AMORCE

ENQUÊTE

Comparatif des modes de chauffage & Prix de vente de la chaleur en 2012

Série Économique

RCE 19 &
ENE 05

Avril 2014

Réalisé avec le soutien technique et financier de

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Sommaire

Sommaire 2
Introduction 3

1. Comparaison des modes de chauffage en 2012 3
1.1 Méthodes de comparaison des modes de chauffage et hypothèses 3
1.1.1 Facturation des différentes énergies 3
1.1.2 Facture énergétique, facture globale et coût global 5
1.1.3 Hypothèses tarifaires 6
1.1.4 Les modes de chauffage 9
1.1.5 Les caractéristiques du logement-type 10
1.1.6 Méthodes et hypothèses des critères de comparaison 11
1.2 Comparaison des modes de chauffage pour les bâtiments existants 14
1.2.1 Comparaison économique 14
1.2.2 Comparaison énergétique 21
1.2.3 Comparaison en termes de gaz à effet de serre 22
1.3 Comparaison des modes de chauffage pour les bâtiments RT 2012 24
1.3.1 Hypothèses 24
1.3.2 Comparatif des systèmes de chauffage permettant d'atteindre la RT 2012 27
1.3.3 Comparatif des systèmes de chauffage permettant d'atteindre le label Effinergie+ 32
1.4 Evolution des prix de l'énergie et impacts sur la facture de chauffage 35

2. Le prix de vente de la chaleur en 2012 37
2.1 Les chiffres clés de l'enquête technique 37
2.2 Prix de vente de la chaleur 39
2.2.1 Définition du prix moyen de vente de la chaleur 39
2.2.2 Résultat moyen pour l'année 2011 39
2.2.3 Impact de l'énergie utilisée 41
2.2.4 Impact des autres paramètres sur le prix de la chaleur 44
2.3 Monotone des prix 46
2.4 Focus sur le prix du chauffage pour les clients résidentiels. 49

Conclusion 50
Annexe 1 : Hypothèses sur les bâtiments existants 51
Annexe 2 : Hypothèses sur les bâtiments RT 2012 55

Introduction

Cette enquête se décompose en deux grandes parties : la comparaison des modes de chauffage et l'enquête sur le prix de vente de la chaleur.

Partie 1. La comparaison des modes de chauffage intègre une analyse économique et environnementale (émissions de gaz à effet de serre et énergie primaire) pour différents modes de chauffage et plusieurs niveaux de performance des bâtiments. Depuis 2 ans, ce travail comprend deux analyses complémentaires permettant de comparer les différents modes de chauffage dans le cadre de la RT 2012 et de comparer l'évolution du coût global à long terme en fonction de l'évolution des prix des énergies.

Partie 2. L'enquête sur les prix de vente de la chaleur a été réalisée à partir de l'enquête annuelle de branche du secteur du chauffage urbain pour l'année 2012, conduite par le SNCU (Syndicat National du Chauffage Urbain) sous l'égide du SOeS (Service des statistiques du MEDDE). A noter que les résultats présentés dans cette deuxième partie viennent nourrir les hypothèses servant à la comparaison des modes de chauffage de la première partie.

1. Comparaison des modes de chauffage en 2012

Cette première partie a pour objet de comparer différents modes de chauffage. Après avoir posé les hypothèses et les méthodes de comparaison (1.1), les différents modes de chauffage sont comparés d'un point de vue économique et environnemental (1.2). La partie 1.3 traite uniquement de la comparaison des modes de chauffage pour les bâtiments neufs soumis à la RT 2012. Enfin, la partie 1.4 présente une comparaison des coûts du chauffage à moyen terme en fonction de l'évolution des prix des énergies.

1.1 Méthodes de comparaison des modes de chauffage et hypothèses

Après un rappel des modes de facturation des différentes énergies (1.1.1) et des différences qui existent en matière de définition des coûts du chauffage (1.1.2), les hypothèses retenues pour les coûts du chauffage en 2011 (1.1.3), les modes de chauffage (1.1.4), les caractéristiques du logement type (1.1.5) et la méthode de comparaison sont définis (1.1.6).

1.1.1 Facturation des différentes énergies

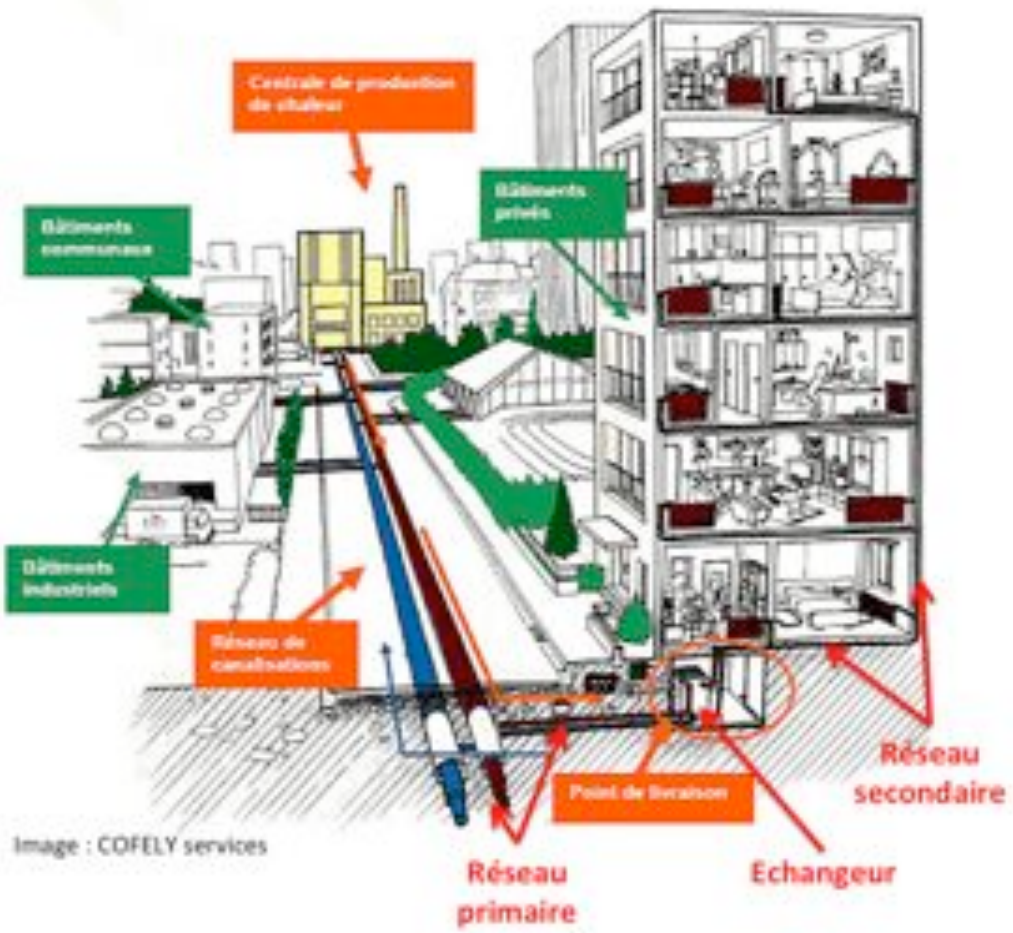
1.1.1.1 Energies de réseau

a) Tarification des réseaux de chaleur

Les tarifs affichés par les réseaux de chaleur sont très variables d'un réseau à un autre. Il est donc important de préciser le contenu de chaque terme de la facture énergétique d'un réseau de chaleur :

- **Le terme R1 :** c'est le terme proportionnel à la consommation d'énergie primaire du réseau de chaleur qui s'exprime en €HT/MWh. Il dépend des combustibles utilisés (fioul, charbon, gaz, bois) et des prix d'acquisition de chaleur (UIOM, cogénération, rejets industriels). Au final, ce terme est représentatif de la consommation énergétique.
- **Le terme R1 ECS :** c'est le tarif proportionnel à la consommation d'eau chaude sanitaire, lorsqu'elle est facturée séparément du chauffage. R1 ECS est en €HT/m^3 d'eau consommé. Pour l'intégrer aux calculs théoriques des factures, un coefficient de conversion q (kWh/m^3) est appliqué ; q est propre à chaque réseau, s'il n'est pas précisé, sa valeur par défaut est fixée à 100 kWh/m^3.

- **Le terme R2 :** c'est l'abonnement ou partie fixe. Il est proportionnel à la puissance souscrite ou à la surface chauffée ; R2 s'exprime en €HT/$kW_{souscrit}$.an, ou en €HT/m^2.an ou en €HT/URF.an (l'URF, ou UFF, ou UFR, est une « unité de répartition forfaitaire », permettant la répartition de la part fixe entre les abonnés, sans référence directe à la puissance souscrite). Ce terme prend en compte la fourniture d'électricité (R21'), les charges d'exploitation (R22, R23) et l'amortissement de l'installation (R24) (dans certains cas) pour le réseau primaire.
- **La surtaxe et/ou R2B et/ou R3 et/ou R24 et/ou redevance spéciale :** un certain nombre de réseaux font payer une contribution supplémentaire, soit pour permettre à la collectivité de rembourser ses investissements dans le cas de l'affermage (surtaxe), soit pour l'amortissement de travaux (R2 et R3 en DSP). Ce terme peut s'exprimer en €HT/kW ou en €HT (forfait).



b) Tarification de l'électricité

Les contrats de vente d'électricité (tarifs réglementés ou tarifs de marché) se décomposent de la manière suivante :

- **L'abonnement** : c'est le terme payé à chaque période indépendamment de la quantité d'électricité consommée. Généralement le montant de l'abonnement est fonction de la puissance réservée.
- **La part consommation** : c'est le terme proportionnel au volume de kWh livrés sur la période.

c) Tarification du gaz naturel

Les contrats de vente de gaz naturel (tarifs réglementés ou tarifs de marché) se décomposent de la manière suivante :

- **L'abonnement** : c'est le terme fixe payé à chaque période. Le montant de l'abonnement peut être fonction du volume prévisionnel de consommation (quantité de kWh consommés sur chaque période, du débit journalier maximum, etc.)
- **La part consommation** : c'est le terme proportionnel au volume de kWh livrés sur la période.

1.1.1.2 Energies hors réseaux

Les énergies vendues en dehors d'un réseau de distribution d'énergies (fioul, propane, bois, etc.) sont facturées à la livraison du combustible par le fournisseur. Il n'y a généralement aucune part fixe et le prix unitaire est dégressif avec les quantités d'énergie livrées.

1.1.2 Facture énergétique, facture globale et coût global

Afin de comparer différents modes de chauffage en logement collectif, il ne suffit pas de comparer les charges locatives de plusieurs logements alimentés par différents systèmes, ni de comparer le coût unitaire (au kWh) de l'énergie facturée par le fournisseur. Il est nécessaire de comprendre au préalable la décomposition de l'ensemble des coûts liés au chauffage.

Les exploitants de chauffage ont l'habitude de parler en termes P1, P2, P3, P4. Mais tous ces postes ne sont pas facturés au même acteur. Le tableau ci-dessous précise ces termes.

Décomposition des coûts liés au chauffage	Indicateurs			
La facture d'énergie avec l'abonnement (part fixe) et le coût proportionnel aux consommations d'énergie (part variable). • Ce sont le **R1** et le **R2** pour les réseaux de chaleur qui comprennent : ▪ la fourniture de chaleur au travers du R_1 (production, distribution, fourniture d'énergie), ▪ les charges d'électricité des auxiliaires : R_{21} ▪ des charges de Conduite et Entretien des Installations du réseau de chaleur (jusqu'à la sous-station en pied d'immeuble) : R_{22}, ▪ les charges de Gros Entretien et de Renouvellement des installations (jusqu'à la sous-station en pied d'immeuble) : R_{23}., ▪ les charges de financement des installations de premier établissement définies dans le contrat de DSP, déduction faite des aides et subventions obtenues : R_{24}. • C'est le **P1** pour les autres sources d'énergies : l'achat d'énergie peut être géré directement par le locataire (chauffage individuel), par l'Abonné (bailleur ou syndic de copropriété) ou par l'exploitant des installations, dans le cadre de son contrat d'exploitation.	FACTURE ENERGETIQUE			
L'électricité annexe nécessaire au fonctionnement des installations de production (brûleurs, pompes) et de distribution (pompes, régulation…) pour acheminer le chauffage jusqu'aux émetteurs de chaleur du logement et l'eau chaude sanitaire jusqu'aux points de puisage : c'est le terme **P'1**.		CHARGES LOCATIVES RECUPERABLES		
La conduite et le petit entretien des installations : de l'arrivée de combustible ou de chaleur jusqu'aux émetteurs de chaleur. C'est le terme **P2**.			FACTURE TOTALE	
Le gros entretien et le renouvellement à l'identique du matériel: de l'arrivée de combustible ou de chaleur jusqu'aux émetteurs de chaleur. C'est le terme **P3**.				
Les amortissements des installations de production de chaleur et de distribution de chaleur (dans l'immeuble ou le logement). C'est le terme **P4**. Viennent en déduction les subventions obtenues pour le financement des équipements.				COUT GLOBAL DU CHAUFFAGE

La facture énergétique ne représente que la facture payée par l'abonné au fournisseur d'énergie. La facture totale correspond aux dépenses totales annuelles incluant la facture énergétique et les dépenses de fonctionnement en aval du point de comptage. Au final, seul le calcul en coût global, qui intègre les dépenses d'investissement, reflète la dépense totale supportée par l'usager et permet donc des comparaisons entre modes de chauffage. Pour plus de détail sur le sujet, voir *Compréhension de la chaîne de facturation du chauffage d'un logement raccordé à un réseau de chaleur : du délégataire à l'usager final* (RCE11 - AMORCE Octobre 2012).

1.1.3 Hypothèses tarifaires

Cette partie permet de fixer les hypothèses tarifaires retenues dans la comparaison des modes de chauffage. Pour plus de précisions sur la tarification des énergies de réseaux, se référer à la note consacrée à la *Tarification progressive de l'énergie* (ENE03 – AMORCE Janvier 2013).

a) Réseau de chaleur :

Les tarifs ci-dessous sont issus de l'analyse menée par AMORCE sur le prix de vente de la chaleur (voir partie 2).

Les puissances souscrites par logement selon la performance énergétique sont les suivantes :

Type de bâtiment	Puissance/log (kW)
Bâtiment moyen RT2005	5,38
Bâtiment parc social moyen	7,00
Bâtiment peu performant	11,28

Tarif binôme théorique construit à partir du prix moyen du MWh (68,1 € HT/MWh) et de la part moyenne de la partie variable (33%) :

R1 : 45,68 €HT/MWh

R2 : 34,92 €HT/kW

Ce tarif est représentatif de la moyenne des prix pratiqués par les réseaux de chaleur en France pour l'année 2012.

Réseau de chaleur alimenté majoritairement à partir de combustibles fossiles :

Tarif binôme théorique construit à partir du prix moyen du MWh (71,1 € HT/MWh) et de la part moyenne de la partie variable (30%) :

R1 : 49,74 €HT/MWh

R2 : 33,24 €HT/kW

Réseau de chaleur alimenté majoritairement par des EnRR :

Tarif binôme théorique construit à partir du prix moyen du MWh (60,5 € HT/MWh) et de la part moyenne de la partie variable (42%) :

R1 : 35,25 €HT/MWh

R2 : 39,30 €HT/kW

Ce tarif est représentatif de la moyenne des prix pratiqués par les réseaux de chaleur alimenté majoritairement par des EnRR en France pour l'année 2012. L'abonnement (R2) est plus important que pour la moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur alors que la part consommation (R1) est plus faible.

Pour l'année 2012, le taux de TVA applicable pour la tarification des réseaux de chaleur est de 5,5% pour l'abonnement (R2) et pour la consommation (R1) des réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des EnRR. Le taux à 19,6% est applicable sur la consommation (R1) des réseaux de chaleur qui ne sont pas alimentés à plus de 50% par des EnRR.

b) Electricité :

Nous avons choisi de considérer les tarifs réglementés de vente (TRV) pour fixer le niveau des prix de l'électricité car 93% des clients résidentiels ont pour l'instant conservé ces tarifs (source CRE au 30 juin 2013). A noter que les offres de marchés proposent des prix relativement proches des tarifs réglementés (dans une fourchette de +/- 5% en moyenne[1]).

Pour le chauffage électrique individuel, on calcule la part de l'abonnement imputable au chauffage et à l'ECS par différence entre le tarif retenu pour le niveau de performance du bâtiment considéré (cf. tableau ci-dessus) et un tarif 6 kVA que souscrirait l'occupant du logement quel que soit son mode de chauffage.

Les tarifs présentés ci-dessous sont issus de l'arrêté du 20 juillet 2012 :

Part abonnement :

	Puissance (kVA)	Abonnement annuel (HT)	RT 2005	Parc social moyen	Peu Performant
Tarif bleu Option HC	15	183,72 €			X
	12	156,72 €		X	
	9	94,44 €	X		
	6	79,20 €			
Tarif jaune	€ / kW souscrit.an	30,72 €			

Part consommation :

CSPE : contribution au service public de l'électricité

0,975 c€HT/kWh (moyenne sur l'année 2012 car la contribution unitaire était de 9€/MWh de janvier à juin et de 10,5€/MWh de juillet à décembre)

TCFE : taxe sur la consommation finale d'électricité

0,914 c€HT/kWh (fixée par défaut au niveau communal et départemental maximum)

CTA : contribution tarifaire d'acheminement

21% de la part fixe du Turpe

Tarif bleu : Option HC

Conso HP : 9,35 c€HT/kWh

Conso HC : 5,78 c€HT/kWh

Tarif jaune : Utilisation Moyenne

Eté Conso HP : 4,296 c€HT/kWh

Eté Conso HC : 3,061 c€HT/kWh

Hiver Conso HP : 10,628 c€HT/kWh

Hiver Conso HC : 7,434 c€HT/kWh

Pour l'année 2012, le taux de TVA applicable pour la tarification de l'électricité est de 5,5% pour l'abonnement et la CTA et de 19,6% pour la consommation, la TCFE et la CSPE.

c) Gaz naturel :

Nous avons choisi de considérer les tarifs réglementés de vente (TRV) pour fixer le niveau des prix du gaz naturel car 81% des clients résidentiels ont pour l'instant conservé ces tarifs (source CRE au 30 juin 2013). L'ouverture des marchés est plus avancée pour le gaz naturel que pour l'électricité en France, en partie car la différence de prix entre offres de marché et tarifs réglementés est plus conséquente pour le gaz naturel (dans une fourchette de +/- 10% en moyenne pour un client domestique[1]).

[1] http://comparateur-offres.energie-info.fr/comparateur-offres-electricite-gaz-naturel/criteria.action?profil=particulier

A noter que nous avons pris le niveau de tarif réglementé de vente du gaz naturel le plus compétitif dans notre méthode de comparaison. En effet, les TRV du gaz naturel sont composés de 6 niveaux de prix fonction de la localisation géographique du client (différence jusqu'à 7%).

Les tarifs présentés ci-dessous sont issus des prix observés sur l'année 2012 pondérés par les consommations mensuelles moyennes. Le prix moyen du gaz en utilisation ECS est composé de 42% du tarif hiver et 58% du tarif été. Le prix moyen du gaz en utilisation chauffage est composé de 76% du tarif hiver et 24% du tarif été.

Les tarifs présentés ci-dessous sont issus de l'arrêté du 21 décembre 2012, de l'arrêté du 18 juillet 2012 et de l'arrêté du 26 septembre 2012. Les tarifs en vigueur ont été pondérés par la consommation mensuelle moyenne du mois correspondant.

	Abonnement annuel	**Prix de 100 kWh PCI**	**RT 2005**	**Parc social moyen**	**Bâtiment peu Performant**	**Chaufferie collective tous bâtiments**
Tarif B1 (€ HT)	160,81 €	5,16 €	X	X	X	
Tarif B2S (€ HT) Niveau 1	954,17 €	4,82 € (Chauffage) 4,25 € (ECS)				X

CTSS : contribution au tarif spécial de solidarité

0,045 €HT/MWh

CTA : contribution tarifaire d'acheminement

17% de la part fixe du tarif de distribution, soit 29 €HT/an pour le tarif B1

Pour l'année 2012, le taux de TVA applicable pour la tarification du gaz naturel est de 5,5% pour l'abonnement et la contribution tarifaire d'acheminement (CTA) et de 19,6% pour la consommation et la contribution au tarif spécial de solidarité (CTSS).

A noter que les consommations de gaz sont soumises depuis janvier 2013 à la Contribution au service public du gaz pour le financement du biométhane, elle n'entre donc pas dans la présente enquête. A noter que les consommations domestiques ne sont pas soumises à la taxe intérieure sur la consommation de gaz naturel (TICGN) pour 2012, cette taxe sera applicable aux consommations domestiques à partir de 2014[2].

d) Fioul domestique

Le fioul domestique est uniquement étudié pour des chaufferies collectives. Le prix indiqué ci-dessous est le prix moyen du fioul domestique sur l'année 2012 pour des livraisons de plus de 27 000 litres figurant sur le site du ministère[3].

	c€ HT/ kWh PCI
Prix du fioul	7,30

TICPE : taxe intérieure sur les produits énergétiques

5,66 € / hl

Pour l'année 2012, le taux de TVA applicable pour la tarification du fioul est de 19,6% sur la partie combustible et sur la taxe intérieure sur les produits énergétiques (TICPE).

[2] Article 32 du projet de loi de finance 2014

[3] http://www.developpement-durable.gouv.fr/Prix-de-vente-moyens-des,10724.html

1.1.4 Les modes de chauffage

Les modes de chauffage retenus représentent les principaux choix qui s'offrent à un maître d'ouvrage qui réhabilite ou construit des logements collectifs. Les abréviations sont celles qui seront reprises dans les tableaux et graphiques. Nous avons fait le choix d'établir **deux listes de systèmes** de chauffage selon que l'on compare les bâtiments existants ou les bâtiments neufs RT 2012, pour lesquels les choix qui s'offrent au maître d'ouvrage sont sensiblement différents (cf. partie 1.3).

Les modes de chauffage aux combustibles fossiles :

- **Gaz ind cond** : chaudière individuelle à condensation au gaz naturel par appartement.
- **Gaz coll cond** : chaudière à condensation au gaz naturel en pied d'immeuble, chauffage collectif.
- **Fioul coll**: chaudière au fioul domestique en pied d'immeuble, chauffage collectif.

A noter que les solutions de chaudières individuelle au gaz et chaudière collective au gaz sans condensation ont été sorties de l'enquête car en rénovation comme en rééquipement, ce type de chaudière est de moins en moins installé (sauf contraintes techniques particulières). En coût global sur une année, l'écart de compétitivité entre la chaudière au gaz naturel avec condensation et la chaudière au gaz naturel sans condensation n'est pas si importante (de l'ordre de 5%), mais sur une période longue, il devient significatif. Pour cette comparaison des modes de chauffage, nous prenons donc la meilleure solution technique pour les chaudières gaz naturel en solution individuelle et collective.

Les modes de chauffage à base d'électricité :

- **Elec ind** : chauffage électrique individuel « classique » (convecteurs ou panneaux rayonnant avec ECS sur ballon à accumulation).
- **PAC ind** : pompe à chaleur individuelle air/air par appartement (avec ECS sur ballon à accumulation).
- **PAC géo** : pompe à chaleur collective géothermique eau/eau

Le chauffage sur réseaux de chaleur[4] :

- Pour la partie *comparaison environnementale*, on retient 4 exemples de réseaux de chaleur performants, avec les bouquets énergétiques suivants :

- **Réseau bois** : 80 % bois, 20 % gaz.
- **Réseau géo** : 40 % gaz naturel, 60 % géothermie.
- **Réseau cogé** : 60% cogénération, 30% gaz naturel, 10% fioul lourd.
- **Réseau UIOM** : 60% UIOM, 30% gaz naturel, 10% fioul lourd.

- Pour la partie *comparaison économique*, on retient 3 catégories de réseaux de chaleur en fonction de leur bouquet énergétique :

- **Réseau moyen** : moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur
- **Réseau > 50% EnRR** : moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des EnRR.
- **Réseau < 50% EnRR** : moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies fossiles.

[4] Nous avons établi deux listes de réseaux de chaleur. La 1ère présente des mix énergétique représentatifs de certaines catégories de réseaux afin de pouvoir établir des comparaisons environnementales. Nous n'avons pas pu prendre ces mêmes catégories pour réaliser les comparaisons économiques du fait de la trop grande dispersion des résultats (cf. 2.2.3),

La 2ème liste présente des distinctions selon la contribution des EnRR au mix énergétique global auquel nous avons associé le prix moyen de vente de chaleur correspondant en prenant en compte l'application de la TVA réduite.

1.1.5 Les caractéristiques du logement-type

Le logement-type considéré est un appartement de 70 m^2 dans un immeuble de 25 logements, avec 3 niveaux de consommation :

	Consommation de référence	**Comprend**	**Consommation utile Chauffage+ECS (kWh utile/ m^2.an)**
Bâtiments *RT 2005 moyen*	120 kWh « primaire » / m^2 par an	Clim + ECS + Chauffage	96
Bâtiments *parc social moyen*	170 kWh « finale » / m^2 par an	Clim + ECS + Chauffage	136
Bâtiments *peu performants*	300 kWh « finale » / m^2 par an	Clim + ECS + Chauffage	240

La consommation utile en chauffage et eau chaude sanitaire (colonne de droite), utilisée par la suite pour les différentes comparaisons, a été évaluée à partir de la consommation de référence qui est fixée par convention (moyenne réglementaire ou statistique). La consommation d'ECS est identique pour les 3 catégories de bâtiments avec 2200 kWh utiles par logement et par an.

Cette consommation utile qui caractérise le service rendu à l'usager final est ensuite identique *quel que soit le mode de chauffage retenu*.

La comparaison proposée se base à « enveloppe » constante, à l'exception des bâtiments neufs soumis à la RT 2012. Ces derniers font l'objet d'une analyse spécifique avec une enveloppe thermique qui évolue selon le système de chauffage retenu afin de respecter les exigences de la RT 2012, ce qui nous place du point de vue du maître d'ouvrage d'un bâtiment qui regarde les coûts ou surcoûts des différentes solutions (cf. partie 1.3).

1.1.6 *Méthodes et hypothèses des critères de comparaison*

La comparaison des modes de chauffage est construite sur les critères suivants :

Critère	Indicateur	Unité
Economique	Coût global	€TTC/an.logement
Energétique	Energie primaire	kWhep/kWhu
Effet de serre	Emissons de gaz à effet de serre	kg CO2/kWh

1.1.6.1 Comparaison économique

La comparaison économique est construite à partir des hypothèses présentées en annexe. La méthode consiste, pour chacun des 3 niveaux de consommation considérés, à calculer les différents éléments du coût global de chauffage et d'ECS.

- **Etape 1 : facture énergétique :** à partir du calcul des abonnements nécessaires aux différentes énergies (électricité, gaz, réseau de chaleur) et des consommations, le poste « achat d'énergie », ou P1 (ou R1+R2 pour les réseaux de chaleur) est déterminé.
- **Etape 2 : Dépenses de fonctionnement (secondaire):** Définition des charges d'électricité annexe, d'entretien et de renouvellement (P'1, P2, P3) de l'installation de chauffage interne à l'immeuble, depuis le compteur jusqu'au corps de chauffe (cf. annexe 1).
- **Etape 3 : Calcul de la facture totale annuelle (facture énergétique + fonctionnement)**.
- **Etape 4 : Evaluation des investissements et de l'amortissement (P4)** pour les équipements de production et de distribution intérieure au bâtiment (cf. annexe 1)
- **Etape 5 : Calcul du coût global annuel (facture totale + amortissement)**

La méthode de comparaison des modes de chauffage utilisée par AMORCE depuis 1988 consiste en l'établissement d'une facture pour un « logement-type » utilisant différents modes de chauffage. On se place alors du point de vue de l'usager et on calcule, à partir de ses besoins énergétiques, le coût global annuel de son poste énergie (chauffage + ECS).

1.1.6.2 Comparaison énergétique

La comparaison énergétique est bâtie sur la base de facteurs d'énergie primaire pour chacune des énergies considérées.

Alors que l'utilisateur achète de l'énergie finale, il est nécessaire de prendre en compte toute la chaîne de transformation de l'énergie, depuis son extraction jusqu'à son utilisation au niveau du radiateur dans le logement pour estimer l'impact complet des consommations d'énergie. L'indicateur retenu est l'énergie primaire non-renouvelable consommée, qui représente le prélèvement total irréversible d'énergie sur la planète.

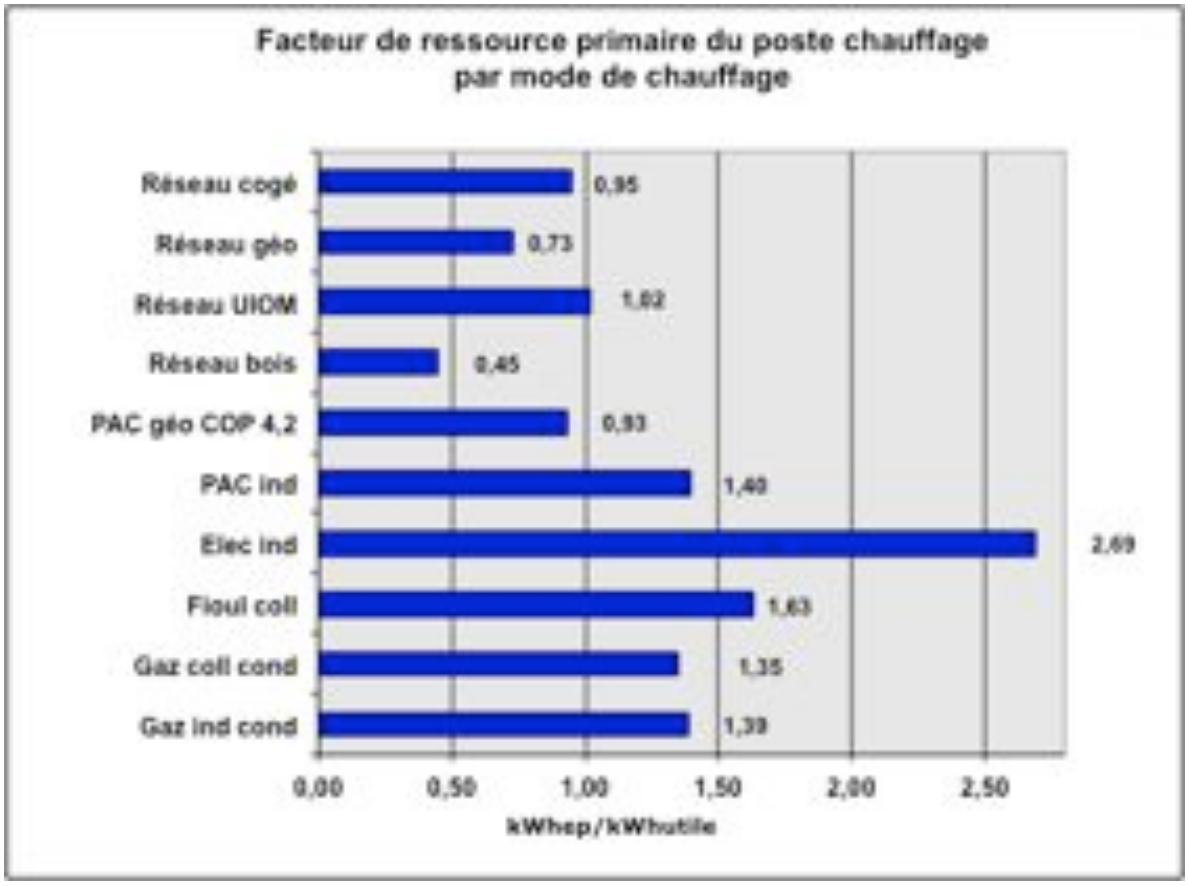
Les facteurs d'énergie primaire retenus sont, pour les valeurs disponibles, ceux de la norme EN-15316-4-5, établis dans le cadre du programme *Ecoheatcool*.

Le coefficient de conversion en énergie primaire pris en compte pour l'électricité est celui de la réglementation thermique, par souci de simplification (coefficient de 2,58[5]). Pour les énergies fossiles, un coefficient d'énergie primaire de 1,1 a été retenu[6].

[5] ADEME : Méthode RT 2005 et outil 3CL pour le calcul des DPE.

[6] À noter que la réglementation thermique qui raisonne en kWh PCI prévoit un coefficient de 1 pour le gaz et le fioul. En retenant 1,1, l'approche est plus exhaustive, mais tend à favoriser l'électricité dont le coefficient a été fixé à 2,58 dans la réglementation en tenant compte du coefficient de 1 pour les énergies fossiles.

Pour les différents modes de chauffage (définis en 1.1.4), les facteurs de ressource primaire sont ainsi les suivants :



Les réseaux de chaleur performants que nous avons retenus comme représentatifs du mix énergétique pour les réseaux de chaleur sont les moyens de chauffage les plus économes en énergie primaire non renouvelable, avec les pompes à chaleur géothermiques en collectif sous réserve que celles-ci tiennent effectivement le niveau de COP moyen annuel de 4,2 utilisé dans le calcul.

Le réseau bois (alimenté à 80% par des énergies renouvelables) consomme trois fois moins d'énergie primaire non renouvelable qu'une chaudière collective gaz à condensation.

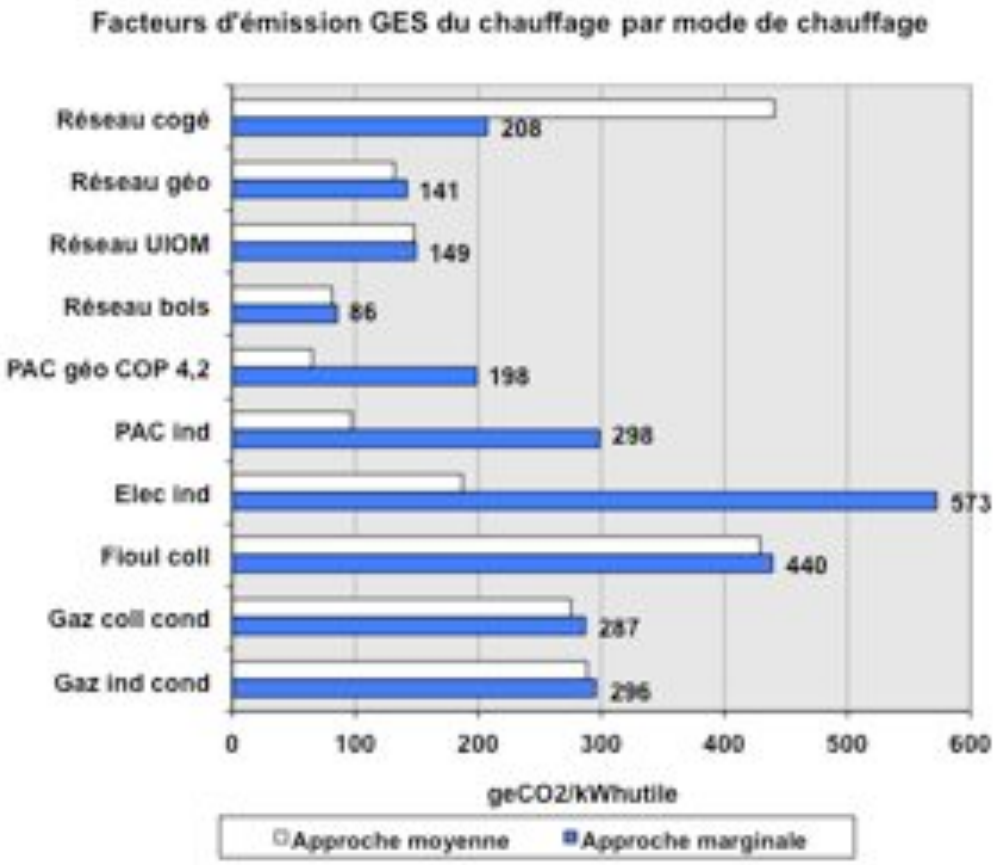
A noter qu'en utilisant un coefficient d'énergie primaire de 3,2 pour l'électricité, plus cohérent que le 2,58 au regard du bilan énergétique de la France publié par le MEDDTL pour 2010, l'écart avec la PAC grandit en faveur des réseaux de chaleur utilisant des EnRR.

1.1.6.3 Comparaison en termes de gaz à effet de serre

Les facteurs d'émission de gaz à effet de serre retenus sont ceux définis dans l'arrêté DPE et dans une étude RTE/ADEME[7].

	Facteur d'émission amont ($kgeCO_2$/kWh PCI ou élec)	
Charbon	0,384	
Fioul lourd	0,320	
Fioul domestique	0,300	
Gaz naturel	0,234	
Electricité pour chauffage et auxiliaires de chauffage[7]	0,180	0,550
Chaleur UIOM (chaleur fatale)	0,004	
Electricité de base (ECS en heures creuses)[8]	0,040	
Plaquettes forestières	0,013	
Sciures et écorces[9]	0,004	
Biomasse (moyenne plaquettes et sciures)	0,008	

On obtient ainsi, pour les différents modes de production de chaleur (définis en 1.1.4), les facteurs d'émission de gaz à effet de serre suivants :



[7] *Etude RTE / ADEME sur le contenu en CO2 du kWh électrique (2007) ;* à gauche l'approche moyenne, à droite la valeur marginale

[8] Valeur hors période de pointe (retenue pour l'ECS produite en heures creuses)

[9] *Etude ADEME / Bio Intelligence Service (2005).* Pour la biomasse, le facteur d'émission retenu est celui associé à la plaquette forestière (0,013 kg CO_2/kWh PCI) conformément à l'arrêté DPE. Cette hypothèse est majorante pour le bilan de la biomasse car cette valeur ne tient pas compte du facteur plus faible associé aux produits connexes de scierie, largement utilisés aujourd'hui.

Les émissions de GES des modes de chauffage utilisant l'électricité sont fortement modifiées selon que l'on prenne une approche moyenne ou une approche marginale du contenu CO_2 de l'électricité. Les autres modes de chauffage sont moins affectés car ce choix n'influe que les émissions de GES associées aux auxiliaires. Les réseaux de chaleur bois, géothermie et UIOM sont faiblement émetteurs de GES ; pour les réseaux de chaleur cogénération, les émissions de GES dépendent de la valorisation de l'électricité injectée.

1.2 Comparaison des modes de chauffage pour les bâtiments existants

Cette partie compare les différents modes de chauffage pour 3 types de bâtiments existants : bâtiment RT 2005 à 120 kWh/m^2.an, bâtiment parc social moyen à 170 kWh/m^2.an et bâtiment peu performant à 300 kWh/m^2.an. Le cas des bâtiments RT 2012 sera traité dans la partie 1.3.

1.2.1 Comparaison économique

Comment lire les graphiques et tableaux des 3 paragraphes suivants ?

Graph. 1 : Décomposition du coût global chauffage + ECS

- Pour chacun des modes de chauffage (cf. 1.1.4), les dépenses afférentes à chaque poste de coût (cf. 1.1.2) sont additionnées afin de permettre des comparaisons en coût global.
- Compte tenu de l'hétérogénéité des prix pratiqués par les réseaux de chaleur, nous avons placé des indicateurs (marqueurs gris foncé) sur la deuxième ligne du tableau. Ces indicateurs font référence aux 5 classes de prix observées sur les réseaux de chaleur (cf. 2.2.1 et 2.3).

Tableau : Récapitulatif des postes de dépenses pour chaque solution de chauffage

- Facture énergétique = P1 (ou R1 + R2 pour les réseaux de chaleur)
- Charges locatives récupérables = Facture énergétique + P'1 + P2
- Facture totale annuelle = Charges locatives récupérables + P3
- Coût global annuel sans subvention : Facture totale annuelle + P4

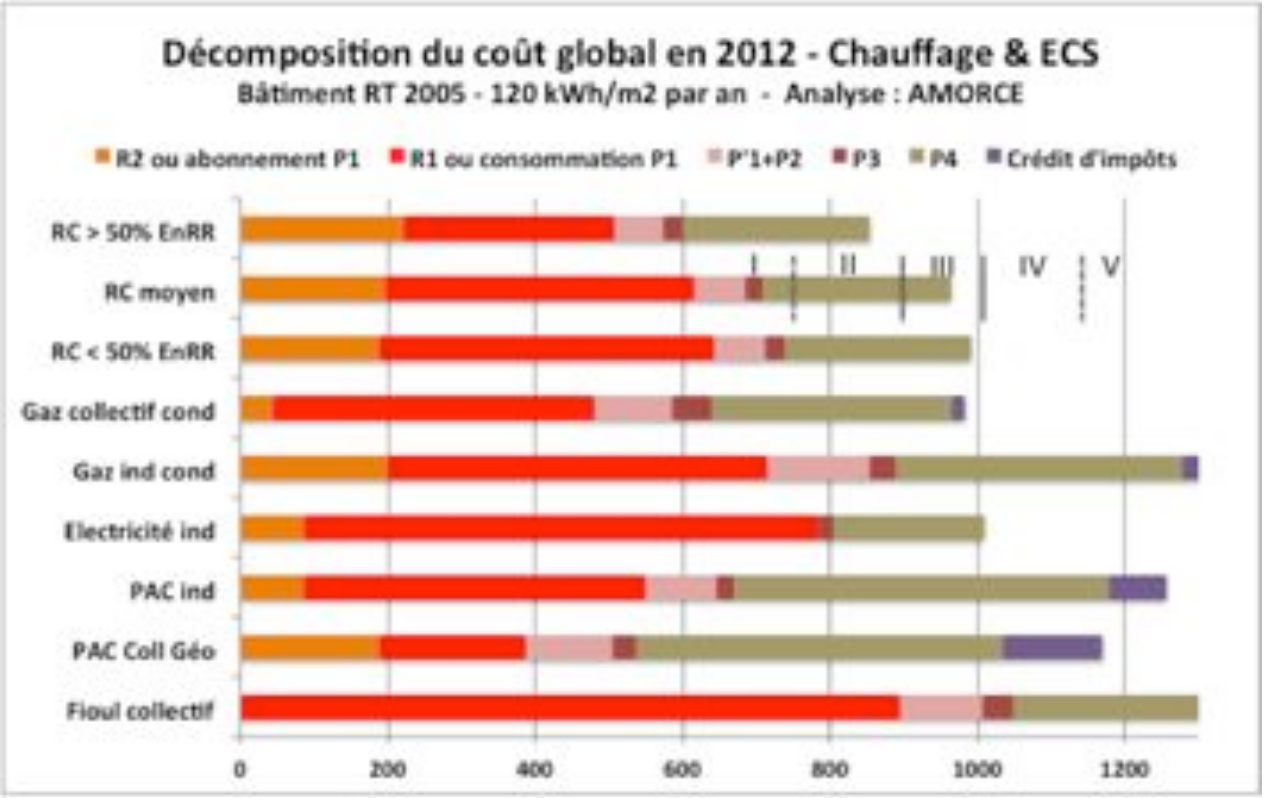
Plus de détails sur les postes de dépenses liés au chauffage dans la partie 1.1.2

Graph. 2 : Parts fixes et parts variables des modes de chauffage

- La part variable correspond à la partie consommation (R1 ou consommation P1)
- La part fixe se compose de l'abonnement (R2 ou abonnement P1), de l'entretien et du fonctionnement du réseau secondaire (P'1, P2 et P3) et de l'amortissement des équipements (P4).

1.2.1.1 Bâtiment RT 2005 – 120 kWh/m^2.an

Ce niveau de consommation correspond au niveau des bâtiments récents soumis à la RT 2005. A noter que ce niveau de consommation de 120 kWh/m^2.an devrait devenir la moyenne du parc résidentiel français à l'horizon 2030, soit moitié moins qu'aujourd'hui.



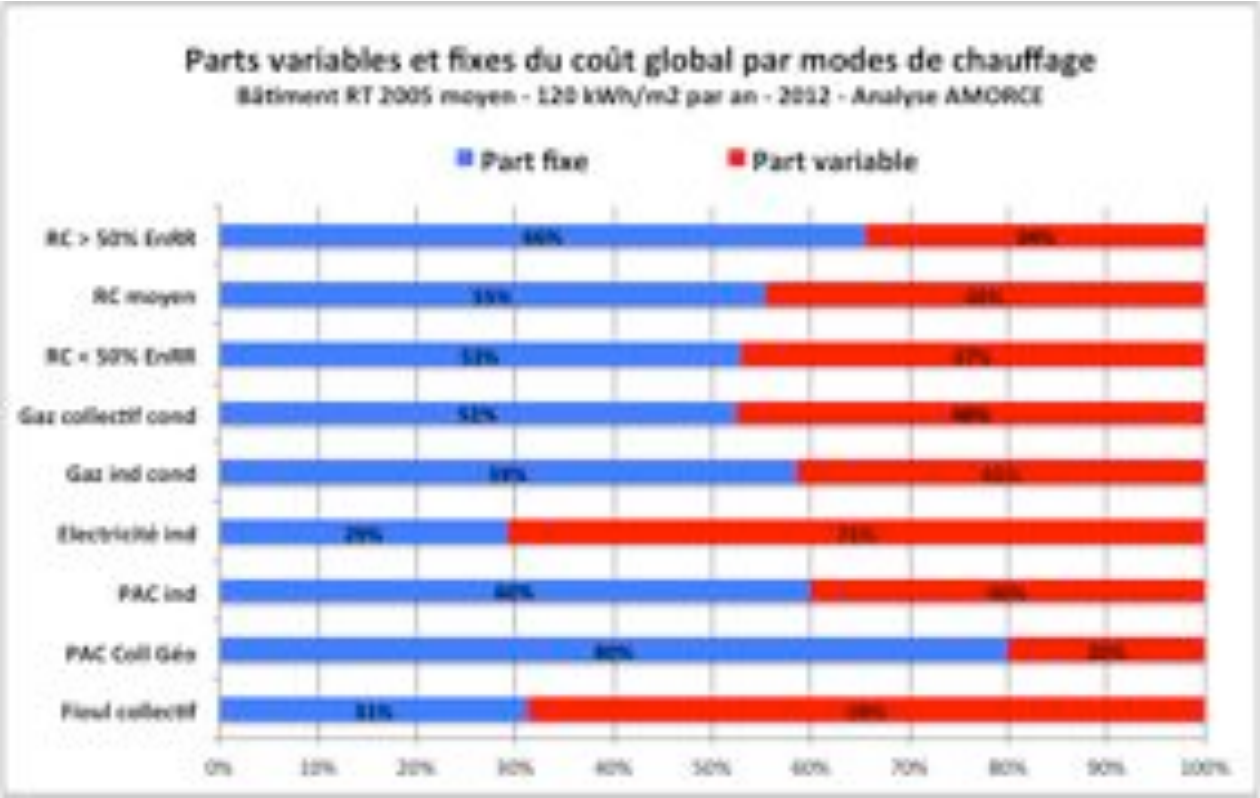
Les réseaux de chaleur alimentés majoritairement par des EnRR constituent en moyenne la solution la plus compétitive en coût global pour ces bâtiments classés C dans le DPE. La solution chauffage collectif au gaz naturel se positionne juste derrière, à hauteur de la moyenne des réseaux de chaleur.

Le chauffage électrique individuel se positionne relativement bien en coût global, mais possède une facture énergétique parmi les plus élevées pour le locataire, juste derrière le chauffage collectif au fioul.

La solution gaz naturel individuel à condensation fait partie des modes de chauffage les plus chers, au même titre que le chauffage au fioul.

Les réseaux de chaleur les plus performants en termes de prix de vente (classes I, II, voire III) sont le système de chauffage le plus économique. Les moins performants (classe V) sont parmi les plus chers.

	Facture énergétique (€TTC/log/an)	Charges locatives récupérables (€TTC/log/an)	Facture totale annuelle (€TTC/log/an)	Coût global annuel sans subvention (€TTC/log/an)
Fioul collectif	895	1 008	1 049	**1 346**
PAC Coll Géo	388	506	538	**1 171**
PAC ind	550	648	671	**1 256**
Elec individuel	783	783	805	**1 009**
Gaz ind cond	715	855	890	**1 304**
Gaz collectif cond	480	587	640	**984**
RC < 50% EnRR	643	711	738	**991**
RC moyen	616	684	711	**963**
RC > 50% EnRR	507	575	602	**855**



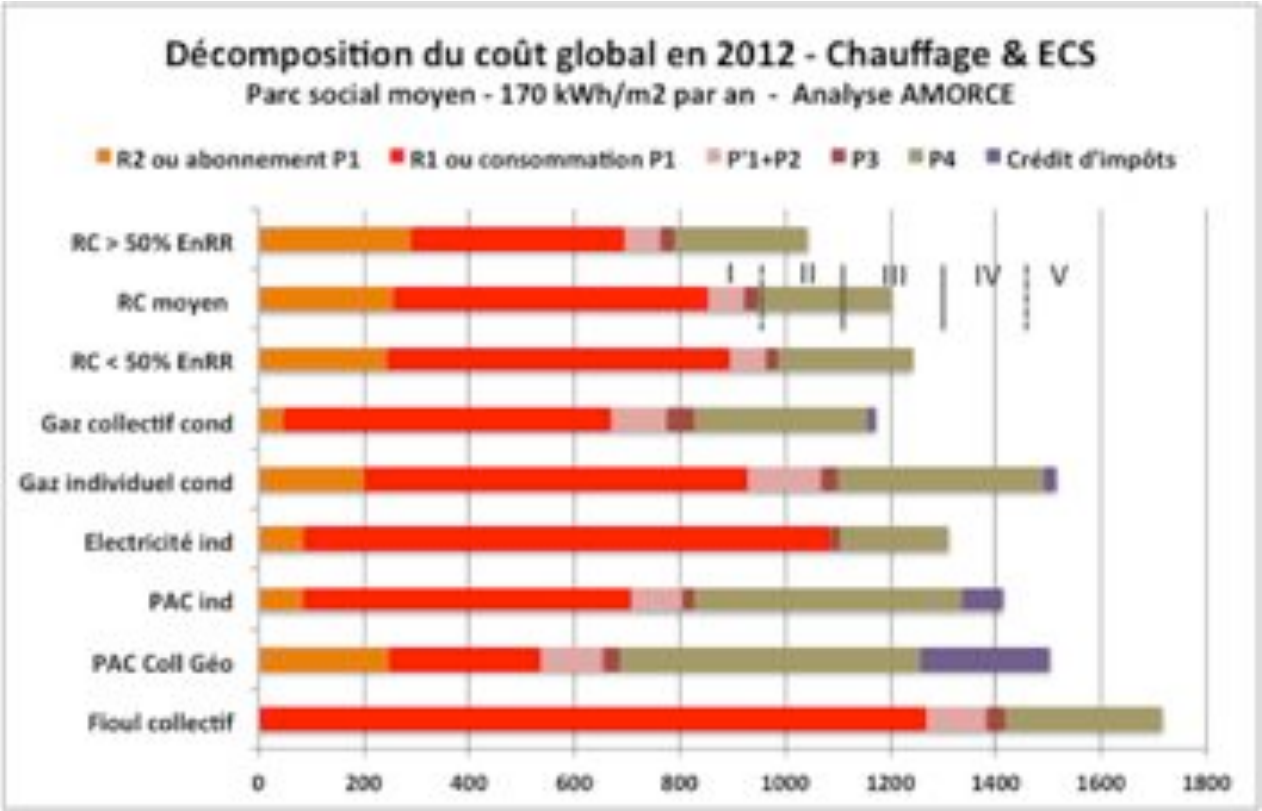
La part fixe du coût global TTC est relativement élevée (autour de 60%) pour ce niveau de consommation pour la plupart des modes de chauffage. Les réseaux de chaleur sont dans cette moyenne.

Le chauffage collectif au fioul et le chauffage individuel électrique présentent la part fixe la moins élevée, mais possèdent les prix de vente les plus élevés au kWh. A l'opposé, la solution pompe à chaleur géothermique implique un faible niveau de part variable.

A noter que si une part variable élevée apporte un signal intéressant d'incitation à la MDE, elle expose également plus le consommateur à une hausse de sa dépense globale en cas d'augmentation du prix des énergies.

1.2.1.2 Parc social moyen – 170 kWh/ m².an

Le niveau de performance « parc social moyen » correspond à ce qui était défini comme le « logement-type » dans les précédentes enquêtes sur les prix de vente de la chaleur. On notera que le parc social moyen possède une moyenne de consommation inférieure au niveau de l'ensemble du parc moyen de logement collectif.



Les réseaux de chaleur EnRR représentent en moyenne la solution la plus compétitive pour les bâtiments « parc social moyen ».

Les chauffages collectifs au gaz naturel se placent juste derrière, un peu en dessous de la moyenne des réseaux de chaleur.

Le chauffage individuel au gaz naturel s'avère peu performant en coût global, proche de la solution électrique effet joule. Cette dernière se positionne relativement moins bien que pour le bâtiment RT 2005.

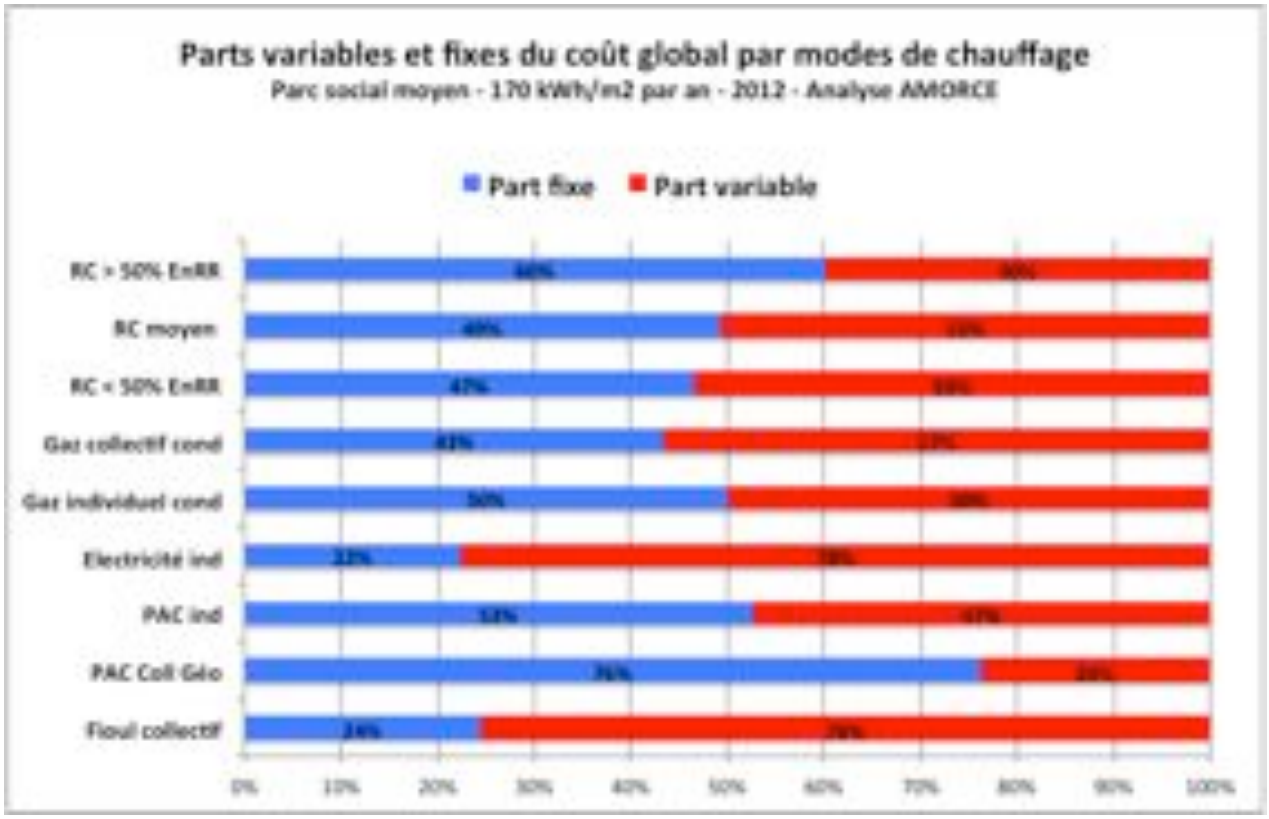
La PAC collective géothermique est toujours la solution qui présente la plus faible facture énergétique, mais l'amortissement pèse sur l'analyse en coût global[10].

Plus encore que dans le cas précédent, le chauffage au fioul s'avère très cher pour le logement « parc social moyen ».

Les réseaux de chaleur les plus performants en termes de prix de vente (classes I, II, voire III) sont le système de chauffage le plus économique. Les moins performants (classe V) sont parmi les plus chers.

[10] A noter que compte tenu des écarts potentiels importants d'un site à l'autre dans les montants d'investissement (notamment les coûts de forage) des solutions PAC géothermiques, il est assez délicat d'établir un ratio de prix moyen.

	Facture énergétique (€TTC/log/an)	Charges locatives récupérables (€TTC/log/an)	Facture totale annuelle (€TTC/log/an)	Coût global annuel sans subvention (€TTC/log/an)
Fioul collectif	1 267	1 379	1 420	1 717
PAC Coll Géo	537	655	688	1 504
PAC ind	707	805	828	1 413
Elec individuel	1 085	1 085	1 107	1 310
Gaz individuel cond	928	1 067	1 103	1 516
Gaz collectif cond	669	776	828	1 172
RC < 50% EnRR	895	963	990	1 242
RC moyen	854	922	949	1 202
RC > 50% EnRR	696	764	791	1 044



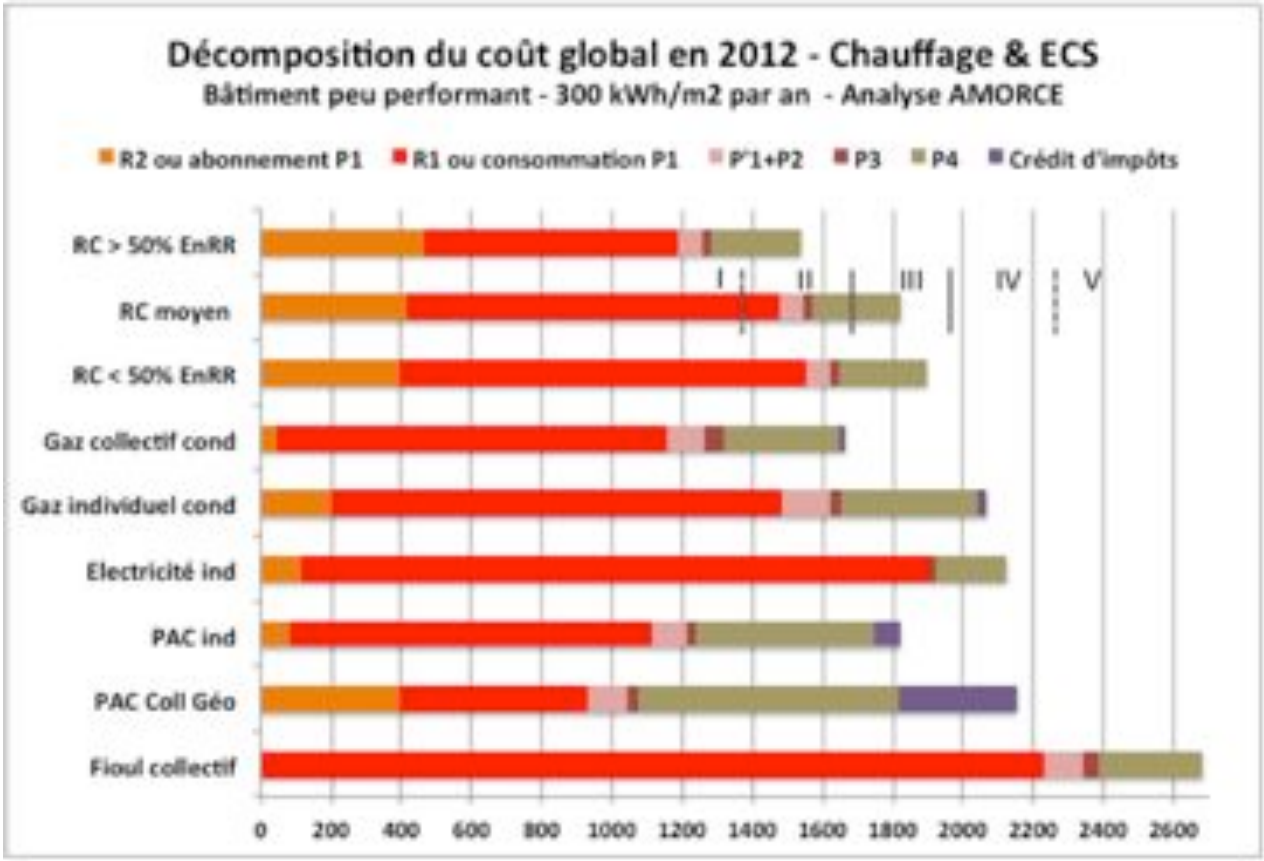
La part fixe est logiquement plus faible pour le logement « parc social moyen » que pour le logement RT 2005.

Seules les solutions pompe à chaleur géothermique et réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des EnRR restent à plus de 60% de part fixe dans le coût global.

Pour l'électricité effet joule, les trois quarts du coût global sont composés de part variable.

1.2.1.3 Bâtiment peu performant – 300 kWh/m2.an

Ce niveau de consommation se situe au dessus de la consommation du parc résidentiel français. Il s'agit de bâtiments énergivores qui engendrent des dépenses importantes de chauffage quel que soit le mode de chauffage. Les écarts de coûts en valeur absolue entre les modes de chauffage sont encore plus prononcés que dans les deux cas précédents.



Sur ces niveaux de consommation élevés, les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des EnRR constituent en moyenne la solution la plus compétitive.

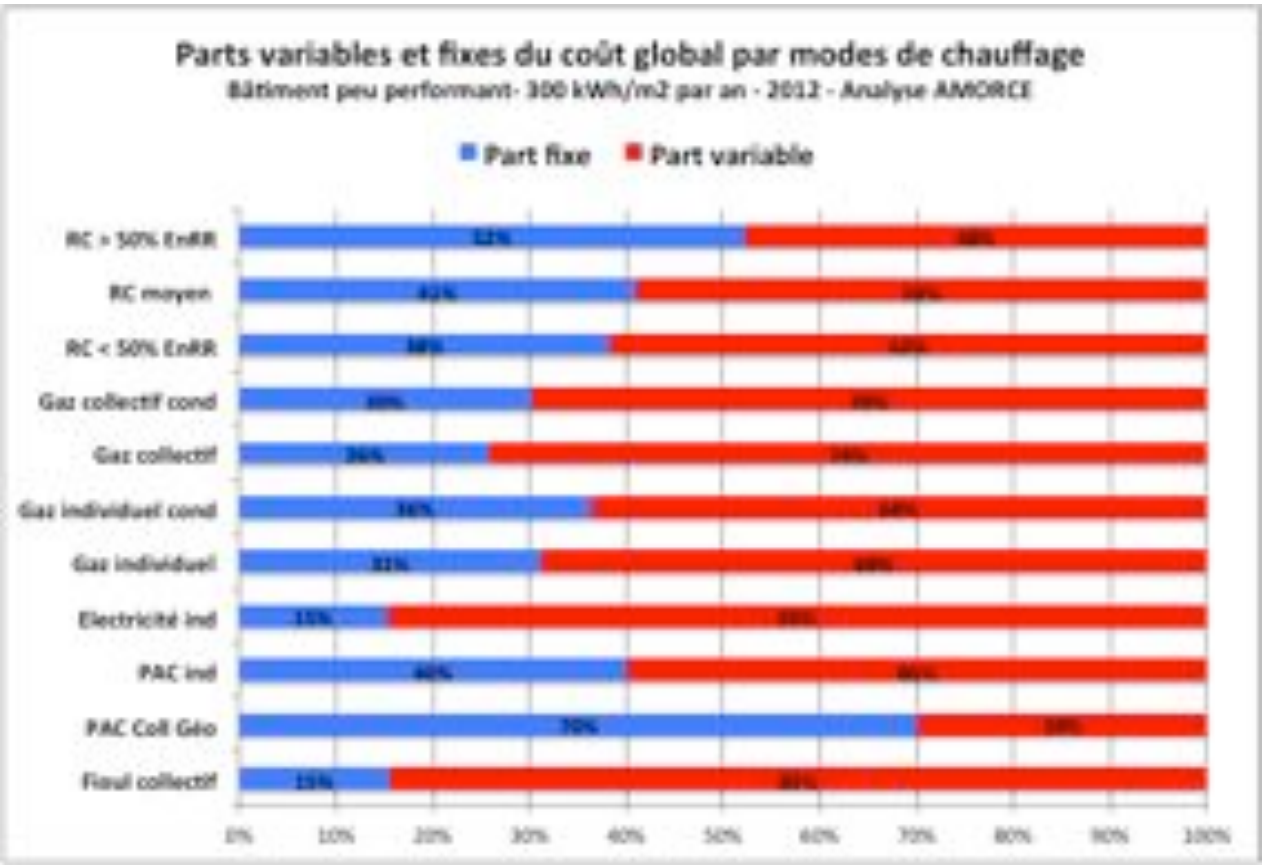
Les solutions gaz collectif sont également bien placées avec ce niveau de consommation.

En coût global, la solution gaz individuel et la solution électricité effet joule sont relativement proches, mais la facture énergétique de cette dernière reste très élevée.

La solution fioul creuse encore son écart de compétitivité avec les autres modes de chauffage.

Les réseaux de chaleur les plus performants en termes de prix de vente (classe I et une partie de la classe II) sont le système de chauffage le plus économique. Les moins performants (classe V) sont parmi les plus chers.

	Facture énergétique (€TTC/log/an)	Charges locatives récupérables (€TTC/log/an)	Facture totale annuelle (€TTC/log/an)	Coût global annuel sans subvention (€TTC/log/an)
Fioul collectif	2 233	2 345	2 386	**2 683**
PAC Coll Géo	928	1 045	1 078	**2 153**
PAC ind	1 116	1 214	1 237	**1 822**
Elec individuel	1 900	1 900	1 923	**2 126**
Gaz individuel cond	1 480	1 620	1 655	**2 069**
Gaz collectif cond	1 159	1 266	1 318	**1 663**
RC < 50% EnRR	1 551	1 619	1 646	**1 898**
RC moyen	1 476	1 544	1 571	**1 824**
RC > 50% EnRR	1 190	1 258	1 285	**1 537**



Pour ces niveaux importants de consommation, on retrouve en moyenne une part fixe de l'ordre de 30 à 40%.

Les réseaux de chaleur EnRR et les PAC géothermiques restent les solutions à plus forte part fixe. L'incitation à la maîtrise de l'énergie y est donc moins importante, mais les usagers sont mieux protégés des hausses des combustibles ou de l'électricité qui seront très pénalisantes pour ces niveaux de consommation.

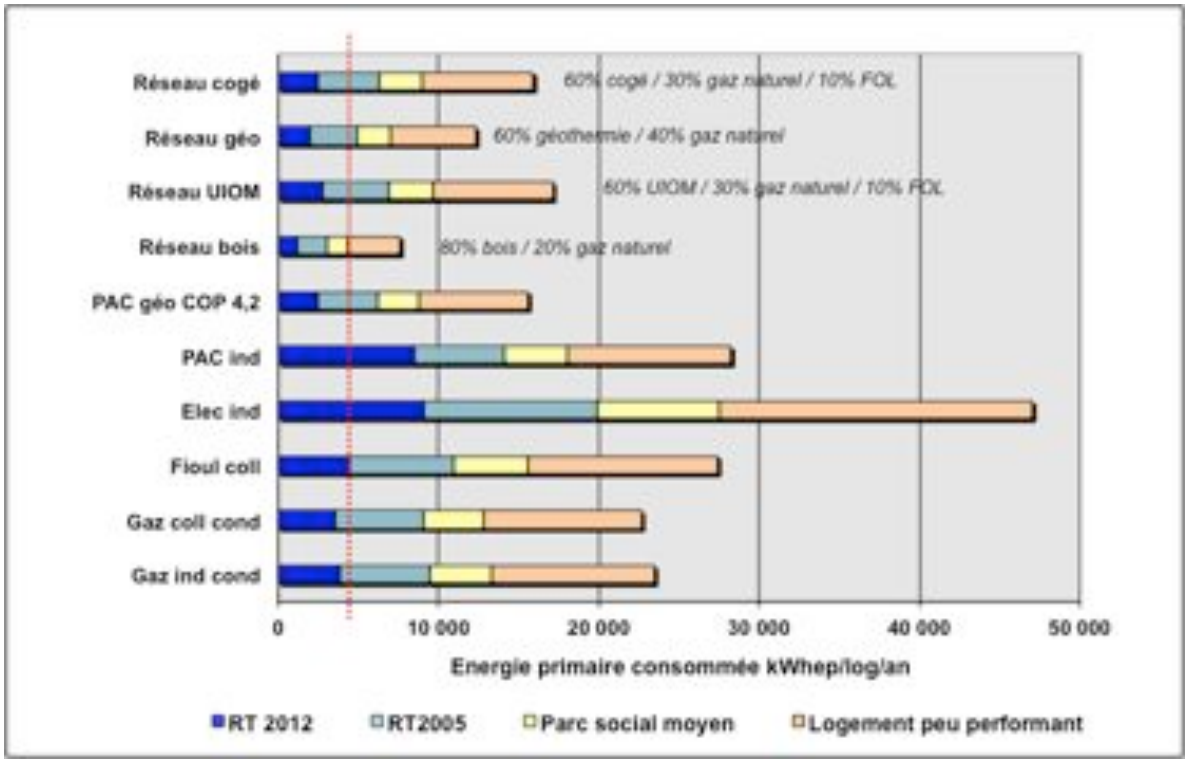
Du point de vue du gestionnaire d'immeuble, les réseaux de chaleur se classent en moyenne parmi les solutions les plus compétitives.

Les réseaux de chaleur les plus performants (classes I et II) sont la solution la plus compétitive tandis que les réseaux de chaleur les plus chers (classe V) se classent parmi les solutions les moins compétitives.

Les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies renouvelables sont en moyenne la solution la plus compétitive, quel que soit le niveau de performance du bâtiment.

1.2.2 Comparaison énergétique

La consommation en énergie primaire est directement proportionnelle à la consommation d'énergie utile pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Le positionnement des différents modes de chauffage, pour un niveau de consommation donné, reste identique au graphique présenté au 1.1.6.2.



On constate que les besoins en énergie primaire non renouvelable d'un logement correspondant au *parc social moyen* (170 kWh/ m^2.an) alimenté par un *Réseau bois* sont équivalents à ceux d'un logement de même superficie mais :

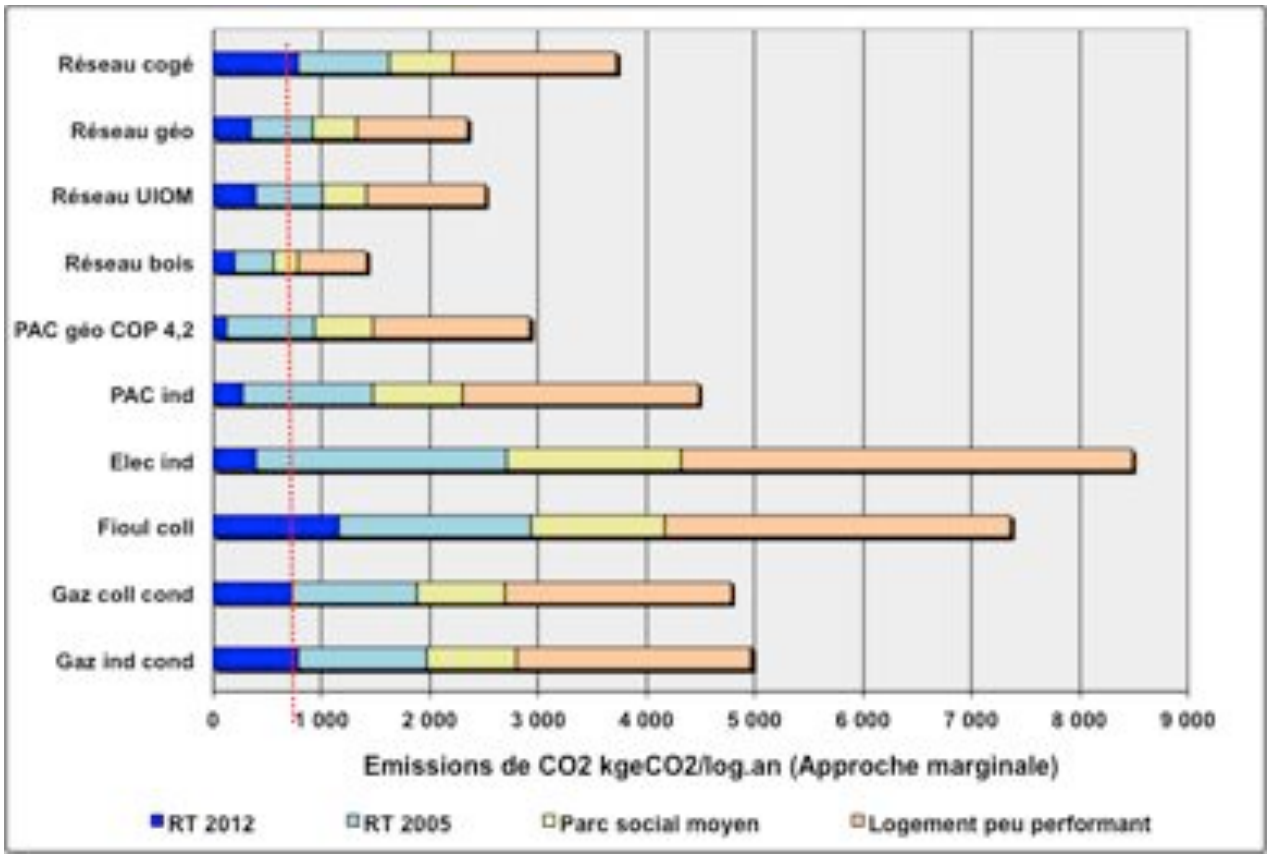
- de performance *RT 2012* et alimenté par une *chaufferie fioul* ou une *chaufferie gaz naturel*,
- de performance *RT 2005* et alimenté par un *Réseau géothermique* ou une *PAC géothermique* présentant en moyenne annuelle un COP de 4,2.

L'impact en énergie primaire pour un logement du *parc social moyen* alimenté par un réseau de chaleur bois est deux fois moins élevé que celui d'un logement *RT 2012* chauffé à l'électricité.

1.2.3 Comparaison en termes de gaz à effet de serre

Comme pour la comparaison énergétique, le niveau d'émissions de gaz à effet de serre est directement proportionnel à la consommation d'énergie utile pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Le positionnement des différents modes de chauffage, pour un niveau de consommation donné, reste identique au graphique présenté au 1.1.6.3.

On retient le mode de comparaison sur la base du **contenu CO_2 marginal** de l'électricité, à savoir 0,550 kgCO_2/kWh.

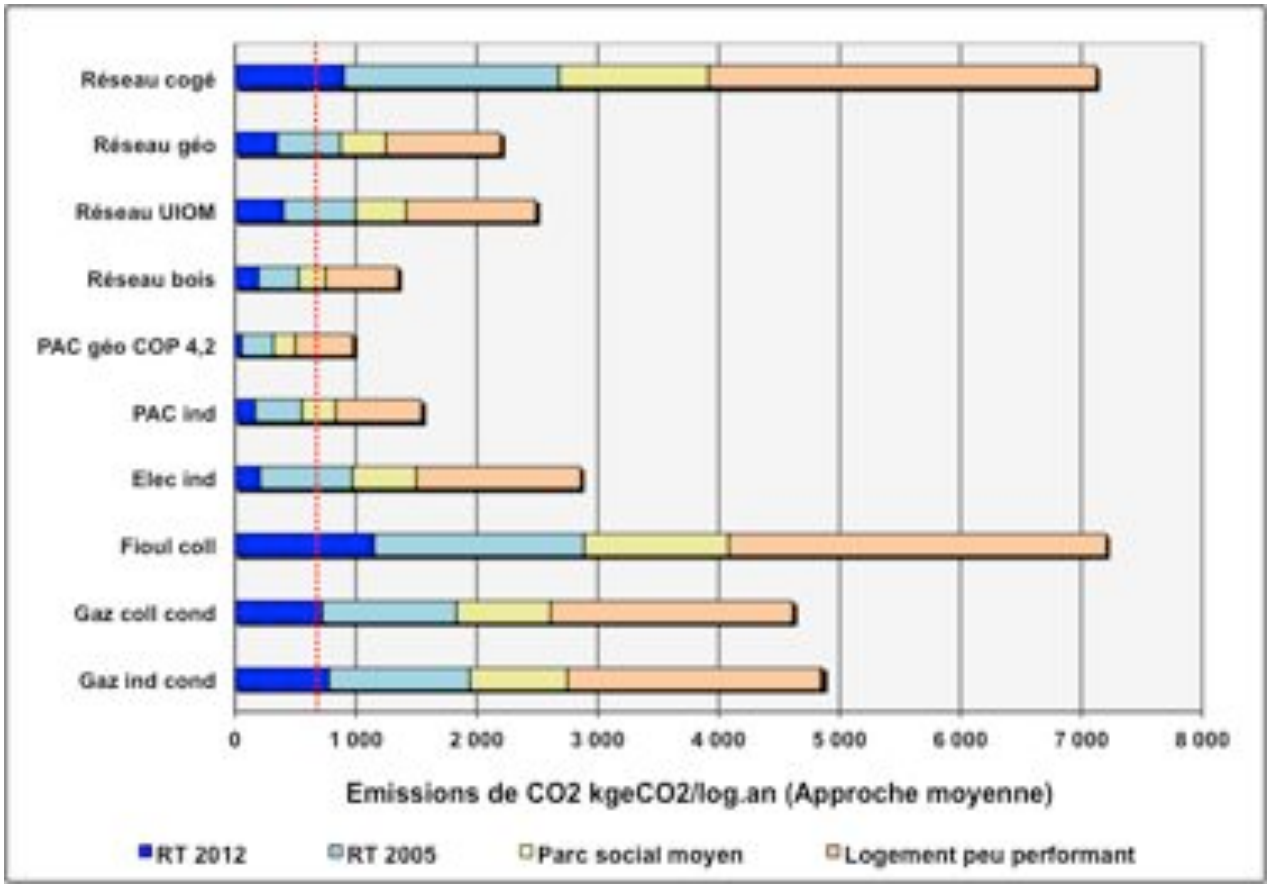


On constate que pour avoir un impact équivalent en termes d'émissions de gaz à effet de serre d'un logement du *parc social moyen* (170 kWh/ m^2.an) alimenté par un *Réseau bois*[11], le niveau de performance de ce même logement doit être :

- *RT 2012* s'il est alimenté par une *chaufferie au gaz naturel* ou une *chaufferie au fioul*.
- *RT 2005* s'il est alimenté par un *Réseau géo* ou une *PAC géothermique* (COP moyen de 4,2).

[11] A noter que le facteur d'émission amont associé au Réseau bois est fixé à 13g CO_2 / kWh PCI. Cette hypothèse est majorante pour le bilan des réseaux bois car nombreux sont ceux qui sont alimentés par des produits connexes de scierie contenant un facteur d'émission amont inférieur à cette valeur (4 g CO_2 / kWh PCI selon l'étude ADEME / Bio Intelligence Service).

A titre indicatif, voici le graphique précédent réalisé sur la base du **contenu CO_2 moyen** de l'électricité, à savoir 0,180 kgCO_2/kWh.



Sans surprise, avec une approche moyenne du contenu CO_2, les solutions électriques présentent un bilan nettement plus avantageux. A noter cependant que les réseaux EnRR restent mieux placés que le chauffage électrique direct. Par exemple, pour atteindre le niveau d'émissions d'un logement *parc social moyen* sur réseau de chaleur bois, la solution chauffage électrique directe doit être appliquée à un logement au niveau *RT 2005*.

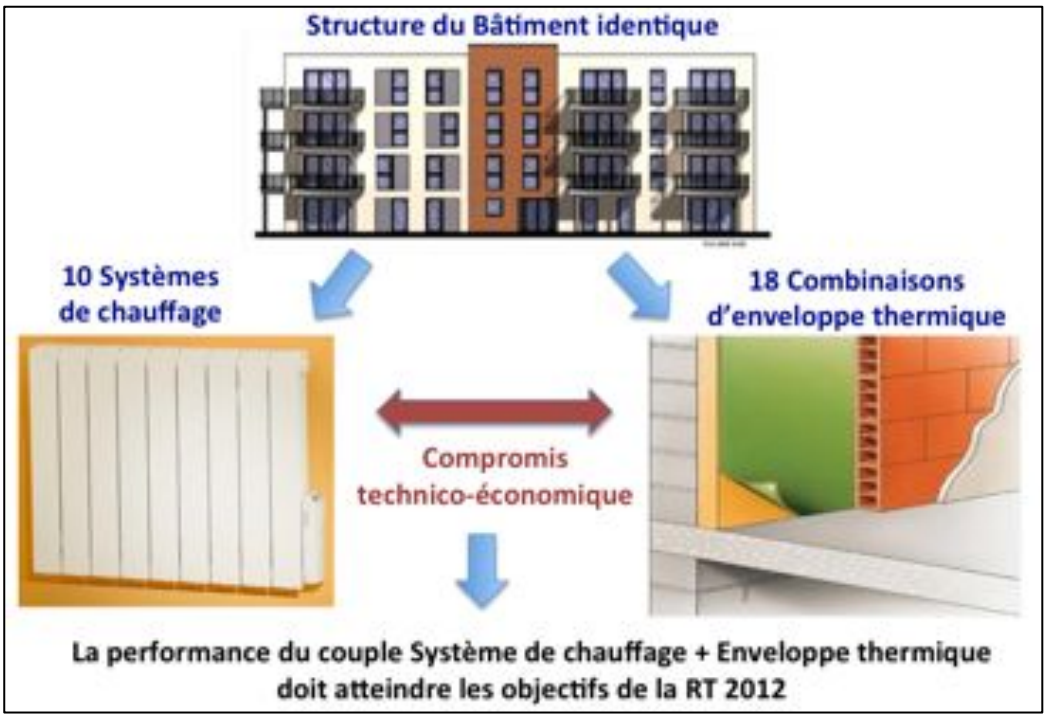
1.3 Comparaison des modes de chauffage pour les bâtiments RT 2012

Dans cette partie 1.3, on se place du point de vue du maître d'ouvrage du bâtiment et de son maître d'œuvre qui doivent respecter les exigences de la Réglementation thermique 2012[12].

AMORCE a mandaté le bureau d'étude Tribu Energie, spécialiste - notamment - de la RT 2012, pour analyser d'un point de vue technico-économique les différentes solutions de référence pour respecter les nouvelles exigences. L'étude a été réalisée sur un cas type réel d'immeuble collectif.

Dans cette partie, **les performances de l'enveloppe thermique[13] du bâtiment sont ajustées pour chaque mode de chauffage afin de trouver un compromis technico-économique[14] qui permet d'atteindre les objectifs fixés par la RT 2012**.

1.3.1 Hypothèses



1.3.1.1 Le bâtiment type étudié

L'étude se base sur des calculs menés sur un immeuble représentatif du marché de la construction. Les caractéristiques du bâtiment sont détaillées en annexe 2.
La structure du bâtiment est identique pour chaque système de chauffage. Ainsi, les coûts des éléments communs à toutes les solutions ne sont pas pris en compte dans l'étude : foncier, préparation du terrain, fondations, revêtements de surface intérieure, éclairage, charpente de toiture, serrurerie, ascenseurs, murs intérieurs, finitions, etc.

Seuls les coûts des **éléments variant** (**système de chauffage** et **enveloppe thermique**) d'une solution à l'autre sont définis et pris en compte dans l'étude.

---

[12] Exigences portants sur 5 usages : chauffage, ECS, refroidissement, éclairage et auxiliaires

[13] *L'enveloppe thermique* caractérise l'isolation thermique du bâtiment (sous-sol, toiture, murs extérieurs, menuiseries)

[14] Deux éléments participent à la performance thermique d'un bâtiment :
- Les caractéristiques du bâtiment (orientation, compacité, performance de l'enveloppe...)
- Le système de chauffage (type d'énergie utilisée, système de production et de distribution de chaleur)

Ces deux éléments doivent former un couple de solutions permettant d'atteindre les exigences de la RT 2012. Cela implique que l'on ne réalise pas une simple comparaison des performances des différents systèmes de chauffage puisque, au final, le couple *Enveloppe thermique* + *Système de chauffage* est toujours dimensionné pour atteindre le même objectif.

La RT 2012 appliquée au bâtiment type

La RT 2012, définie par l'arrêté du 26 octobre 2010, établit des performances énergétiques et des caractéristiques thermiques à respecter pour tous les bâtiments neufs[15]. L'ensemble des exigences présentées ici sont relatives aux immeubles d'habitation collectifs et ne sont pas nécessairement applicables aux autres secteurs du bâtiment.

- Les exigences de résultats sont les suivantes :
  - ✓ **Besoin bioclimatique (Bbio)**. Le critère Bbio exprime l'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâtiment. Il valorise la conception bioclimatique (implantation, compacité, orientation des baies, éclairage naturel et isolation performante). Le coefficient bioclimatique est sans dimension. Le $Bbio_{max}$, valeur maximale autorisée, est de **72 points**[16] dans le cadre de notre étude. **Le bâtiment doit respecter Bbio < $Bbio_{max}$**
  - ✓ **Consommation d'énergie primaire (Cep)**. La RT 2012 fixe pour objectif une consommation d'énergie primaire pour les 5 usages (chauffage, ECS, rafraichissement, éclairage, auxiliaire) à **50 kWhep/m² par an en moyenne**. Ce niveau de consommation maximum pour les bâtiments neufs est modulé en fonction de plusieurs paramètres (type de bâtiment, localisation géographique, altitude, surface du logement, émissions de GES des énergies utilisées).
    A noter que les immeubles d'habitat collectif dont le permis de construire est déposé avant le 31 Décembre 2014 bénéficient d'une majoration de 7,5 kWhep/m².an sur les valeurs de Cep_{max}. Nous avons appliqué cette disposition dans le cadre de notre étude.
    La Cep_{max} autorisée dans le cadre de notre étude est fixée à **74 kWhep/m².an lorsque le bâtiment est alimenté par un chauffage au gaz ou à l'électricité**[17].
    Lorsque le bâtiment est alimenté par un système de chauffage faiblement émetteur de CO_2 (le plus souvent un réseau de chaleur utilisant des énergies renouvelables ou de récupération), il bénéficie d'un coefficient de modulation autorisant de consommer un peu plus d'énergie. Trois classes de chauffage vertueux sont définies dans la RT 2012, permettant de bénéficier d'un coefficient de modulation de 10%, 20% ou 30% par rapport à la Cep_{max}. **Selon que le bâtiment soit alimenté par un système de chauffage émettant moins de 150 g CO_2/kWh** ou moins de **100 g CO_2/kWh** ou moins de **50 g CO_2/kWh,** la Cep_{max} autorisée dans le cadre de notre étude est ainsi respectivement de **80,1 kWhep/m².an** ou **85,8 kWhep/m².an** ou **91,6 kWhep/m².an**. **Le bâtiment doit respecter Cep < Cep_{max}**
  - ✓ **Confort d'été (Tic)**. Ce critère expose les exigences sur la température intérieure atteinte au cours d'une séquence de 5 jours chauds.
- Des exigences de moyens (énergies renouvelables, étanchéité à l'air de l'enveloppe, accès à l'éclairage naturel) viennent renforcer les exigences de résultat.

Dans le cadre de la RT 2012, il est **nécessaire de raisonner globalement**, en considérant une structure (type) de bâtiment couplée à une enveloppe thermique et alimenté par un système de chauffage. Afin de réaliser notre analyse sur les comparatifs de différents systèmes de chauffage pour les bâtiments RT 2012, nous avons raisonné avec une structure de bâtiment identique.

Pour chaque système de chauffage (caractérisé par un niveau de performance, une consommation d'énergie primaire et des émissions de CO_2) **nous avons attribué une solution d'enveloppe thermique** (caractérisé par un niveau de performance) **permettant d'atteindre les objectifs de la RT 2012 au moindre coût d'investissement pour le maître d'ouvrage.**

---

[15] Obligation en vigueur depuis le 28 Octobre 2011 pour les bâtiments d'habitation situés en zone ANRU et à partir du 1er janvier 2013 pour tous les autres bâtiments d'habitation (date de dépôt de permis de construire)

[16] Bio_{max} = $Bbio_{maxmoyen}$ x (Coeff géographique + Coeff altitude + Coeff Surface) avec $Bbio_{maxmoyen}$ = 60
soit Bio_{max} = 60 x (1,2 + 0 + 0) = 72 points

[17] Cep_{max} = (50 + 7,5) x Coeff type de bâtiment x (Coeff géographique + Coeff altitude + Coeff Surface + Coeff GES)
avec Coeff géographique de 1,2 pour la zone H1a et Coeff Surface de 0,09 pour une surface par logement de 65 m^2
soit Cep_{max} = 57,5 x 1 x (1,2 + 0 + 0,09 + 0) = 74,3 kWh / m^2.an avec un coefficient GES égal à 0. La prise en compte d'un coefficient GES de 0,1 ou 0,2 ou 0,3 entraine respectivement une Cep_{max} de 80,1 ou 85,8 ou 91,6 kWh / m^2.an

1.3.1.2 Les modes de chauffage

Les modes de chauffage aux combustibles fossiles :

- **Gaz ind cond** : chaudière à condensation au gaz naturel individuelle par appartement.
- **Gaz coll cond** : chaudière à condensation au gaz naturel en pied d'immeuble, chauffage collectif.
- **Gaz coll cond + solaire ECS** : chaudière à condensation au gaz naturel en pied d'immeuble, chauffage collectif + solaire thermique pour production d'eau chaude sanitaire.

Les modes de chauffage à base d'électricité :

- **Elec ind + ECS ind** : chauffage électrique individuel à panneaux rayonnants + Ballon thermodynamique individuel sur air extérieur pour l'ECS.
- **Elec ind + ECS coll PAC**: chauffage électrique individuel à panneaux rayonnants + Production collective d'ECS via une PAC sur air extrait.
- **PAC géo**[18] : pompe à chaleur collective géothermique eau/eau de COP 4,2 (valeur moyenne annuelle).

Le chauffage sur réseaux de chaleur :

- **RC > 150g CO_2/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO_2 est supérieur à 150g CO_2/kWh.
- **RC < 150g CO_2/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO_2 est compris entre 100 et 150g CO_2/kWh.
- **RC < 100g CO_2/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO_2 est compris entre 50 et 100g CO_2/kWh.
- **RC < 50g CO_2/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO_2 est inférieur à 50g CO_2/kWh.

Les coûts indiqués dans l'étude sont en € TTC fourni/posé par logement. Ils correspondent uniquement aux éléments pouvant varier d'une solution à l'autre. Les données techniques sur chaque système de chauffage sont détaillées en annexe 2.

1.3.1.3 Les prestations sur le bâti :

Plusieurs solutions techniques concernant l'enveloppe thermique ont été définies :

- 4 niveaux d'isolation thermique par l'intérieur et 3 niveaux par l'extérieur
- 4 niveaux d'isolation du sous-sol
- 3 niveaux d'isolation de la toiture terrasse

A partir de ces prestations, 18 combinaisons d'enveloppe[19] ont été obtenues afin de sélectionner le meilleur compromis technico-économique pour chaque système de chauffage.

Les coûts indiqués dans l'étude sont en € TTC fourni/posé par logement. Ils correspondent uniquement aux éléments variant d'une solution à l'autre. Les prestations sur le bâti sont détaillées en annexe 2.

[18] Dans la version V1.1.4 du logiciel utilisée, la production d'ECS par PAC géothermique n'est pas prise en compte. Le Titre V relatif à la prise en compte de la production d'ECS par PAC pour la RT2005 a été utilisé pour déterminer les performances de la PAC en fonctionnement ECS dans le cadre de la RT2012.

[19] Les 18 solutions sont classées de la moins performante à la plus performante, de la façon suivante : 1-, 1, 2, …, 15, 16, 16+

1.3.2 Comparatif des systèmes de chauffage permettant d'atteindre la RT 2012

1.3.2.1 Construction du couple Système de chauffage + Enveloppe

Pour chaque système de chauffage, on a choisi l'enveloppe thermique la moins onéreuse qui permet de respecter à la fois :

- **Le critère de performance du bâti : Bbio < $Bbio_{max}$**
- **le critère de performance globale Cep < Cep_{max}**

Le tableau ci-dessous récapitule les couples de solutions optimales *Système de chauffage + Enveloppe thermique* permettant d'atteindre les objectifs fixés par la RT 2012.

Système de chauffage	Combinaison enveloppe thermique	Objectifs		Résultats		Performance		Investissement		
		Cep max	Bbio max	Cep	Bbio	Cep/ Cep max	Bbio / Bbio max	Invest bâti € TTC/lgt	Invest système € TTC/lgt	Invest total € TTC/lgt
Gaz ind cond	**1**	74	72	**70**	**60**	6%	17%	11 135	6 531	**17 666**
Gaz coll cond	**4**	74	72	**73**	**53**	1%	26%	12 235	7 380	**19 615**
Gaz coll cond + solaire ECS	**1-**	74	72	**61**	**71**	17%	1%	10 087	8 400	**18 487**
Elec ind + ECS ind	**16+**	74	72	**71**	**40**	4%	45%	17 049	5 200	**22 249**
Elec ind + ECS coll PAC	**16+**	74	72	**74**	**40**	1%	45%	17 049	3 370	**20 419**
PAC géo coll	**2**	74	72	**74**	**57**	1%	20%	11 241	9 475	**20 716**
RC > 150g CO_2 / kWh	**2**	74	72	**74**	**57**	1%	20%	11 241	5 805	**17 046**
RC <150g CO_2 / kWh	**1**	80	72	**75**	**60**	6%	17%	11 135	5 805	**16 940**
RC <100g CO_2 / kWh	**1-**	86	72	**81**	**71**	5%	1%	10 087	5 805	**15 892**
RC <50g CO_2 / kWh	**1-**	92	72	**81**	**71**	11%	1%	10 087	5 805	**15 892**

La combinaison d'enveloppe thermique utilisée pour la *chaudière à condensation au gaz avec ECS solaire* et les *réseaux de chaleur faiblement émetteurs de CO_2* (contenu $C0_2$ inférieur à 100 g CO_2/kWh), ne peut être davantage dégradée au regard du critère $Bbio_{max}$; c'est l'enveloppe thermique la moins performante du panel (1-).

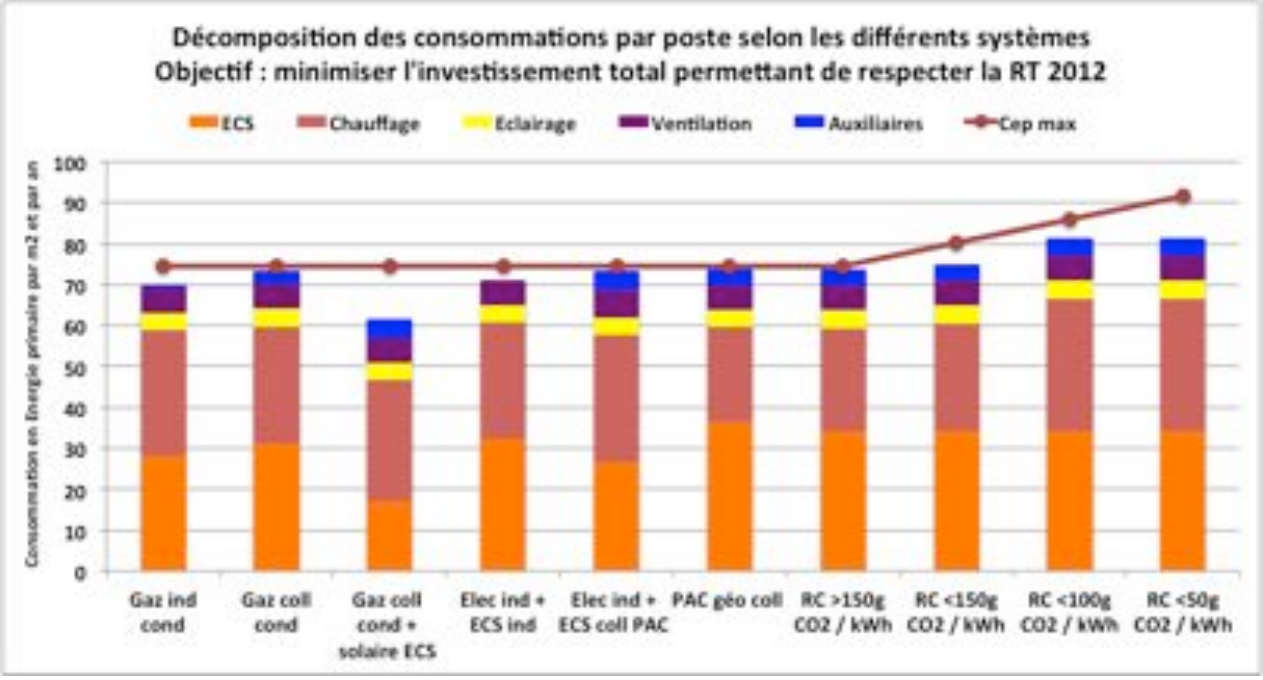
A l'opposé, la combinaison d'enveloppe thermique associée aux solutions de chauffage électrique par effet joule permet tout juste de remplir l'objectif Cep_{max} pour ces systèmes de chauffage. C'est l'enveloppe thermique la plus performante du panel (16+).

Le graphique ci-après représente les niveaux de consommation d'énergie primaire selon les postes de la RT 2012 pour chaque couple *Système de chauffage + Enveloppe thermique*. La somme des consommations d'énergie primaire (Cep) des 5 postes doit être inférieure au niveau de consommation d'énergie primaire maximum (Cep_{max}).

Pour la solution *gaz à condensation couplée à une production d'ECS solaire*, la part du solaire dans la production d'ECS est sortie du bilan[20], ce qui explique le niveau faible de consommation sur ce poste.

Les réseaux de chaleur vertueux bénéficiant d'un coefficient de modulation sur la consommation d'énergie primaire (au sens de la RT 2012) sont autorisés à présenter un niveau de consommation légèrement plus élevé.

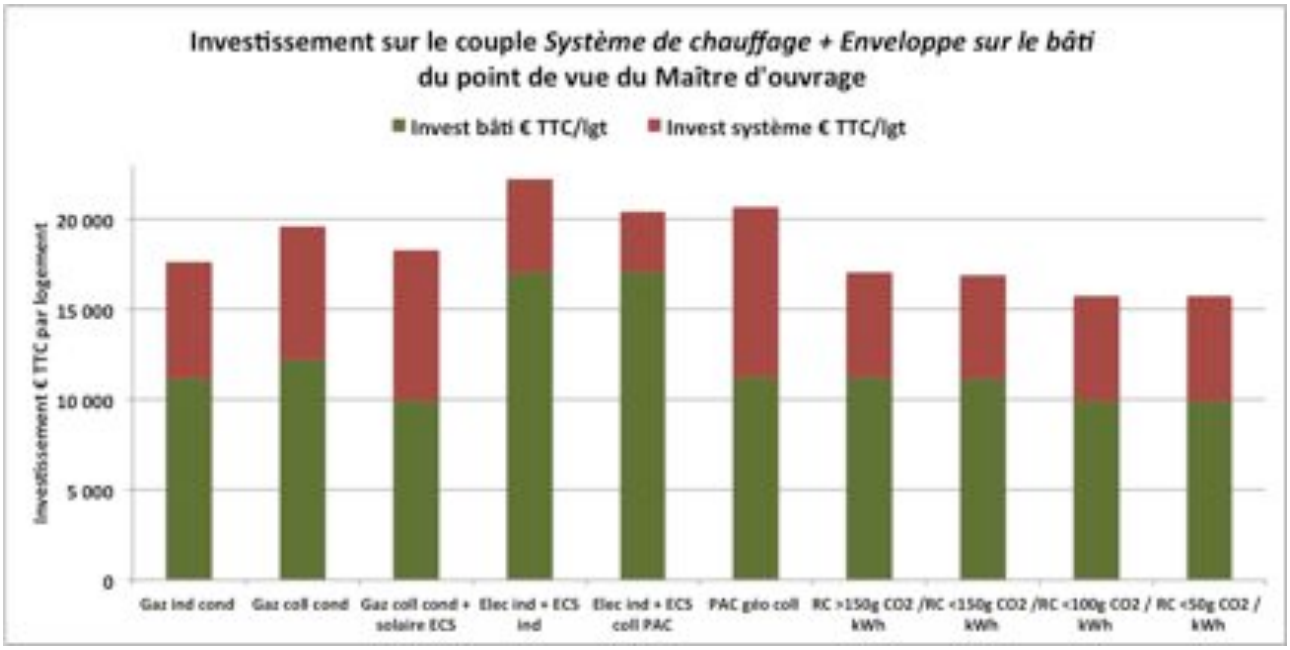
[20] La méthode de calcul réglementaire fait que la consommation de chaleur du bâtiment produite par du solaire sur le bâtiment n'est pas prise en compte.



Le coefficient de modulation sur le Cep_{max} accordé aux bâtiments raccordés aux réseaux de chaleur faiblement émetteurs de CO_2 assure néanmoins une bonne performance énergétique du bâtiment.

Le coefficient $Bbio_{max}$, qui reste fixe pour toutes les systèmes de chauffage, garantit la bonne conception bioclimatique du bâtiment.

Le graphique ci-dessous représente le niveau d'investissement pour le maître d'ouvrage du bâtiment correspondant à chaque couple de solution *Système de chauffage + Enveloppe thermique.* Pour rappel, les coûts présentés ci-dessous correspondent uniquement aux éléments pouvant varier d'une solution à l'autre.



Les systèmes de chauffage les plus onéreux en coût d'investissement sont le chauffage au gaz à condensation avec ECS solaire et la PAC géothermique.

A l'opposé, on retrouve les équipements de chauffage électrique par effet joule qui sont les moins chers mais qui nécessitent les investissements les plus élevés sur l'enveloppe thermique.

De façon globale, **les solutions réseaux de chaleur représentent l'investissement total « système + enveloppe » le moins élevé pour le maître d'ouvrage du bâtiment**.

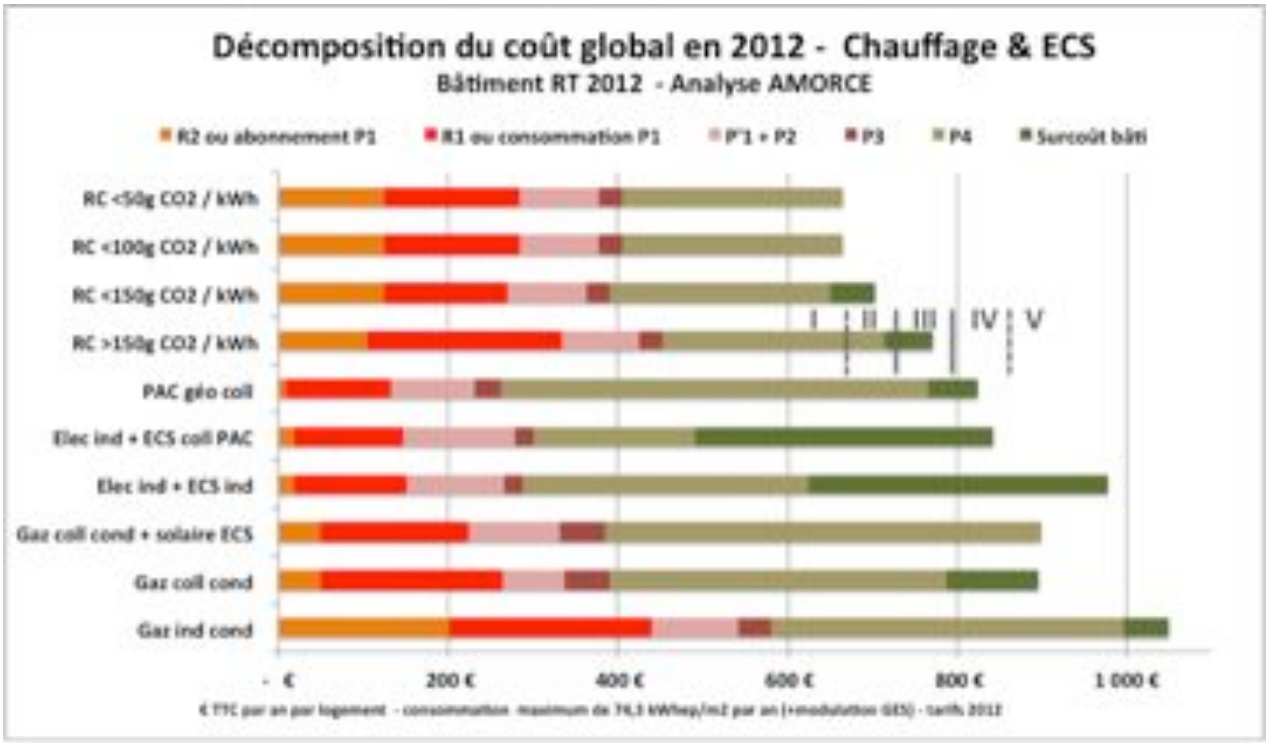
1.3.2.2 Analyse en coût global

Nous avons étudié pour chaque couple *Système de chauffage* + *Enveloppe thermique,* le coût global incluant les mêmes postes de dépense que pour les bâtiments existants (Abonnement + Consommation + Entretien et maintenance + Amortissement) auxquels on a ajouté le **surcoût éventuel sur la construction de l'enveloppe pour respecter la RT 2012**.

Les solutions *Réseau de chaleur faiblement émetteurs de CO2* (inférieurs à 50 et 100 g CO_2/ kWh) et *Chaudière à condensation au gaz naturel combiné à du solaire thermique pour l'ECS* sont les solutions les moins chères en coût sur le bâti (enveloppe thermique 1-). Ces trois solutions sont caractérisées par un coefficient Bio qui atteint presque la limite maximale, $Bbio_{max}$, fixée par la RT (« garde fou » de la réglementation pour s'assurer que l'enveloppe du bâtiment reste de bonne qualité thermique, quel que soit le système de chauffage retenu). **L'Enveloppe thermique de ces solutions sert de référence pour calculer le surinvestissement (surcoût bâti) nécessaire sur l'enveloppe pour respecter la RT 2012 avec les autres systèmes de chauffage[21].**

Le graphique ci-après présente le coût global[22] chauffage et ECS pour les bâtiments soumis à la RT 2012. D'une façon générale, on constate la faible part de la facture énergétique (aux prix actuels de l'énergie) sur ces nouvelles constructions au regard des investissements consentis pour une bonne performance énergétique[23].

A noter que, compte tenu de l'hétérogénéité des prix de vente de la chaleur selon les réseaux, nous avons retracé, pour la 4ème ligne du graphique, le coût global pour les 5 classes de prix définies au 2.2.1 du présent document. Les réseaux de chaleur les plus performants en termes de prix de vente (classe I et II) sont le système de chauffage le plus économique en coût global. Les moins performants (classe V) sont parmi les plus chers.



[21] Exemple : Pour la solution « Elec ind + ECS ind », le surcoût bâti est de 17 049 – 10 087 = 6 961 €. C'est cette valeur qui est reportée sur le graphique.

[22] Bien que cette partie traite des bâtiments neufs soumis à la RT 2012, les coûts associés à chaque couple de solution *Système de chauffage* + *Enveloppe thermique* du bâtiment sont liés aux prix de l'année 2010.

[23] A noter que certains retours d'expérience tendent à montrer que pour les bâtiments faiblement consommateurs, les habitudes de travail passées ont tendance à installer une puissance de chauffage plus importante que nécessaire, impliquant par conséquent des parts abonnement plus importantes que celle présentées dans notre exemple.

Les modes de chauffage électrique par effet joule présentent la facture énergétique (Abonnement P1 ou R2 + Consommation P1 ou R1) la plus faible car d'une part l'abonnement est faible (différence entre un abonnement 9 kVA et un abonnement 6 kVA) et d'autre part le niveau de consommation d'énergie finale est plus faible que les autres (pour compenser le coefficient 2,58 d'énergie primaire de l'électricité). Toutefois, ces solutions de chauffage électrique impliquent un surinvestissement conséquent sur l'enveloppe (barres vertes « surcoût bâti ») qui se répercute lourdement sur le coût global.

Les *chaudières individuelles au gaz naturel à condensation*, fréquemment plébiscitées par le marché actuel de la construction, s'avèrent en réalité être la **solution la moins compétitive tant au niveau de la facture énergétique que du coût global**. Les solutions collectives au gaz naturel apparaissent plus compétitives puisqu'elles présentent une facture totale comparable aux réseaux de chaleurs vertueux mais se positionnent parmi les alternatives les plus couteuses en coût global.

Il est intéressant de noter que les *chaudières collectives au gaz naturel à condensation* présentent les **mêmes niveaux de facture totale et de coût global** qu'elles soient associées ou non à un *système de production d'eau chaude sanitaire solaire*. Ce rapprochement s'explique d'une part car la baisse des consommations de gaz sur le système équipé d'ECS solaire est rattrapée par un coût de maintenance plus élevé et d'autre part car le coût de l'installation solaire est compensé par le surinvestissement sur l'enveloppe thermique pour la solution sans ECS solaire.

La prise en compte des postes P4 et «surcoût bâti» permet de comparer les choix énergétiques en coût global, seul indicateur représentatif de l'ensemble des coûts liés au chauffage à même de pouvoir établir des comparaisons sur le long terme. **Les réseaux de chaleur, particulièrement les réseaux faiblement émetteurs de CO_2, se classent en moyenne comme les solutions les plus compétitives en coût global**[24]. Ce résultat montre que le raccordement d'un bâtiment basse consommation sur un réseau de chaleur existant ne devrait pas poser de difficulté en termes de pertinence économique du point de vue du maître d'ouvrage[25], ni de l'usager.

	Facture énergétique	Facture totale	Coût global
Gaz ind cond	440	580	1 049
Gaz coll cond	263	391	896
Gaz coll cond + solaire ECS	224	385	898
Elec ind + ECS ind	150	288	977
Elec ind + ECS coll PAC	146	300	842
PAC géo coll	132	262	824
RC <50% EnRR	333	453	772
RC <150g CO2 / kWh	269	390	703
RC <100g CO2 / kWh	284	405	665
RC <50g CO2 / kWh	284	405	665

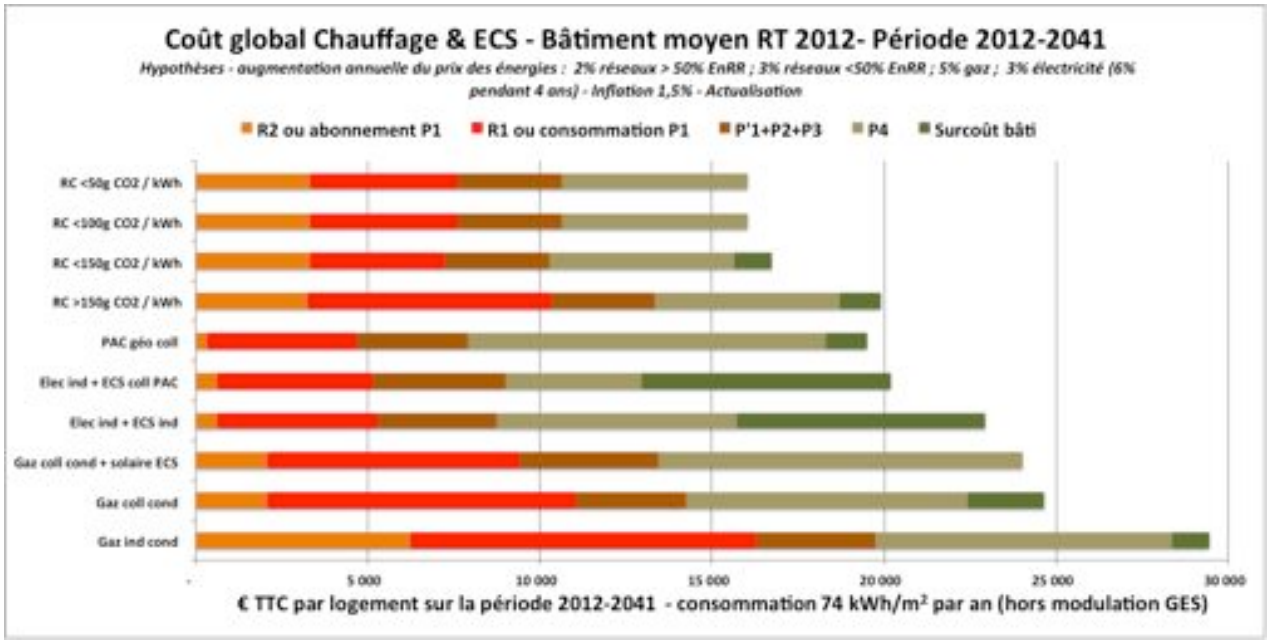
Pour rappel, cette analyse concerne la RT 2012 pour la période de transition avec un niveau de consommation d'énergie primaire maximale (Cep_{max}) relevé de 7,5 kWh/m^2.an. Après cette période de transition, l'effort sur le bâti sera plus important, particulièrement pour les solutions effet joule qui devront surmonter un coût marginal sur l'enveloppe plus conséquent.

[24] A noter que ce résultat est obtenu à partir du prix moyen de la chaleur pour les réseaux alimentés à plus de 50% par des EnRR. Cela ne signifie pas que tous les réseaux de chaleur présentent cet avantage compétitif.

[25] Les coûts du réseau étant mutualisés sur l'ensemble des clients, l'arrivée de quelques bâtiments basse consommation ne remet en effet pas en question l'équilibre économique d'un grand réseau de chaleur. La question se pose différemment pour la création d'un réseau de chaleur dédié à un quartier nouveau à basse consommation (voir étude Amorce RCE 12 sur le sujet).

1.3.2.3 Analyse en coût global sur 30 ans

L'analyse en coût global sur 30 ans des différents couples de solutions *Système de chauffage + Enveloppe thermique* a été réalisée avec les mêmes hypothèses que pour l'analyse en coût global concernant les bâtiments existants (cf. Partie 1.4). L'objectif est de pouvoir comparer le coût global des différents modes de chauffage pour les bâtiments RT 2012 sur le long terme en prenant en compte l'évolution du prix des énergies.



La nouvelle réglementation thermique RT 2012, en imposant un effort accru sur l'enveloppe thermique des bâtiments, permet de ramener le montant de la facture énergétique à seulement un tiers du coût global du chauffage en moyenne, confirmant que la part variable du kWh ne doit pas être un critère de choix de mode de chauffage.

On retrouve les mêmes tendances dans cette analyse sur le long terme que pour l'analyse sur une année de fonctionnement. **Les réseaux de chaleur vertueux apparaissent bien en moyenne comme la solution la plus compétitive en coût global.**

La modulation de l'exigence de consommation accordée dans la RT 2012 aux bâtiments raccordés à un réseau de chaleur faiblement émetteur de CO_2 apparaît particulièrement adaptée au regard de ces résultats.

En effet, cette analyse en coût global montre que, même sur trente ans, le surcoût engendré sur les factures d'énergie est largement compensé par un niveau d'investissement initial sur le bâtiment bien plus faible. Ainsi, le système « production de chaleur + enveloppe thermique » des bâtiments alimentés par un réseau vertueu présente le meilleur bilan économique global.

Ce rehaussement des consommations à la marge ne remet par ailleurs pas en cause le très bon positionnement des réseaux de chaleur vertueux sur les critères environnementaux (cf. Partie 1.2.2, 1.2.3 et 1.3.3.3) et doit inciter les maîtres d'ouvrages à s'orienter vers les labels de performance de la RT 2012 (voir paragraphe suivant).

A noter par ailleurs que cette analyse ne prend pas en compte les critères économiques locaux (activité économique locale générée par la valorisation des énergies renouvelables).

1.3.3 Comparatif des systèmes de chauffage permettant d'atteindre le label Effinergie+

Le label Effinergie+ appliqué au bâtiment type

Le label Effinergie+ mis en place par l'association Effinergie en janvier 2012 vient récompenser les bâtiments dont le niveau de performance dépasse de 20% les exigences de la RT 2012[26]. Les exigences de résultats sont les suivantes :

- ✓ **Besoin bioclimatique (Bbio)**. Le critère Bbio exprime l'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti. Le coefficient Bbio maximum autorisée dans le cadre de notre étude pour atteindre le label Effinergie+ est fixé à 57,6 points[27].
  Le bâtiment doit respecter Bbio < $Bbio_{max\ Effinergie+}$
- ✓ **Consommation d'énergie primaire (Cep)**.
  La $Cep_{max\ Effinergie+}$ autorisée dans le cadre de notre étude afin d'atteindre le label Effinergie+ est fixée à **58,2 kWhep/m² par an lorsque le bâtiment est alimenté par un chauffage au gaz ou à l'électricité**[28].
  A noter que pour atteindre le label Effinergie+, les bâtiments dont le permis de construire est déposé avant le 31 Décembre 2014 bénéficient d'une valeur initiale de la Cep_{max} fixée à 45 kWh/m^2 par an (contre 40 kWh/m^2 par an après cette date).
  Selon que le bâtiment soit alimenté par un système de chauffage émettant moins de 150 g CO_2/kWh ou moins de **100 g CO_2/kWh** ou moins de **50 g CO_2/kWh,** la $Cep_{max\ Effinergie+}$ autorisée dans le cadre de notre étude est fixée respectivement à **62,7 kWh/m^2.an** ou **67,2 kWh/m^2.an** ou **71,7 kWh/m^2.an**[29].
  Le bâtiment doit respecter Cep < $Cep_{max\ Effinergie+}$

A noter que les combinaisons d'enveloppe thermique qui ont été définies dans cette étude ont été avant tout calibrées afin d'atteindre les objectifs RT 2012. Les meilleures solutions d'enveloppe thermique existantes sur le marché ne sont répertoriées, ce qui explique que certains systèmes de chauffage ne puissent pas atteindre le label Effinergie+ dans cette étude.
C'est sur les bases de ce label qu'a été défini le nouveau label THPE.

1.3.3.1 Construction du couple Système de chauffage + Enveloppe

Pour chaque système de chauffage, on a choisi l'enveloppe thermique la moins onéreuse qui permet de respecter :

- Bbio < $Bbio_{max\ Effinergie+}$
- Cep < $Cep_{max\ Effinergie+}$

Le tableau ci-dessous récapitule les couples de solutions optimales *Système de chauffage + Enveloppe thermique* permettant d'atteindre le label Effinergie+.

---

[26] Règles techniques applicables aux bâtiments neufs faisant l'objet d'une demande de label Effinergie+. Janvier 2012.

[27] $Bbio_{max\ Effinergie+}$ < 0,8 x $Bbio_{maxmoyen}$ x (Coeff géographique + Coeff altitude + Coeff Surface) avec $Bbio_{maxmoyen}$ =60
soit $Bbio_{max\ Effinergie+}$ = 0,8 x 60 x (1,2 + 0 + 0) = 57,6 points

[28] $Cep_{max\ Effinergie+}$ = 45 x Coeff type de bâtiment x (Coeff géographique + Coeff altitude + Coeff Surface + Coeff GES)
soit $Cep_{max\ Effinergie+}$ = 45 x 1 x (1,2 + 0 + 0,09 + 0) = 58,2 kWh / m^2.an

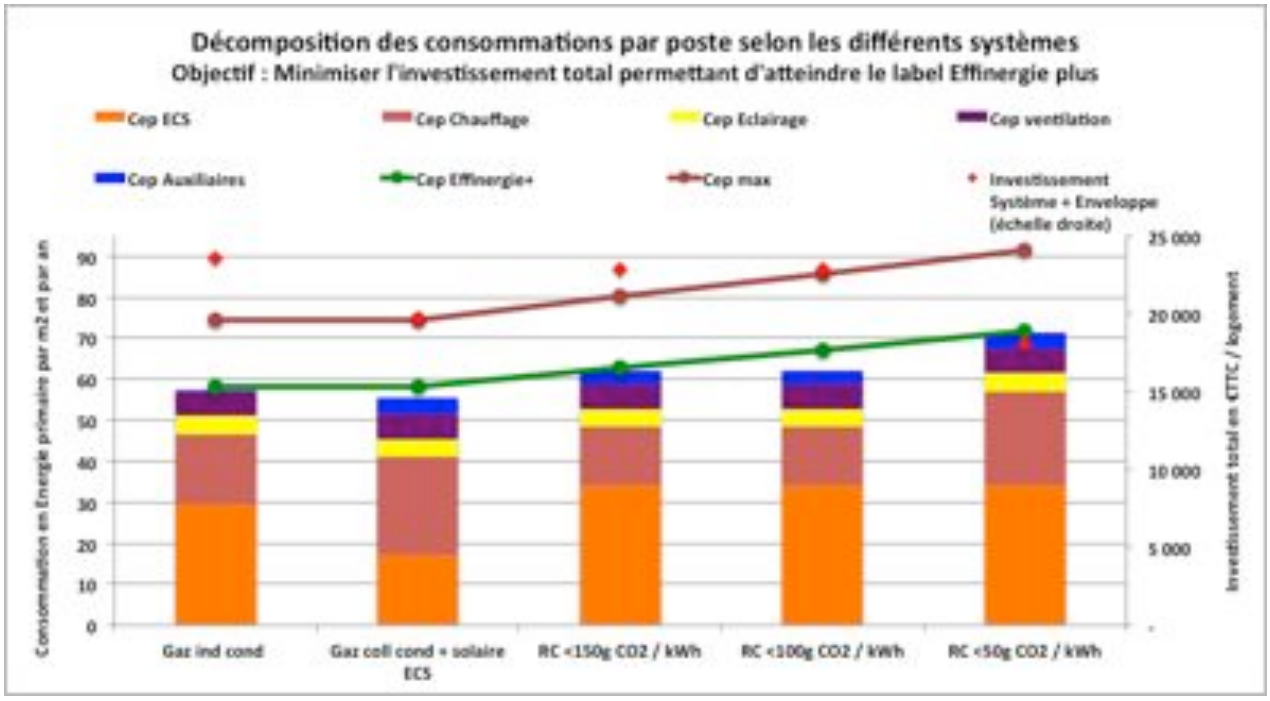
[29] soit $Cep_{max\ Effinergie+}$ = 45 x 1 x (1,2 + 0 + 0,09 + 0,3) = 71,7 kWh / m^2.an pour les bâtiments alimentés par un système de chauffage dont le contenu CO_2 est inférieur à 50g CO_2 / kWh.
soit $Cep_{max\ Effinergie+}$ = 45 x 1 x (1,2 + 0 + 0,09 + 0,2) = 67,2 kWh / m^2.an pour les bâtiments alimentés par un système de chauffage dont le contenu CO_2 est inférieur à 100g CO_2 / kWh.
soit $Cep_{max\ Effinergie+}$ = 45 x 1 x (1,2 + 0 + 0,09 + 0,1) = 62,7 kWh / m^2.an pour les bâtiments alimentés par un système de chauffage dont le contenu CO_2 est inférieur à 150g CO_2 / kWh.

	Combinaison enveloppe thermique	Objectifs		Résultats		Performance		Investissement		
		Cep Effinergie +	Bbio Effinergie +	Cep	Bbio	Cep/ Cep Effinergie+	Bbio/ Bbio Effinergie+	Invest bâti € TTC/lgt	Invest système € TTC/lgt	Invest total € TTC/lgt
Gaz ind cond	**16+**	58	58	**58**	**40**	1%	31%	17 049	6 531	**23 580**
Gaz coll cond + solaire ECS	**2**	58	58	**55**	**57**	5%	0%	11 241	8 400	**19 641**
RC <150g CO2 / kWh	**16+**	63	58	**62**	**40**	1%	31%	17 049	5 805	**22 854**
RC <100g CO2 / kWh	**16+**	67	58	**62**	**40**	8%	31%	17 049	5 805	**22 854**
RC <50g CO2 / kWh	**4**	72	58	**71**	**53**	0%	8%	12 235	5 805	**18 040**

Sur les 10 systèmes de chauffage étudiés seuls 5 parviennent à atteindre le label Effinergie+ avec les 18 combinaisons thermiques retenues sur l'analyse. Cela ne signifie pas que les autres solutions ne peuvent pas atteindre le label, mail il leur faudrait des enveloppes thermiques encore plus performantes qui n'ont pas été étudiées dans le cadre de l'étude.

Du point de vue du maître d'ouvrage, la solution la plus compétitive en termes d'investissement total est le *réseau de chaleur émettant moins de 50g de CO_2 / kWh*. A noter que l'écart entre le coût total de cette solution pour atteindre le label Effinergie+ et le coût total pour atteindre les objectifs RT 2012 est relativement faible (surcoût de 2 048 € par logement). Ce constat devrait inciter les maîtres d'ouvrage et les collectivités à se tourner vers le label pour ces solutions performantes, et plus encore durant cette période transitoire.

Le graphique ci-après représente les niveaux de consommation d'énergie primaire selon les postes de la RT 2012 pour chaque couple *Système de chauffage + Enveloppe thermique* atteignant le label Effinergie+. La ligne verte représente le niveau de consommation à ne pas dépasser pour atteindre les objectifs Effinergie+, alors que la ligne rouge fixe l'objectif RT 2012. Les points rouge vif représentent le coût d'investissement (*Système de chauffage + Enveloppe thermique*) pour le maître d'ouvrage : on observe que l'atteinte du label Effinergie Plus est la moins chère pour la solution *réseau de chaleur émettant moins de 50g de CO_2 par kWh,* suivie de la solution *Chaudière collective au gaz naturel et solaire thermique.*



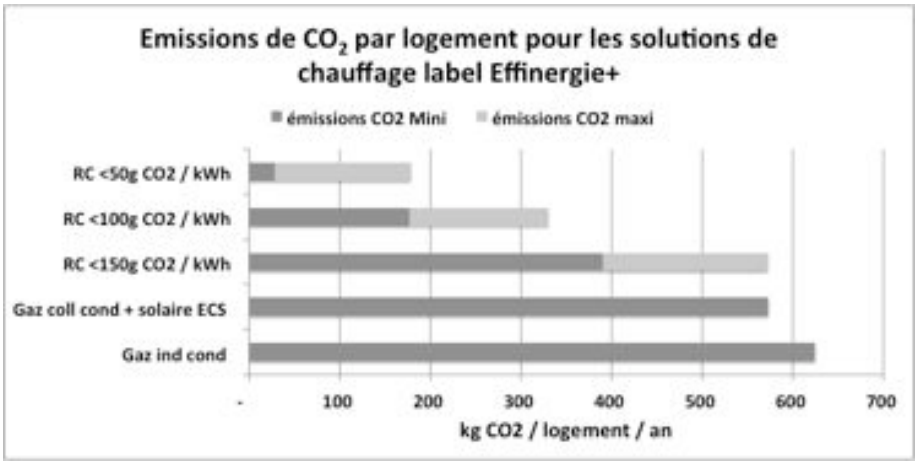
1.3.3.2 Analyse en coût global

Pour cette analyse en coût global sur les couples de solution *Système de chauffage + Enveloppe thermique* qui atteignent le label Effinergie+, nous avons recalculé le terme «surcoût bâti».
La solution *gaz à condensation couplée à une production d'ECS solaire* présente le coût d'investissement sur l'enveloppe le plus faible (combinaison d'enveloppe n°2), c'est donc sur cette base là que nous avons établi le surcoût sur le bâti pour les quatre autres solutions[30].

Cette analyse en coût global pour les bâtiments labellisés Effinergie+ montre que la part de la facture énergétique dans le coût global atteint seulement 25% en moyenne pour ces 5 solutions.

L'analyse en coût global des solutions *Système de chauffage + Enveloppe thermique* permettant d'atteindre le label Effinergie+ permet de constater que **les réseaux de chaleur s'avèrent compétitifs du point de vue de la facture énergétique et du coût global**.

1.3.3.3 Comparaison des émissions de GES par logement



Le graphique ci-contre illustre le positionnement des différentes solutions de chauffage selon les émissions de CO_2 par logement[31].

Les réseaux de chaleur vertueux sont bien placés dans la RT 2012, mais leurs avantages sont moins bien reconnus dans le label : le coût d'investissement pour atteindre le label Effinergie + pour un maître d'ouvrage est moins élevé pour la solution *Gaz à condensation + ECS solaire* que pour la solution *réseau de chaleur avec un contenu CO2 inférieur à 100 g/kWh.*
Les émissions de CO_2 par logement sont pourtant de 40 à 70 % inférieures avec un *réseau vertueux* qu'avec la *solution gaz naturel + solaire*.

[30] Exemple : Pour la solution « Gaz ind cond », le surcoût bâti est de 17 049 – 11 241 = 5 808 €.

[31] Les calculs se basent sur un contenu CO_2 du gaz à 205 gCO_2/kWh (approche PNAQ) afin d'établir des comparaisons à émission équivalente avec les réseaux de chaleur. Le contenu CO_2 des auxiliaires a été calculé avec un 100 gCO_2/kWh.

1.4 Evolution des prix de l'énergie et impacts sur la facture de chauffage

AMORCE étudie le prix de la chaleur depuis plus de 20 ans. Les fortes évolutions sur les prix des énergies ces dernières années nous ont poussé à un exercice de prospective permettant de comparer le coût global des différentes solutions sur le long terme, une telle analyse devant guider les choix des maîtres d'ouvrage. Le choix des hypothèses est particulièrement sensible pour ce type d'analyse. Nous examinerons dans un second temps la sensibilité de l'hypothèse d'augmentation des prix.

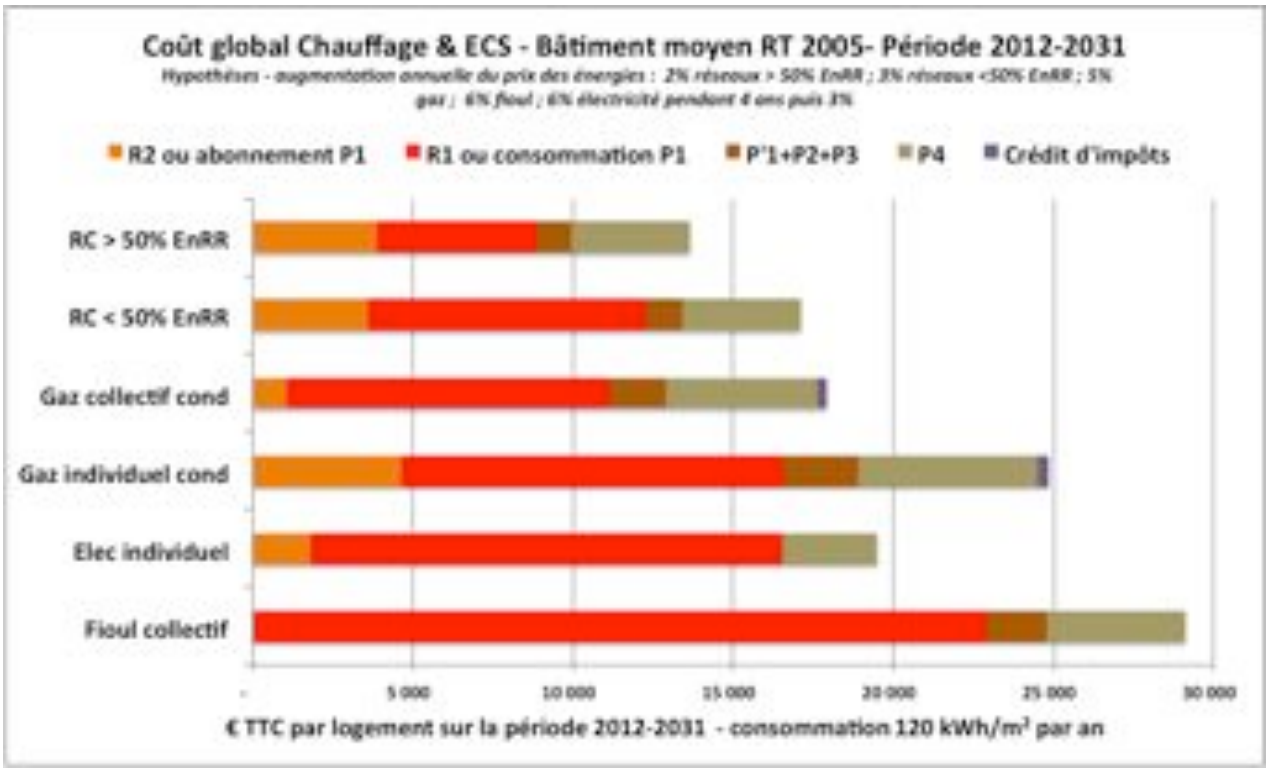
Hypothèse :

- Taux d'actualisation : 4%.
- Inflation : 1,5%. Dans ce modèle, l'inflation pèse sur le poste entretien et maintenance.
- Evolution des prix de l'énergie : (en % d'augmentation par an)
  - **3%** pour les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies fossiles.
  - **2%** pour les réseaux majoritairement alimentés par des EnRR.
  - **5%** sur le prix du gaz naturel.
  - **6%** sur le prix du fioul.
  - **3%** sur le prix de l'électricité à partir de 2016 et **6%** de 2012 à 2016[32].

AMORCE incite les collectivités et les bureaux d'études à présenter plusieurs scénarios d'évolution des prix ou à réaliser des études de sensibilité.

Prospective sur le coût global des systèmes de chauffage sur une période de 20 ans

Pour cette simulation, nous nous sommes basé sur le comparatif réalisé dans la partie 1.2.1.1 sur le coût global des différents systèmes de chauffage pour l'année 2012. Nous avons choisi de garder comme référence le logement type RT 2005 à 120 kWh/ m^2.an, relativement représentatif du parc résidentiel moyen sur la période de temps étudiée.



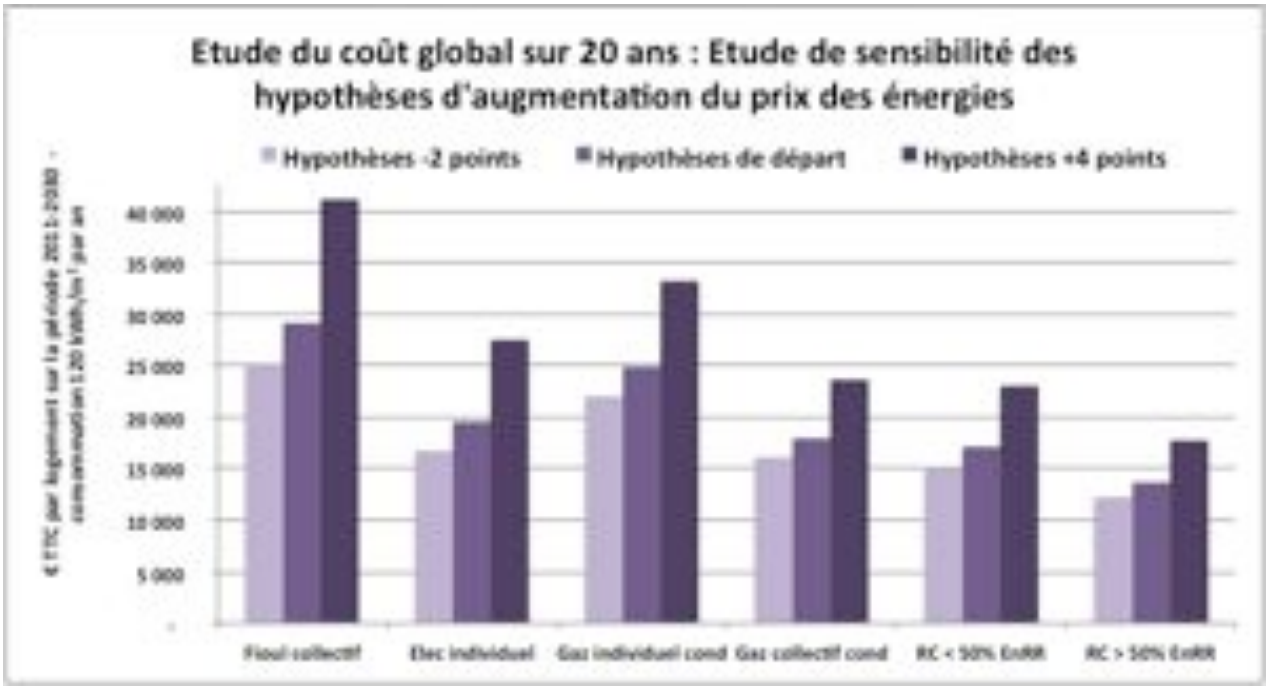
[32] Cette hypothèse peut sembler majorante pour l'évolution du prix de l'électricité. Mais les chiffres publiés par la CRE annoncent une augmentation significative du prix de l'électricité d'ici 2017 et l'augmentation devrait être proportionnellement plus forte pour les profils de consommation horosaisonnier comme en atteste déjà les fortes augmentations réalisées sur le tarif Tempo.

Le graphique illustre bien les évolutions du coût global des différents modes de chauffage en prenant en compte l'évolution du prix des énergies selon les hypothèses présentées ci-dessus. Sur une période de 20 ans, les solutions réseaux de chaleur, et plus particulièrement les réseaux EnRR se classent parmi les plus compétitives. Les systèmes de chauffage avec une part variable importante dans le coût global seront logiquement plus onéreux dans un contexte d'évolution des prix de l'énergie à la hausse.

Etude de sensibilité du modèle aux hypothèses d'évolution des prix.

Nous avons ensuite étudié la sensibilité des hypothèses d'augmentation des prix de l'énergie définies ci-dessus. Nous avons analysé l'impact d'un scénario de faible évolution des prix (-2 points de pourcentage sur les hypothèses de départ), et un scénario de plus forte évolution des prix (+4 points de pourcentage sur les hypothèses de départ).

Au regard des hypothèses choisies, le modèle de faible évolution des prix (-2 points) apparaît comme une alternative optimiste, alors que le modèle de forte évolution des prix (+4 points) relève presque d'un scénario de rupture.



Le graphique indique que, même avec le scénario de forte augmentation des prix, les solutions réseaux de chaleur restent relativement protégées d'une augmentation conséquente du coût du chauffage. D'autres solutions apparaissent bien plus vulnérables au scénario de forte évolution des prix de l'énergie : ainsi pour la solution gaz individuel à condensation, ce scénario amène un surcoût de près de 8 000€ sur 20 ans par rapport aux hypothèses de départ, soit deux à trois fois le prix de la chaudière.

A noter que les évolutions des prix de l'énergie sont fortement atténuées par le taux d'actualisation à 4%. Sans la prise en compte de ce paramètre l'écart entre les différentes solutions de chauffage serait bien plus important.

2. Le prix de vente de la chaleur en 2012

Ce chapitre présente les principales données de l'enquête technique du chauffage urbain menée par le SNCU et analyse le prix de vente moyen de la chaleur à la lumière de nombreux paramètres.

2.1 Les chiffres clés de l'enquête technique

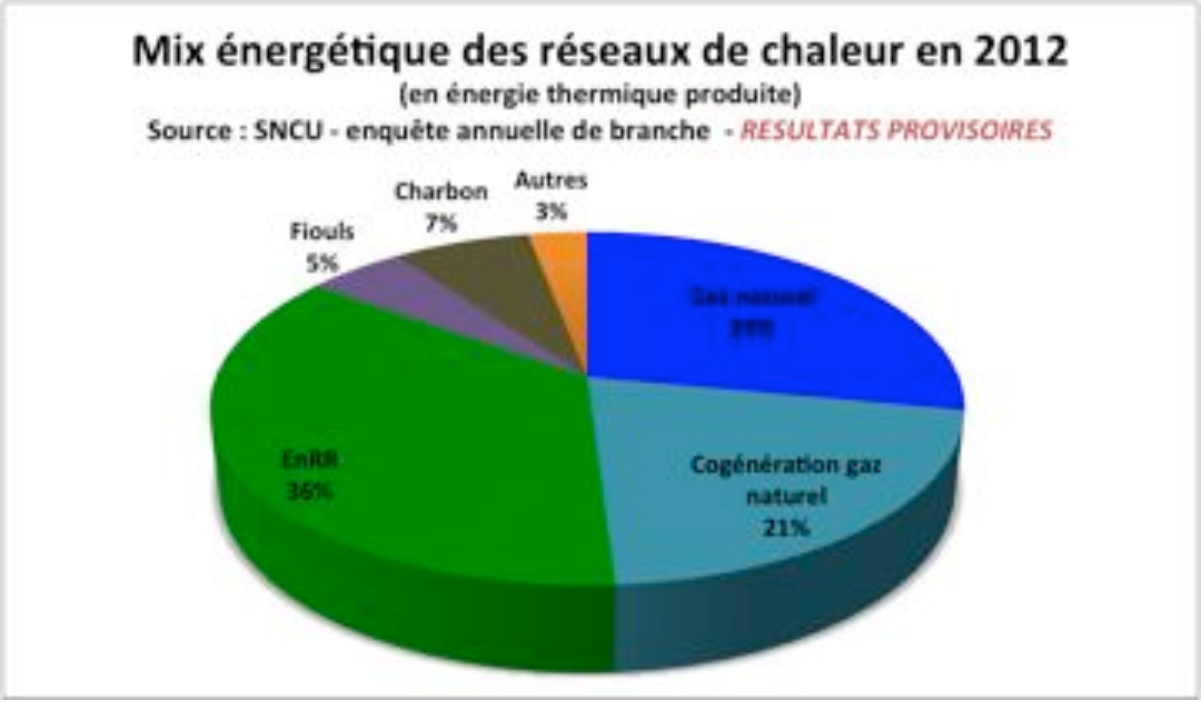
Sur 465 réseaux recensés dans l'enquête annuelle de branche[33] pour 2012, nous avons retenus 334 réseaux de chaleur dans l'enquête sur le prix de vente de la chaleur (après tri et mise en cohérence des données brutes reçues[34]).

Sur les 465 réseaux de chaleur recensés ayant distribué 23,5 TWh de chaleur en 2012, l'échantillon utilisé pour notre analyse sur le prix de la chaleur représente :

- 71,8 % de l'effectif,
- 89,6 % de l'énergie distribuée.

Les résultats indiqués dans la suite de ce paragraphe sont issus de l'analyse effectuée par le SNCU sur les données techniques de l'enquête annuelle de branche du chauffage urbain[35].

Les énergies renouvelables et de récupération (EnRR) représentent 36% du bouquet énergétique des réseaux de chaleur français. Avec 49% de l'énergie utilisée, le gaz naturel (en cogénération et hors cogénération) reste le combustible principal des réseaux de chaleur[36].



[33] L'enquête annuelle de branche du chauffage et de la climatisation urbaine est conduite par le SNCU (Syndicat National du Chauffage Urbain) sous l'égide du SOeS (Service des statistiques du ministère en charge de l'énergie)

[34] Pour 131 réseaux, les données n'ont pas été utilisées pour notre analyse car elles présentaient des incohérences, liées à des erreurs de saisie ou à un manque d'actualisation des données économiques, de nature à fausser les résultats des calculs de prix moyens.

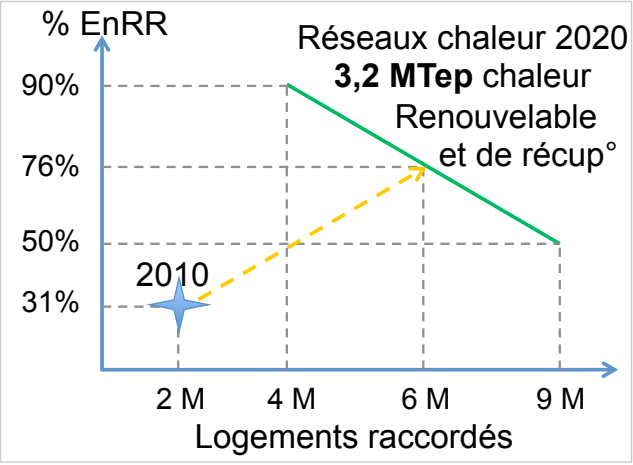
[35] Les dossiers techniques des enquêtes de branche sont en libre téléchargement sur : http://www.fedene.fr/content/reseaux-de-chaleur-et-de-froid/metier/technique/statistiques

[36] La catégorie « Autres » du bouquet énergétique est composée de l'énergie issue des autres réseaux de chaleur, des chaudières électriques et de la part non EnRR de la production des pompes à chaleur.

Depuis 2007, on constate une augmentation de la part des énergies renouvelables et de récupération (EnRR) sur les réseaux de chaleur. Cette tendance est liée à la volonté de valoriser des énergies locales peu émettrices de GES, aux conditions d'éligibilité à la TVA à 5,5% sur la partie consommation d'énergie (R1[37]) et aux conditions pour bénéficier des aides du fond chaleur (besoins de chaleur du réseau assurés par des EnRR à hauteur de 50% minimum).

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, la France s'est engagée à augmenter fortement sa production de chaleur à partir de sources d'énergies renouvelables ou de récupération. Les réseaux de chaleur permettent de mutualiser les coûts d'investissement, et finalement d'accéder à des gisements d'énergies qui ne pourraient pas être exploitées par des systèmes individuels.

Le Grenelle de l'environnement fixe aux réseaux de chaleur pour objectif **de contribuer à l'horizon 2020 au quart de l'effort de production supplémentaire de chaleur renouvelable** soit +2,4 Mtep par rapport à 2011.



Objectif de la PPI chaleur et du Grenelle en 2020 : 3,2 MTep de chaleur renouvelable via les réseaux de chaleur

soit 94% d'EnRR avec 4 millions d'équivalent – logements

soit 76% d'EnR&R avec 6 millions d'équivalent – logements

soit 50% d'EnRR avec 8 millions d'équivalent - logements

[37] Pour un mix énergétique du réseau - initialement - à plus de 60% d'EnRR, ramené à 50% en Loi de finance rectificative pour 2008

2.2 Prix de vente de la chaleur

2.2.1 *Définition du prix moyen de vente de la chaleur*

Cette première approche consiste à calculer un prix moyen de vente du MWh de chaque réseau qui correspond au rapport entre les recettes totales (tous clients confondus, chauffage et ECS) et le nombre de MWh vendus. Ce terme correspond à la facture énergétique ramenée au MWh (cf. 1.1.2).

Les données concernent exclusivement l'année civile 2012. Il est nécessaire d'être très vigilant sur la définition du contenu des recettes : ce prix n'est pas directement comparable avec un prix moyen de vente du MWh tel que le présentent les fournisseurs de gaz ou d'électricité (voir définition de la facture énergétique), puisqu'il correspond bien à la livraison d'un « produit » (la chaleur) déjà transformé à partir des combustibles utilisés (ou de la récupération d'énergie).

C'est sur cette approche qu'est proposé le classement des réseaux de chaleur en 5 catégories fonction du positionnement du prix moyen de vente du réseau par rapport au prix moyen de vente à l'échelle nationale :

- classe I : prix de vente moyen inférieur d'au moins 30% à la moyenne nationale,
- classe II : prix de vente moyen compris entre –30% et –10% par rapport à la moyenne nationale,
- classe III : prix de vente moyen compris entre –10% et +10% par rapport à la moyenne nationale,
- classe IV : prix de vente moyen compris entre +10% et +30% par rapport à la moyenne nationale,
- classe V : prix de vente moyen supérieur d'au moins 30% par rapport à la moyenne nationale.

2.2.2 *Résultat moyen pour l'année 2011*

Pour l'année 2012, le prix moyen pondéré du MWh vendu par les réseaux de chaleur français est de 68,1 € HT / MWh.

Attention, il s'agit bien du prix moyen hors taxe facturé par le réseau de chaleur, soit la « facture énergétique » (cf. 1.1.2). Il correspond donc à de la fourniture d'énergie utile et n'est pas directement comparable avec un prix moyen de vente du MWh tel que le présentent les fournisseurs de gaz ou d'électricité, qui n'est que du potentiel énergétique non transformé, auquel il y a lieu d'ajouter le coût du système de production de chaleur et de son entretien pour pouvoir mener une comparaison pertinente et équitable.

Le prix de vente moyen s'obtient en rapportant la somme des recettes générées par la vente de chaleur à la somme des MWh vendus par les réseaux français. Il y a donc pondération en fonction du volume de vente d'énergie (les réseaux avec de gros volumes de vente d'énergie « pèsent » plus que les petits réseaux dans la valeur obtenue).

Un autre indicateur est le prix de vente non pondéré (ou moyenne des prix de vente), qui supprime cette pondération. La moyenne des prix de vente est un peu supérieure au prix moyen de vente : 71,3 €HT/MWh.

Le prix moyen HT de vente de la chaleur est resté relativement stable par rapport à 2011 alors même que le prix des combustibles fossiles (qui alimentent encore 50% des réseaux de chaleur) a fortement augmenté. Cela peut s'expliquer en partie car 2011 a été une année particulièrement chaude nécessitant moins de livraisons ce qui a entrainé un prix moyen en €/MWh plus élevé.

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du prix moyen de la chaleur depuis 2007 (en bleu) ainsi que l'évolution du prix de la chaleur des réseaux majoritairement alimentés par des EnRR (en vert).

L'indice de rigueur climatique [38] (en rouge) permet de mettre en lumière l'impact des températures sur le prix de la chaleur, en particulier sur la période 2010-2011.

Le graphique fournit une analyse complémentaire : on constate que les réseaux de chaleur fonctionnant avec plus de 50% d'EnRR présentent un prix moyen HT nettement inférieur (calculs réalisés respectivement sur 44, 64, 88, 99, 114 et 124 réseaux en 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012). Bénéficiant de la TVA à 5,5% sur les ventes de chaleur, leur prix de vente au consommateur est donc encore plus intéressant.

Prix de la chaleur et rigueur climatique : éviter les erreurs d'interprétation !

Lorsque l'on calcule le prix moyen de la chaleur (en €/MWh), on divise les recettes de vente de chaleur (en €) par les livraisons de chaleur (en MWh).

Sur le tableau ci-contre, on observe qu'à tarif identique, la facture énergétique de l'année chaude est moins élevée que celle de l'année froide mais le prix unitaire (en €/MWh) augmente en raison de la part constante de l'abonnement.

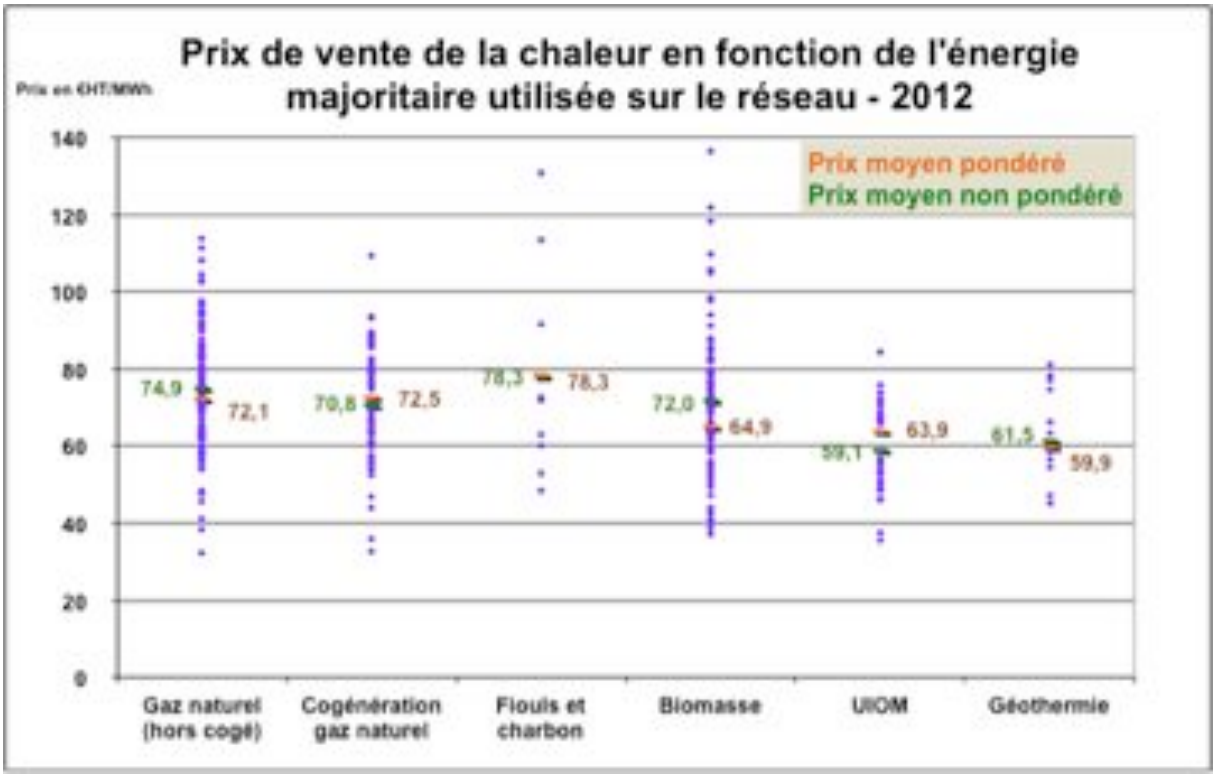
Le véritable outil de comparaison des modes de chauffage entre eux (ou dans le temps) n'est pas le prix unitaire, ni même la facture énergétique, c'est le coût global qui inclut tous les coûts liés au chauffage (investissement, entretien, facture énergétique).

Puissance souscrite	a	*7*	*kW/logement*
Tarif abonnement	b	*38*	*€/kW*
Tarif énergie	c	*0,042*	*€/kWh*
Données à titre indicatif		**Année chaude**	**Année froide**
Rigueur climatique		0,8	1,2
Conso. /an / log. (kWh)	d	7 616	11 424
Total abonnement	e=a*b	266 €	266 €
Total consommation	f=c*d	320 €	480 €
Total facture énergétique	g=e+f	586 €	746 €
Prix moyen (en €/MWh)	h=g/d	**76,93**	**65,28**

[38] Cet indice permet de caractériser la rigueur de la période hivernale d'une année (de janvier à mai et d'octobre à décembre, période nécessitant le chauffage des habitations) par rapport à la moyenne de la période 1976-2005.

2.2.3 Impact de l'énergie utilisée

Nous avons comparé les prix moyens de vente de l'énergie en fonction de l'énergie primaire majoritairement utilisée sur le réseau de chaleur. La méthode proposée consiste à représenter, par source d'énergie, le prix moyen de vente de la chaleur pour les réseaux de chaleur sur lesquels la source d'énergie considérée représente la composante principale du bouquet énergétique. Sur le graphique ci-après, chaque losange bleu correspond à un réseau de chaleur.

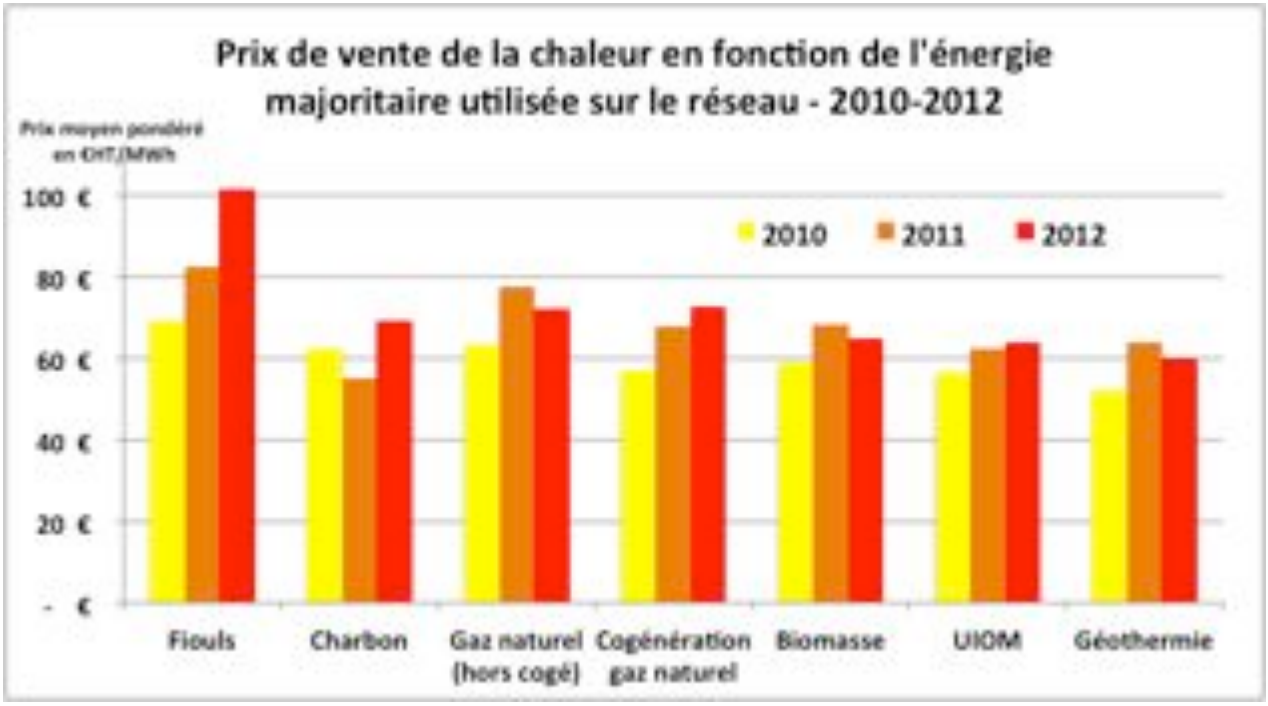


Les prix les plus bas sont constatés sur les réseaux de chaleur pour lesquels la récupération sur l'incinération des déchets ménagers (63,9 € / MWh), la géothermie (59,9 € / MWh), la biomasse (64,9 € / MWh) sont la principale source d'énergie.

Les valeurs les plus hautes constatées sur le bois correspondent généralement à des petits réseaux de chaleur ruraux, créés dans un contexte de concurrence énergétique (absence de desserte en gaz naturel) permettant un prix de vente plus élevé que sur les grands réseaux urbains (avec des aides à l'investissement qui tiennent compte de ce contexte)[39].

Pour la première année, AMORCE a regroupé les réseaux majoritairement alimentés au charbon et aux fiouls (lourds et domestiques). En effet, indépendamment leur nombre est devenu trop faible pour avoir une bonne représentativité. A noter que ce regroupement cache des disparités entre les réseaux alimentés majoritairement au charbon qui sont en moyenne plus compétitifs que les réseaux alimentés aux fiouls (cf. graphique ci-après, où les prix moyens pondérés apparaissent séparément)

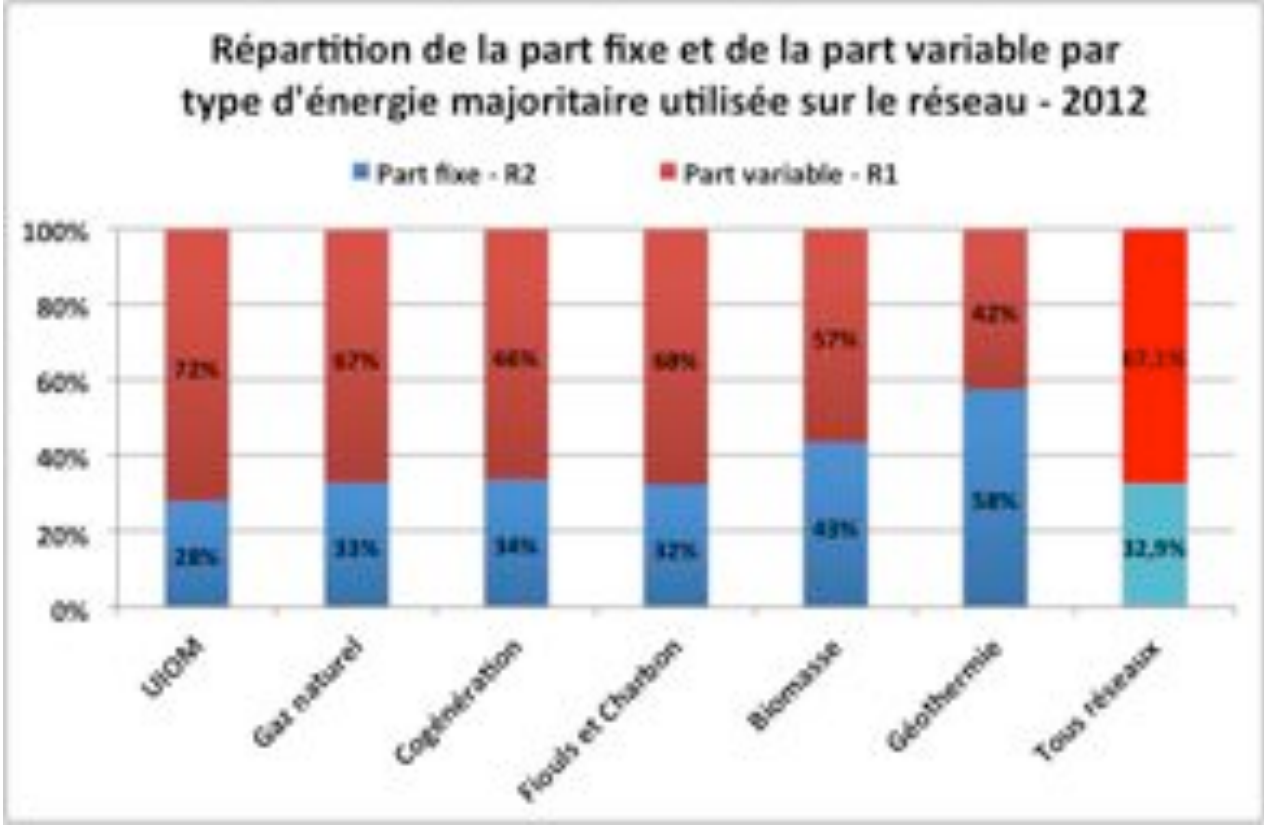
[39] Pour plus de détails sur le sujet, consulter l'enquête sur les réseaux de chaleur au bois d'AMORCE (RCT 33, Juin 2011)



L'évolution des prix moyens pondérés sur la période 2010-2012 en fonction de l'énergie majoritaire utilisée sur le réseau doit être observée avec prudence, notamment car certains réseaux sont très diversifiés avec une énergie majoritaire qui pèse parfois pour moins de 50% et car le panel des réseaux enquêtés évolue au cours du temps.

Cependant, on peut observer la forte hausse du prix des réseaux « Fiouls » alors que les réseaux « charbon » ont bénéficié de la chute du cours du charbon et du carbone sur 2011 et dans une moindre mesure en 2012. Les réseaux « gaz hors cogé » et « cogé gaz » ont connu une augmentation des prix sur cette période 2010-2012, mais elle n'est pas facile à analyser compte tenu de la forte baisse du nombre de réseaux « cogé gaz » (fin des contrats d'achat) et de la forte hétérogénéité du mix énergétique des réseaux « gaz hors cogé ». Les réseaux « EnRR » connaissent une meilleure stabilité des prix que les autres réseaux.

Si le type d'énergie majoritaire utilisée sur le réseau impacte le niveau de prix de vente moyen aux abonnés du réseau, il a également une forte influence sur la répartition part variable (R1) / part fixe (R2).



La structure tarifaire des réseaux géothermiques s'appuie principalement sur la part fixe du fait des lourds investissements nécessaires pour valoriser cette énergie renouvelable. Les réseaux alimentés par de la biomasse ont également une part fixe relativement élevée. Sur ces réseaux, les abonnés sont davantage protégés contre une augmentation trop importante de la facture de chaleur en cas d'accroissement du prix de l'énergie, mais sont également moins incités à maîtriser leur consommation. Pour compléter le sujet sur l'évolution du prix de la chaleur biomasse, se référer à la note synthétique sur les indices d'indexation bois énergie (RCE16 – AMORCE Janvier 2013).

A l'opposé, certains types d'énergie favorisent une structure tarifaire assise sur la part variable. Les réseaux majoritairement alimentés par des combustibles fossiles sont ainsi plus vulnérables aux évolutions du cours des énergies. On remarque que les réseaux adossés à une UIOM se classent également dans cette catégorie, en effet les coûts fixes sont faibles car l'installation principale générant la chaleur a d'abord été financée pour un besoin de gestion des ordures ménagères de la collectivité. Il est alors nécessaire d'observer l'indexation de la part variable des réseaux UIOM afin de déterminer la vulnérabilité de ces réseaux aux évolutions des cours de l'énergie (Cf. enquête RCE13 - *Performances et recettes des Unités de valorisation énergétique des ordures ménagères*, AMORCE).

Par rapport à 2011, la part fixe (R2) est en baisse relative sur l'ensemble des réseaux de chaleur à cause notamment d'une consommation d'énergie plus importante en 2012. En moyenne sur l'année 2012, la part fixe représente 33% des recettes des réseaux de chaleur.

A noter que la part fixe des réseaux majoritairement alimentés par des énergies renouvelables se situe à 42%, tandis que celle des réseaux majoritairement alimentés par des énergies fossiles est de 30%.

2.2.4 *Impact des autres paramètres sur le prix de la chaleur*

Le prix de la chaleur selon les réseaux s'explique par un grand nombre de variables au sein desquelles le mix énergétique est certainement le facteur le plus prépondérant. Cette partie présente une analyse croisée avec d'autres facteurs, certainement plus secondaires dans l'explication du prix de la chaleur.

2.2.4.1 Taille du réseau et prix de la chaleur

Les réseaux ont été classés par la quantité de chaleur annuellement livrée aux abonnés. On observe sur le tableau ci-dessous une tendance à des prix moyens légèrement inférieurs à la moyenne nationale (68,1 € / MWh) pour les réseaux livrant plus de 100 000 MWh.

Les plus petits réseaux (moins de 10 000 MWh) ont un prix relativement plus élevé. Ils restent souvent compétitifs car ils sont fréquemment amenés à être comparés avec les solutions de référence des zones rurales : électricité et fioul.

Classes de réseaux de chaleur (MWh livrées par an)	En % du nombre de réseaux	En % de l'énergie livrée sur les réseaux	Prix moyen de la chaleur (€ HT / MWh)
Plus de 200 000	3,3%	40,1%	**67,7 €**
100 000 à 199 999	9,6%	20,3%	**65,5 €**
50 000 à 99 999	17,1%	18,8%	**70,5 €**
10 000 à 49 999	46,7%	19,1%	**68,5 €**
Moins de 10 000	23,3%	1,7%	**75,8 €**

2.2.4.2 Mode de gestion et prix de la chaleur

L'étude du prix de la chaleur par mode de gestion apporte une analyse complémentaire. On observe qu'en moyenne les prix les plus compétitifs sont pratiqués par les régies.

Mode de gestion	En % de l'énergie livrée sur les réseaux	Taille moyenne du réseau étudié dans l'enquête prix (GWh livrés par an)	Prix moyen de la chaleur (€ HT / MWh)
Régie	3 %	22	**66,5 €**
DSP	86 %	87	**68,3 €**
Autres[40]	11 %	24	**67,0 €**

2.2.4.3 Densité thermique et prix de la chaleur

L'étude du prix de chaleur en fonction de la densité thermique du réseau permet de dresser un seuil à partir duquel le prix de la chaleur devient plus performant. Ce seuil est établit à 3 MWh par mètre linéaire de réseau dans cette enquête.

Densité du réseau	Prix moyen de la chaleur (€ HT / MWh)
Moins de 3 MWh / ml	**79,5 €**
Plus de 3 MWh / ml	**67,7 €**

[40] Réseaux de chaleur privés. Par exemple : Associations de copropriétaires, Bailleurs, Hôpitaux, Universités, etc.

2.2.4.4 Zone climatique et prix de la chaleur

Pour la première fois AMORCE a observé le prix unitaire moyen pondéré par les quantités en fonction de la zone climatique du réseau de chaleur. Les zones H2a, H2c, H2d et H3 sont exclus de l'enquête car elles pèsent chacune moins de 3,5% de l'échantillon global, ce qui nous apparaît insuffisant pour comparer les données avec les autres zones climatiques.

Zone climatique	En % du nombre de réseaux	En % de l'énergie livrée sur les réseaux	Prix moyen de la chaleur (€ HT / MWh)
H1a	41%	61%	**67,2 €**
H1b	15%	12%	**71,3 €**
H1c	19%	16%	**72,7 €**
H2b	8%	5%	**68,3 €**

La zone H2b se situe dans la moyenne nationale (pour rappel : 68,1 €/MWh), alors que la zone H1a se classe légèrement en dessous de la moyenne et que les zones H1b et H1c se placent en dessus de la moyenne. A noter que la zone H1a représente 60% de la chaleur vendue dans cette enquête sur le prix de la chaleur.

2.3 Monotone des prix

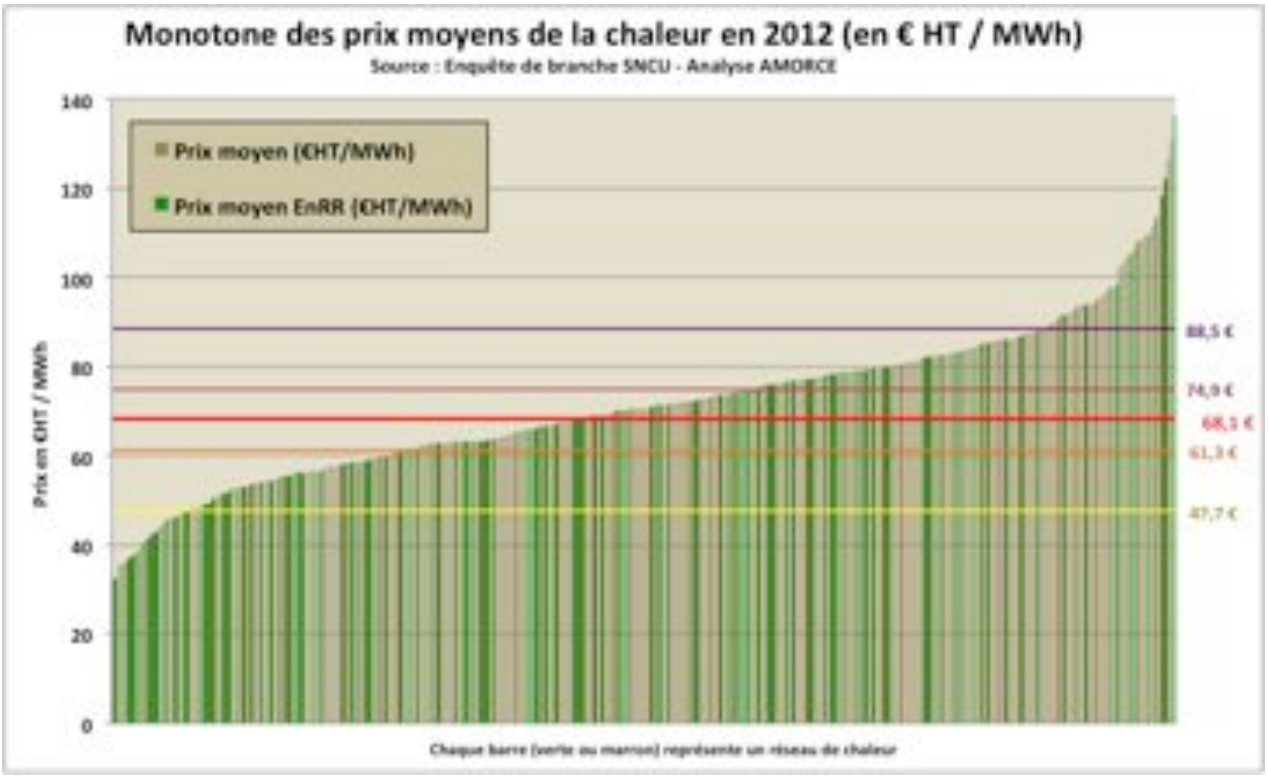
Pour positionner un réseau de chaleur dans sa classe, il suffit de calculer le prix moyen de vente sur l'année 2012 selon la formule suivante :

$$\textbf{Prix moyen} = \frac{\textbf{Recette totale de vente de chaleur (chauffage + ECS)}}{\textbf{Energie vendue (MWh chauffage + ECS)}}$$

2.3.1.1 Prix hors taxes

Le graphique suivant montre le large spectre de prix de vente sur les réseaux de chaleur, avec comme indiqué précédemment un **prix moyen de vente de 68,1 €HT / MWh**. On constate un rapport de 1 à 4 entre les moins chers et les plus chers. La moyenne des prix de vente (non pondérée par les quantités vendues) est un peu plus élevée : 71,3 €HT / MWh.

Pour les réseaux alimentés à plus de 50% par des énergies renouvelables ou de récupération, le prix HT moyen de vente de la chaleur en 2011 s'élève à **60,5 €HT / MWh**.



Sur cet échantillon de 334 réseaux de chaleur, la médiane est de 70,5 €HT /MWh, le premier quartile de 59,5 €HT /MWh et le troisième quartile de 80,1 €HT /MWh.

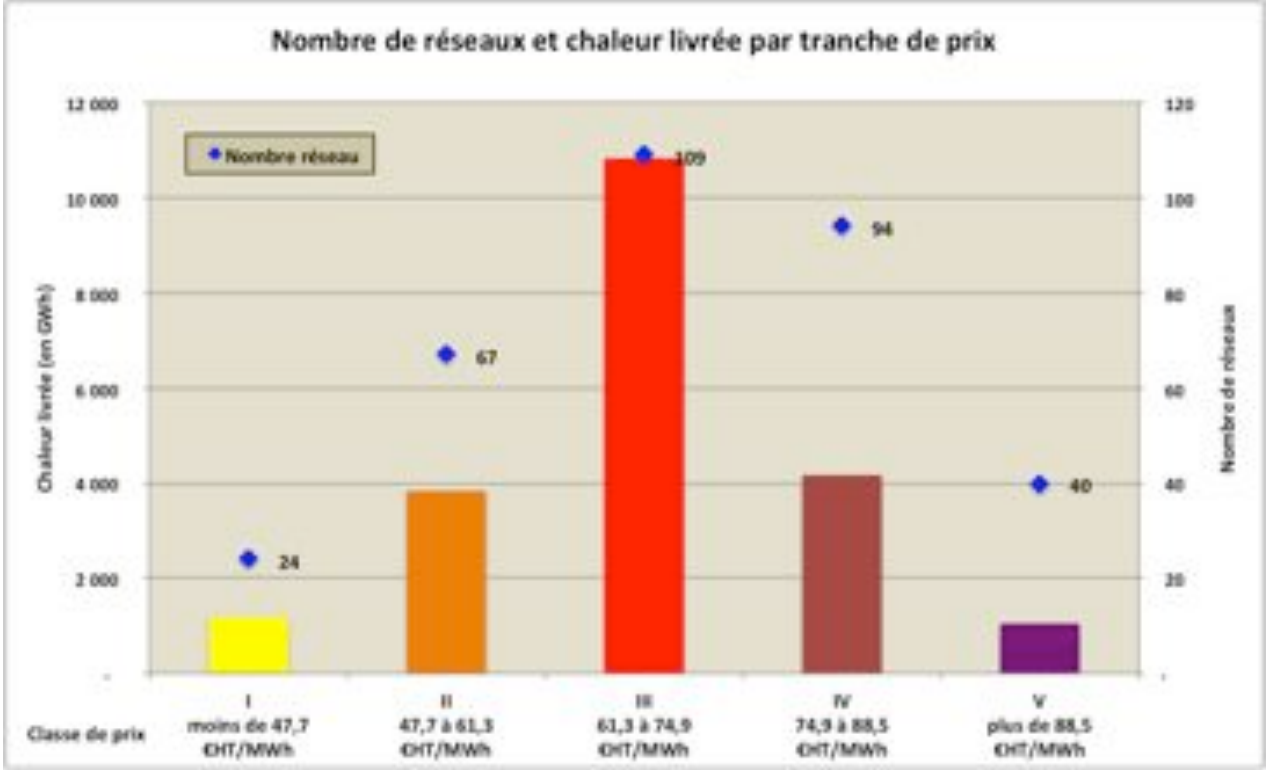
On constate sur ce graphique hors taxes que les réseaux à plus de 50% d'EnRR (barres vertes) sont souvent les mieux placés. Cette tendance est accentuée sur le graphique de la partie 2.3.1.2 qui inclut la TVA.

Nous avons établi 5 classes de prix en fonction du positionnement de chaque réseau par rapport au prix moyen de vente :

- **classe I :** moins de 47,7 €HT/MWh (prix inférieur d'au moins 30% du prix moyen)
- **classe II :** de 47,7 à 61,3 €HT/MWh (10 à 30% inférieur au prix moyen)
- **classe III :** de 61,3 à 74,9 €HT/MWh (écart au prix moyen de +/- 10% maximum)
- **classe IV :** de 74,9 à 85,5 €HT/MWh (10 à 30% supérieur au prix moyen)
- **classe V :** plus de 88,5 €HT/MWh. (plus de 30% supérieur au prix moyen)

Ces classes de prix sont représentées par des lignes de niveau dans le graphique précédent sur la monotone des prix de la chaleur.

Le graphique ci-après montre les quantités de chaleur livrées et le nombre de réseaux dans les différentes classes de prix.



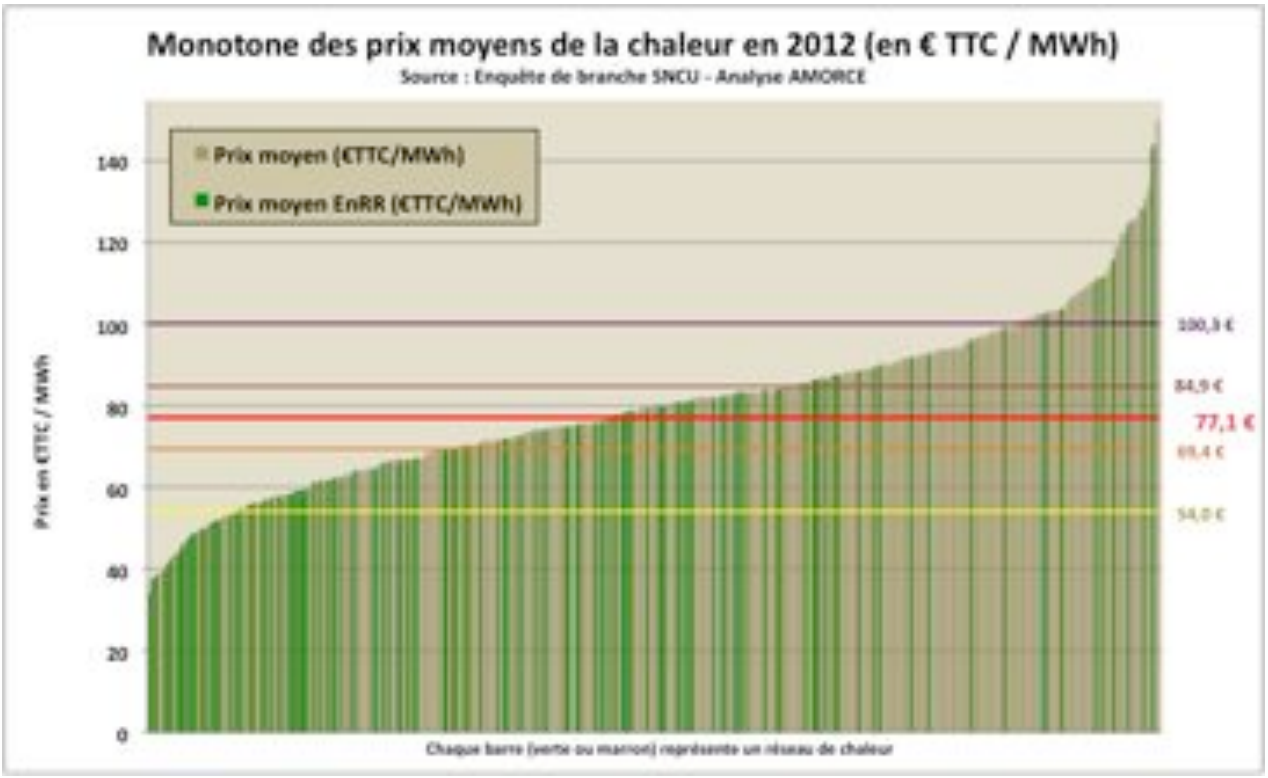
Sur ce graphique, on observe que 51% de la chaleur vendue figure dans la classe III et 89% de la chaleur vendue figure dans les classes II à IV.

Ce graphique permet de compléter le précédent sur la monotone des prix, les classes IV et V représentent 40% du nombre de réseau mais 25% de la chaleur vendue. Seulement 5% de la chaleur vendue fait partie de la classe V, à noter que ces réseaux sont parfois compétitifs avec les solutions locales de référence (fioul ou électricité notamment).

2.3.1.2 Prix toutes taxes comprises

Le prix TTC moyen de vente de la chaleur issue des réseaux de chaleur français en 2011 s'établit à **77,1 €TTC / MWh**. La moyenne des prix de vente TTC est un peu plus élevée : 80,1 €TTC / MWh.

Pour les réseaux alimentés à plus de 50% par des énergies renouvelables ou de récupération, le prix TTC moyen de vente de la chaleur en 2011 s'élève à **64,3 €TTC / MWh**.



Sur cet échantillon, la médiane est de 80 €TTC /MWh, le premier quartile de 66,7 €TTC /MWh et le troisième quartile de 91,9 €TTC /MWh.

Nous avons établi 5 classes de prix en fonction du positionnement de chaque réseau par rapport au prix moyen de vente :

- **classe I :** moins de 54 €TTC/MWh (prix inférieur d'au moins 30% du prix moyen)
- **classe II :** de 54 à 69,4 €TTC/MWh (10 à 30% inférieur au prix moyen)
- **classe III :** de 69,4 à 84,9 €TTC/MWh (écart au prix moyen de +/- 10% maximum)
- **classe IV :** de 84,9 à 100,3 €TTC/MWh (10 à 30% supérieur au prix moyen)
- **classe V :** plus de 100,3 €TTC/MWh. (plus de 30% supérieur au prix moyen)

On remarque qu'une dizaine de réseaux ont un prix de vente relativement élevé (supérieur à 120 €TTC / MWh). Il s'agit pour la majorité d'entre eux de petits réseaux anciens et alimentés par des énergies fossiles.

2.4 Focus sur le prix du chauffage pour les clients résidentiels.

Pour la deuxième année, nous avons observé le prix de la chaleur livrée aux seuls clients résidentiels. L'analyse a pu être portée sur un échantillon de 134 réseaux de chaleur et pour une quantité de chaleur livrée correspondant à 6,4 TWh, soit 30% du volume de chaleur étudié dans le cadre de cette enquête.

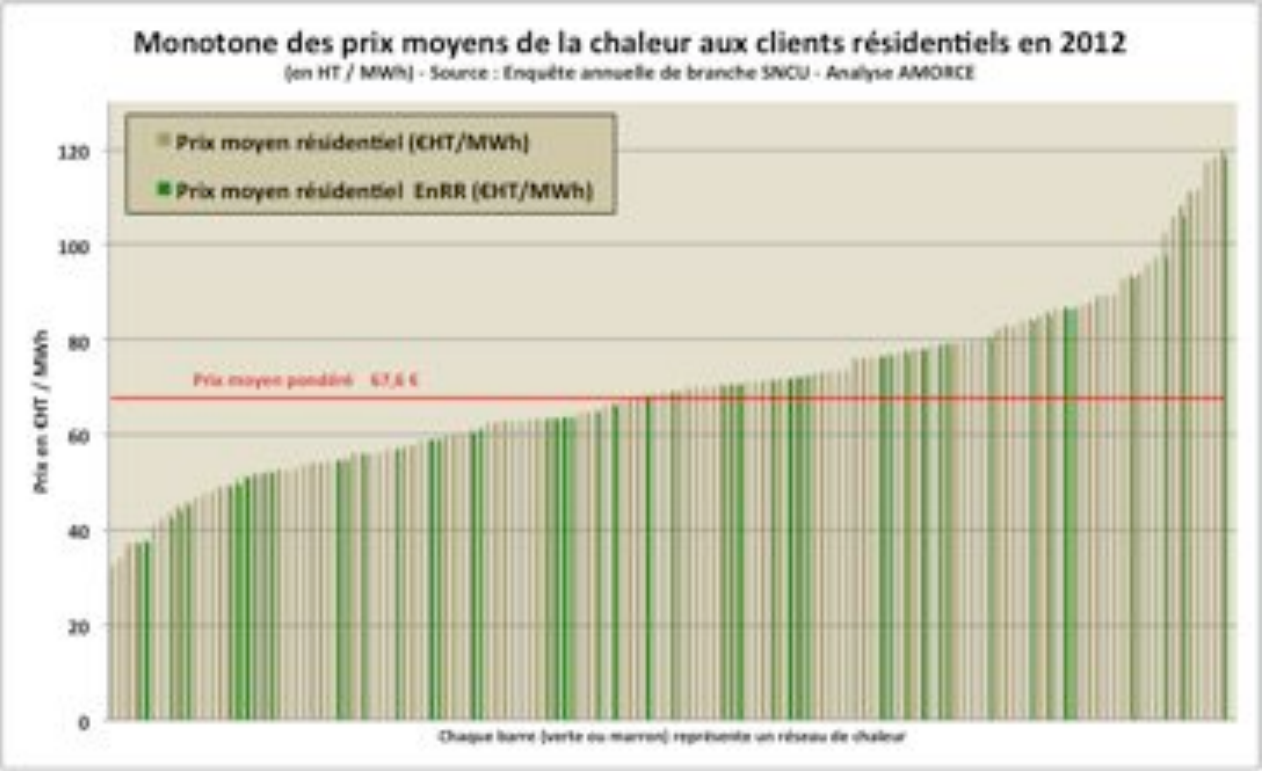
Le prix moyen de la chaleur aux clients résidentiels se situe à 67,6 € HT /MWh. Ce chiffre est un peu en dessous du prix moyen de la chaleur tous clients confondus (68,1 € HT /MWh), mais l'échantillon n'est pas le même.

A noter que sur les 134 réseaux qui ont renseigné cette partie, on retrouve 92 réseaux qui possèdent le même prix moyen (à 1% près) pour les clients domestiques et pour l'ensemble des clients, 18 réseaux qui possèdent un prix moyen plus élevé pour les clients domestiques et 24 réseaux qui ont un prix moyen moins élevé pour les clients domestiques. Les écarts de prix constatés sur les réseaux entre le prix moyen et le prix moyen résidentiel sont relativement faibles.

Le faible écart entre le prix moyen de la chaleur livré aux seuls clients résidentiels et le prix moyen de la chaleur tout clients confondus nous conduit à privilégier ce dernier dans la comparaison des modes de chauffage (partie 1) dans un double objectif :

- continuité de la méthode au fil des années,
- représentativité du nombre de réseaux.

Les précisions apportées par les gestionnaires de réseaux sont essentielles afin de vérifier que le prix moyen de la chaleur (tous clients confondus) peut bien être utilisé pour comparer les modes de chauffages domestiques.



Conclusion

On retiendra de cette enquête sur l'année civile 2012 les informations suivantes :

- Le prix moyen de vente de la chaleur a été calculé à partir des retours de 334 réseaux de chaleur (360 en 2011, 334 en 2010, 376 en 2009, 236 en 2008 et 200 en 2007).
- **Le prix moyen du MWh vendu par les réseaux à leurs clients est de 68,1 € HT/MWh.** Le prix moyen a légèrement augmenté par rapport à 2011 (67,5 € HT/MWh).
- **La dispersion des prix de vente autour de la valeur moyenne est extrêmement large, comprise entre moins de 33 €HT/MWh et près de 130 €HT/MWh.** Le prix moyen est notamment conditionné par les énergies primaires utilisées, faisant apparaître un niveau sensiblement inférieur à la moyenne pour les réseaux fonctionnant principalement à partir de chaleur issue d'usines d'incinération, de chaufferies bois ou de géothermie.
- Le coût global de chauffage pour un logement-type correspondant au « Parc social moyen » (170 kWh/m^2.an) raccordé à un réseau de chaleur est évalué en moyenne à **1 202 € TTC/an**. Pour les réseaux alimentés à plus de 50% par des EnRR, le coût global moyen est de **1 044 € TTC/an,** c'est **la solution la plus compétitive** parmi tous les modes de chauffage.
- Avec l'élargissement du champ de comparaison des modes de chauffage, on constate que les réseaux de chaleur sont globalement bien positionnés sur la plupart des critères, même si d'autres systèmes de chauffage peuvent être plus pertinents sur tel ou tel critère.
- Les réseaux de chaleur sont mieux placés d'un point de vue économique pour les bâtiments dont la consommation est élevée mais ils restent compétitifs, notamment pour les réseaux existants, pour des niveaux faibles de consommation[41].
- Sur les bâtiments présentant les plus faibles consommations, le chauffage électrique individuel affiche un coût global assez attractif mais reste mal placé en termes d'énergie primaire ou de gaz à effet de serre et nécessite des surinvestissements sur le bâti en RT 2012.
- Les pompes à chaleur géothermique, sous réserve que le niveau de performance retenu dans les calculs (COP 4,2) puisse effectivement être tenu comme une moyenne annuelle, peuvent être une solution performante en termes d'énergie primaire ou de gaz à effet de serre, voire en termes économiques en tenant compte d'aides à l'investissement (de type crédit d'impôt par exemple).
- Les réseaux de chaleur alimentés à 80% par des énergies renouvelables sont le mode de chauffage le plus performant sur les deux critères environnementaux examinés, quels que soient les niveaux de consommation des bâtiments alimentés.
- Les études sur 20 ans confortent la position des réseaux de chaleur et mettent en évidence le risque qui pèse sur le consommateur pour les solutions où l'achat d'énergie représente une part importante de la facture et pour les solutions individuelles.
- Les réseaux de chaleur représentent une solution économiquement pertinente pour le respect de la RT 2012, du point de vue du maître d'ouvrage (en coût d'investissement) comme du point de vue de l'usager (en coût global).

41 RCE12 : Réseaux de chaleur & bâtiments basse consommation :l'équation impossible ? Enjeux pour les collectivités et les autres acteurs

Annexe 1 : Hypothèses sur les bâtiments existants

A) Consommations d'énergie pour les bâtiments existants

Hypothèses

- Immeuble de 25 logements,
- Appartement de 70 m^2 et 180 m^3 (Volume V)
- Les niveaux de consommation ont été établis à partir d'un même besoin en énergie utile (pour un niveau de performance « enveloppe et renouvellement d'air du bâtiment » donné) et d'hypothèses sur les rendements de production / de distribution / de régulation en fonction des énergies considérées et des modes de chauffage (cf. rapport « Comparaison des modes de chauffage »).

On abouti à la synthèse suivante pour la consommation livrée prise en compte dans les calculs :

Consommation imputée au chauffage en kWh/log.an	PCI	PCI	PCI	PCI	PCI	livré compteur	livré compteur	livré compteur	livré ss-station
Mode de chauffage	Gaz ind	Gaz ind cond	Gaz coll	Gaz coll cond	Fioul coll	Elec ind	Pac ind	PAC geo COP 4,2	Réseau de chaleur
Moyen RT 2005	6 610	5 508	6 149	5 227	6 374	4 708	2 453	1 493	5 616
Parc social moyen	10 704	8 920	9 958	8 464	10 322	7 625	3 972	2 418	9 096
Peu performant	21 350	17 791	19 862	16 883	20 588	15 208	7 922	4 824	18 142

Quantité d'énergie achetée par l'usager pour les besoins d'ECS à 2 200 kWh utile / log.an

Consommation imputée à la production d'ECS en kWh/log.an	PCI	PCI	PCI	PCI	PCI	livré compteur	livré compteur	livré compteur	livré ss-station
Mode de chauffage	Gaz ind	Gaz ind cond	Gaz coll	Gaz coll cond	Fioul coll	Elec ind	Pac ind	PAC geo COP 4,2	Réseau de chaleur
Toutes performances bâtim	3 360	2 749	3 020	2 530	3 142	3 024	3 024	709	2 364

B) Dépenses de fonctionnement (P'1, P2, P3)

Les dépenses de fonctionnement de l'installation de chauffage interne à l'immeuble depuis le compteur (sous-station) ou la chaufferie jusqu'au corps de chauffe sont :

- L'électricité annexe (appelée P'1) nécessaire au fonctionnement de la chaudière et à la distribution de chaleur (pompes, brûleurs) ;
- l'entretien et le renouvellement (appelés P2 et P3) de l'installation de chauffage et d'eau chaude depuis la chaudière jusqu'aux corps de chauffe. Cela inclut notamment l'entretien de la sous-station dans le cas du chauffage urbain.

Il est important de préciser pour chaque mode de chauffage ce qui correspond aux dépenses de fonctionnement P'1, P2 et P3 :

- Pour les réseaux de chaleur, il s'agit des dépenses de fonctionnement en aval du compteur c'est-à-dire du circuit secondaire (après échangeur).
- Pour les chaufferies collectives, il s'agit des dépenses de fonctionnement depuis la chaudière (incluse) jusqu'au corps de chauffe.
- Pour les chauffages individuels, il s'agit des dépenses de fonctionnement depuis la chaudière jusqu'au corps de chauffe pour le gaz et des convecteurs et du ballon d'eau chaude pour l'électrique.

À partir des hypothèses actualisées des années précédentes, les valeurs suivantes ont été retenues :

	P1' (€TTC/log/an)	P2 (€TTC/log/an)	P3 (€TTC/log/an)
Gaz ind cond	31	106	39
Gaz coll cond	31	74	54
Fioul coll	25	84	43
Elec ind	-	-	22
PAC ind	-	95	26
PAC collectives géo	31	84	31
RDC	19	47	28

C) Amortissement des installations (P4)

Hypothèses de répartition des coûts

Pour fournir de la chaleur à un logement, il faut, à l'origine, investir dans un système énergétique qui comprend le raccordement à un réseau de distribution, son stockage dans certains cas, sa transformation en chaleur (sauf bien sûr pour les réseaux de chaleur), sa distribution dans l'immeuble, et son émission dans les logements.

Selon les cas, son amortissement partiel est déjà compris dans la facture énergétique, ou il est inclus dans le coût de construction de l'immeuble, auquel cas l'amortissement (P4) est répercuté dans le loyer pour les locataires ou les remboursements d'emprunts pour les propriétaires.

	Amortissement déjà inclus dans la facture énergétique	**Amortissement inclus dans le loyer ou le prix d'achat du logement**
Collectif fioul	Fourniture du fioul en pied d'immeuble (production, raffinage transport distribution)	Cuve, chaufferie, tuyauterie immeuble, corps de chauffe
Collectif gaz	Fourniture du gaz en pied d'immeuble (production, transport distribution)	Raccordement au réseau (parfois), chaufferie, tuyauterie d'immeuble, corps de chauffe
Réseau de chaleur	Fourniture de chaleur à la sous-station centrale (fourniture énergie primaire production de chaleur, distribution de chaleur échangeur (souvent))	Raccordement au réseau (parfois) Sous-station (incluant ou non l'échangeur), tuyauterie immeuble, corps de chauffe
Individuel gaz	Fourniture de Gaz jusqu'à l'appartement (production, transport, distribution)	Chaudière murale, distribution intérieure, corps de chauffe
Chauffage électrique individuel	Fourniture d'électricité jusqu'à l'appartement (production, transport, distribution)	Convecteurs / Ballon d'eau chaude
Pompe à chaleur collective	Fourniture d'électricité en pied d'immeuble (production, transport, distribution)	Raccordement au réseau (parfois), local et équipements pompe à chaleur, tuyauterie d'immeuble, corps de chauffe

Dans le cas des réseaux de chaleur, on rencontre des situations variées : la limite entre le réseau primaire (dont l'amortissement est inclus dans le prix de vente de la chaleur) et le réseau secondaire (dont l'amortissement est à la charge de l'abonné, donc inclus dans le loyer ou le prix d'achat du logement) se situe selon les cas avant ou après l'échangeur. Dans la très grande majorité des cas, la facturation est réalisée après l'échangeur. Dans quelques réseaux, la sous-station complète est même à la charge du réseau et son amortissement est inclus dans le prix de la chaleur.

Les montants d'investissement considérés

Les montants d'investissement retenus, présentés dans le tableau suivant, comprennent : les équipements de production et/ou de distribution dans l'immeuble, la main d'œuvre. Pour intégrer ces montants d'investissement dans le calcul du coût global de chauffage, on considère un amortissement sur une durée fonction du type d'installations avec un taux de 4%.

	Investissement total (€TTC/log)	Aide à l'investissement / crédit d'impôt en % sur l'équipement	Durée de vie de l'installation (années)	Durée de vie du réseau de distribution (années)
Gaz ind cond	4 675 €	10 %	12	40
Gaz coll cond	5 175 €	10 %	20	40
Fioul coll	5 000 €		22	40
Elec ind	2 730 €		16	25
PAC ind	5 700 €	15 %	16	25
RC	5 000 €		30	40
PAC géo pour Bâtiment moyen RT2005 [42]	6 600 €	26 %	20	40
PAC géo pour Bâtiment parc social moyen	7 980 €	26 %	20	40
PAC géo pour Bâtiment peu performant	10 230 €	26 %	20	40

Les annuités d'amortissement sont ainsi les suivantes, ramenées au logement :

	Annuité totale	Dont annuité système de chauffage	Dont annuité réseau distribution	Impact de l'aide à l'investissement (crédit d'impôt)	Annuité après aide à l'investissement
GN Ind Cond	414 €	307 €	107 €	27 €	387 €
GN Coll Cond	344 €	211 €	133 €	18 €	326 €
Fioul	297 €	164 €	133€	- €	297 €
Elec	203 €	112 €	91 €	- €	203 €
PAC Ind	576 €	500 €	76 €	76 €	504 €
RC	270 €	137 €	133 €	- €	270 €
PAC Coll Géo RT 2005	632 €	537 €	95 €	137 €	495 €
PAC Coll Géo Parc social	816 €	696 €	120 €	247 €	569 €
PAC Coll Géo Bât peu perf	1 075 €	955 €	120 €	341 €	735 €

En fonction du type de bâtiment, l'ensemble des annuités n'est pas pris en compte pour le calcul en coût global, car elles peuvent être déjà réalisées et amorties. Par exemple, un bâtiment raccordé à l'origine de la création du réseau de chaleur (ex : 1970) possède ses installations de distribution et de système de chauffage déjà amorties. Alors qu'un bâtiment existant en distribution collective de chauffage (créé en 1970 par exemple) qui souhaiterait se raccorder doit prendre en compte dans son calcul en coût global la partie annuité de système de chauffage, mais pas celle liée au réseau de distribution.

[42] Pour les pompes à chaleur géothermique, les coûts de forage sont inclus et impactent fortement sur le montant global ; ils sont en outre quasi proportionnels à la puissance installée (le linéaire de forage est proportionnel à la puissance, au facteur de performance du sol près).

Annexe 2 : Hypothèses sur les bâtiments RT 2012

A) Etude réalisée sur un bâtiment type RT 2012

L'annexe 2 reprend les éléments principaux de l'étude menée par le Bureau d'étude TRIBU ENERGIE[43]. Cette étude a pour objectif de comparer d'un point de vue économique, les différentes solutions techniques qui permettent de respecter les nouvelles exigences de la réglementation thermique (RT) 2012.
L'étude a été réalisée sur un immeuble collectif, deux modes constructifs ont été définis (structure brique ou béton) avec deux types de procédés d'isolations (isolation intérieure et extérieure) ainsi que neuf systèmes énergétiques.

La RT 2012

La RT 2012 fixée par l'arrêté du 26 octobre 2010 établit des performances énergétiques et de caractéristiques thermiques à respecter.

L'exigence d'efficacité énergétique minimale de la conception du bâti de la RT2012 impose un échange amont entre architecte et bureau d'études thermiques. Pour prouver le respect de la RT2012, le maître d'ouvrage devra fournir deux attestations (au dépôt de la demande de permis de construire et à l'achèvement des travaux).

Les calculs ont été réalisés avec la version v1.1.4 de l'outil Maestro du CSTB qui utilise la méthode de calcul Th-BCE 2012.
Dans cette étude, les valeurs de Cep_{max} retenus sont celles applicables aux bâtiments dont le permis de construire sera déposé avant le 31 décembre 2014, c'est-à-dire qu'elles intègrent la majoration de 7,5 kWh/m^2.an sur les valeurs de Cep_{max} (50 kWh/m^2.an).

Nous avons choisi le coefficient de modulation géographique H1a (qui inclut l'Ile de France) sur la RT 2012, le plus représentatif de la répartition des réseaux de chaleur en France.

Hypothèses sur le bâtiment type RT 2012

SHONRT (m2)	Shab (m2)	Nombre de logements	SHONRT /Shab	SHONRT logement moyen (m2)	Compacité	Surface vitrée Sv (m2)	Sv/Shab
1485	1206	23	1,23	65	0,67	214	18%

[43] L'étude complète peut être disponible sur simple demande auprès d'AMORCE.

B) Descriptif technique des solutions de chauffages pour les bâtiments RT 2012

Chaudières condensation individuelles au gaz naturel + ECS instantanée (Gaz ind cond)

Le chauffage est assuré par des chaudières gaz à condensation individuelles avec production d'ECS instantanée.

Puissance nominale	23,6 kW
rendement 100% de charge	98,3 %
rendement 30% de charge	108,7 %
Perte à l'arrêt	86 W
Puissance auxiliaire	33 W
Emplacement générateur	En volume chauffé

Chaudière condensation collective au gaz naturel (Gaz coll cond)

Le chauffage est assuré par une chaudière gaz à condensation collective avec production d'ECS accumulée dans un stockage de 1275 litres.

Pnom	50 kW
η100%	97 %
η30%	106 %
Perte à l'arrêt	156 W
Puissance auxiliaire	313 W
Emplacement générateur	Hors volume chauffé

Chaudière condensation collective au gaz + ECS solaire (Gaz coll cond + solaire ECS)

Le chauffage est assuré par une chaudière gaz à condensation collective avec production d'ECS solaire et appoint hydraulique via la chaudière. Les capteurs solaires thermiques sont orientés au sud, inclinés à 45° et ont une surface d'entrée cumulée de 30 m².

Pompe à chaleur collective absorption gaz air/eau (PAC gaz)

Le chauffage est assuré par une pompe à chaleur collective absorption gaz air/eau qui alimente des radiateurs chaleur douce. La production ECS est réalisée par la PAC couplée à un ballon d'accumulation de 1275 litres. Une chaudière gaz à condensation collective réalise l'appoint du chauffage et de la production d'ECS.

Pnom	**40 kW**
Rendement d'Utilisation du Gaz pour un régime d'eau de 7°/45°	**156 %**
Rendement d'Utilisation du Gaz pour un régime d'eau de 7°/50°	**125 %**

Non pris en compte dans l'analyse car la v1.1.4. de l'outil Maestro du CSTB ne prend pas en compte ce système de chauffage.

Panneaux rayonnants + chauffe-eau thermodynamique individuel (Elec ind + ECS ind)

Le chauffage est assuré par des panneaux rayonnants électriques, la production d'ECS est assurée par logement par des chauffe-eaux thermodynamiques individuels sur air extrait.

- Panneaux rayonnants avec un coefficient d'amplitude (CA) égal à 0,14 K. Cette valeur traduit l'efficacité de la régulation des panneaux rayonnants. Elle a été déterminée de façon à caler au mieux cette solution (Cep/Cepmax positif). Actuellement cette valeur du CA est la meilleure du marché.
- Chauffe-eau thermodynamique :

Volume ballon	200 L
Coefficient de performance du cycle selon la norme EN16147	2,7
Cycle de puisage	Cycle L

Panneaux rayonnants + chauffe-eau thermodynamique collectif (Elec ind + ECS coll PAC)

Le chauffage est assuré par des panneaux rayonnants électriques, la production d'ECS est assurée par un chauffe-eau thermodynamique collectif sur air extérieur.

Volume ballon	2000 L
Puissance thermodynamique	19 kW
Coefficient de performance ECS	2,75

Pompe à chaleur individuelle de type 3 en 1 (TZEN)

Le chauffage des logements se fait par vecteur air grâce à un système 3 en 1 : cela consiste en une récupération statique sur l'air extrait complétée par une récupération thermodynamique (PAC individuelle sur air extrait). La production d'ECS est assurée individuellement par la PAC sur air extrait. Le système assure également la ventilation des logements par une VMC double flux statique avec échangeur d'efficacité 60 %. Non pris en compte dans l'analyse car la v1.1.4. de l'outil Maestro du CSTB ne prend pas en compte ce système de chauffage.

Pompe à chaleur géothermique collective (PAC géo coll)

Le chauffage est assuré par une pompe à chaleur eau glycolée / eau sur capteurs verticaux. La PAC assure également la production d'ECS avec accumulation dans un volume de 1275 litres.

Puissance PAC	50 kW
COP	4,27
Volume ballon	1275 L

Dans la version V1.1.4 du logiciel utilisée, la production d'ECS par PAC géothermique n'est pas prise en compte. Le Titre V relatif à la prise en compte de la production d'ECS par PAC pour la RT2005 a été utilisé pour déterminer les performances de la PAC en fonctionnement ECS dans le cadre de la RT2012.

Réseau de chaleur urbain (RC)

Le chauffage est assuré par le réseau de chaleur qui alimente des radiateurs chaleur douce. La production ECS est aussi réalisée par le réseau de chaleur depuis la sous-station couplée à un ballon d'accumulation de 1275 litres. Puissance souscrite : 50 kW.

Réseau de chaleur vertueux (RC vertueux)

Le chauffage est assuré par le réseau de chaleur qui alimente des radiateurs chaleur douce. La production ECS est aussi réalisée par le réseau de chaleur depuis la sous-station couplée à un ballon d'accumulation de 1275 litres. Puissance souscrite : 50 kW

Ces réseaux vertueux se classent en trois catégories selon leur contenu CO_2 de l'énergie livrée.

Le réseau de chaleur a un contenu CO_2 inférieur à 50 g/kWh (coeff de modulation MCGES : 0.3).

Le réseau de chaleur a un contenu CO_2 inférieur à 100 g/kWh (coeff de modulation MCGES : 0.2).

Le réseau de chaleur a un contenu CO_2 inférieur à 150 g/kWh (coeff de modulation MCGES : 0.1).

Hypothèse d'investissement sur les systèmes de chauffage

Les coûts d'investissement relatifs aux systèmes de chauffage comprennent la distribution (liaison radiateurs/collecteurs/générateur), les émetteurs, la régulation, l'alimentation en énergie et la mise en service. Le tableau ci-dessous présente le Ratio de coût fourni/posé - € TTC/logement.

Ces coûts d'investissement intègrent le coût de l'installation d'une ventilation hygro B estimé à 960 € TTC/logement et le coût d'installation du système de distribution pour les solutions de chauffage collectif estimé à 1 620 € TTC/logement.

	Chauffage	ECS	Total
Gaz ind cond	6 531 €	0 €	**6 531 €**
Gaz coll cond + solaire ESC	5 470 €	2 920 €	**8 400 €**
Gaz coll cond	7 380 €	0 €	**7 380 €**
RC	4 200 €	1 605 €	**5 805 €**
PAC géo coll	7 870 €	1 605 €	**9 475 €**
Elec ind + ECS ind	1 850 €	3 350 €	**5 200 €**
Elec ind + ECS coll PAC	1 850 €	1 520 €	**3 370 €**

C) Descriptif technique des combinaisons de prestations sur le bâtiment

Le tableau ci dessous répertorie les différents choix de matériaux pour chacune des parois avec :

- ITI : isolation thermique par l'intérieur,
- ITE : isolation thermique par l'extérieur,
- SS : sous-sol,
- TT : toiture terrasse.

Réf. type de paroi	Description	U_p (W/m²/K)	Coefficient Umaximal selon la RT2005 (en W/m²/K)
ITI---	**Parpaing** (20 cm, R=0.23 m².K/W) + **8 cm Th38** (R=2.11 m².K/W)	0.396	0.450
ITI--	**Brique** (20 cm, R=0.65 m².K/W) + **8 cm Th38** (R=2.11 m².K/W)	0.337	
ITI-	**Brique** (20 cm, R=1.00 m².K/W) + **10 cm Th32** (R=3.13 m².K/W)	0,231	
ITI+	**Brique** (20 cm, R=1.00 m².K/W) +**12 cm Th30** (R=4.00 m².K/W)	0.187	
ITE-	**Béton** (20 cm, R=1.00 m².K/W) + **12 cm Th32** (R=3.75 m².K/W)	0.249	
ITE+	**Béton** (20 cm, R=1.00 m².K/W) + **16 cm Th32** (R=5.00 m².K/W)	0.190	
ITE++	**Béton** (20 cm, R=1.00 m².K/W) +**20 cm Th32** (R=6.25 m².K/W)	0.129	
SS--	Sous-sol + **12 cm flocage Th40** (R=3.00 m².K/W)	0.422	0.400
SS-	Sous-sol +**14 cm de flocage Th40** (R=3.50 m².K/W)	0.349	
SS+	Sous-sol+**12 cm flocage** (R=3.00 m².K/W) +**6 cm de Th23** (R=2.61 m².K/W)	0.198	
SS++	Sous-sol +**15 cm fibragglo** (R=1.80 m².K/W) + **12 cm Th23** (R=5.22 m².K/W)	0.119	
TT--	Terrasse + **8 cm Th23** (R=3.48 m².K/W)	0.280	0.340
TT-	Terrasse + **10 cm Th23** (R=4.35 m².K/W)	0.227	
TT+	Terrasse +**15 cm Th23** (R=6.52 m².K/W)	0.154	
TT++	Terrasse + **20 cm Th23** (R=8.70 m².K/W)	0.117	

A partir de ces prestations, 18 combinaisons d'enveloppe sont obtenues afin d'établir le positionnement des solutions technologiques.

Combinaison	Isolation	Sous sol	Toiture terrasse	Investissement par logement (€ TTC)
1-	ITI--	SS--	TT--	10 087
1	ITI-	SS-	TT-	11 135
2	ITI-	SS-	TT+	11 241
3	ITI-	SS+	TT-	12 129
4	ITI-	SS+	TT+	12 235
5	ITI+	SS-	TT-	11 433
6	ITI+	SS-	TT+	11 539
7	ITI+	SS+	TT-	12 427
8	ITI+	SS+	TT+	12 534
9	ITE-	SS-	TT-	13 357
10	ITE-	SS-	TT+	13 463
11	ITE-	SS+	TT-	14 351
12	ITE-	SS+	TT+	14 457
13	ITE+	SS-	TT-	13 995
14	ITE+	SS-	TT+	14 102
15	ITE+	SS+	TT-	14 990
16	ITE+	SS+	TT+	15 096
16+	ITE++	SS++	TT++	17 049