la fois plus long, plus invasif et moins bien perçu, et ne pourrait pas non plus compenser complètement l'absence de suivi précis.