



Avec le soutien technique
et financier de



ENQUÊTE

Comparaison des modes de chauffage en 2016

Série
Économique
RCE 29
Janvier 2018

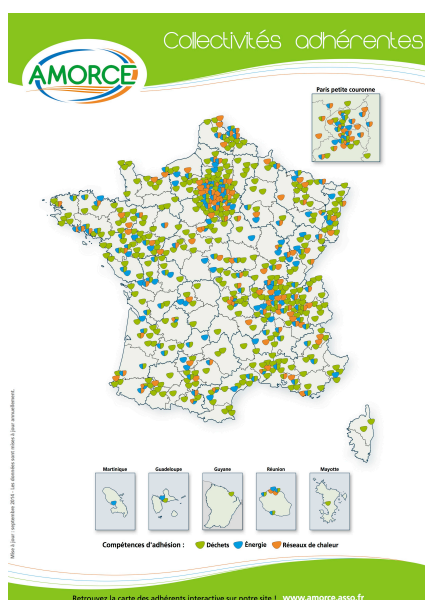


Réseaux
de chaleur

PRÉSENTATION D'AMORCE

Créée en 1987, AMORCE est l'association nationale des collectivités territoriales et des professionnels pour une gestion locale des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur. Au 1^{er} novembre 2017, l'association regroupe **886 adhérents** dont plus de 570 collectivités rassemblant plus de 60 millions d'habitants, ainsi que plus de 300 entreprises, fédérations professionnelles et associations.

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



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

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

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

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



PRÉSENTATION DE L'ADEME



L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil.

Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans ses domaines d'intervention.

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

Contact pour ce guide : David CANAL

ADEME

www.ademe.fr

AMORCE / ADEME – Janvier 2018

Guide réalisé en partenariat et avec le soutien technique et financier de l'ADEME

RÉDACTEURS

Romain ROY, rroy@amorce.asso.fr

Relecture : Thomas DUFFES, AMORCE ; David CANAL, ADEME

REMERCIEMENTS

Nous remercions le SNEC, Syndicat National de d'Exploitation Climatique et de la maintenance, pour sa contribution à l'actualisation des hypothèses relatives aux durées de vie des équipements de chauffage, et aux coûts de maintenance et renouvellement de ces installations.

Nous remercions également le courtier en énergie Opéra Énergie, pour les données mises à dispositions sur les prix de marché de l'électricité et du gaz naturel, utilisés dans le calcul du coût global du chauffage pour les solutions pompe à chaleur et gaz naturel collectif à condensation.

SOMMAIRE

PRÉSENTATION D'AMORCE	1
PRÉSENTATION DE L'ADEME	2
RÉDACTEURS	3
REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
INTRODUCTION	6
1 METHODES DE COMPARAISON DES MODES DE CHAUFFAGE ET HYPOTHESES	7
1.1 Facturation des différentes énergies	7
1.1.1 Énergies de réseau	7
1.1.2 Énergies hors réseaux	8
1.2 Facture énergétique, facture globale et coût global : que compare-t-on ?	9
1.3 Hypothèses tarifaires servant à comparer les modes de chauffage	11
1.3.1 Réseaux de chaleur	11
1.3.2 Électricité	12
1.3.3 Gaz naturel	14
1.3.4 Fioul domestique	15
1.4 Les modes de chauffage comparés	16
1.5 Les caractéristiques du logement type	17
1.6 Méthodes et critères de comparaison	18
1.6.1 Comparaison économique	18
1.6.2 Comparaison énergétique	19
1.6.3 Comparaison en termes de gaz à effet de serre	20
2 COMPARAISON DES MODES DE CHAUFFAGE POUR LES BATIMENTS EXISTANTS	22
2.1 Comparaison économique	22
2.1.1 Bâtiment RT 2005 – 120 kWh/m ² .an	24
2.1.2 Parc social moyen – 170 kWh/m ² .an	26
2.1.3 Bâtiment peu performant – 300 kWh/m ² .an	28
2.2 Comparaison énergétique	30
2.3 Comparaison en matière d'émissions de gaz à effet de serre	31
3 COMPARAISON DES MODES DE CHAUFFAGE POUR LES BATIMENTS RT 2012	33
3.1 Hypothèses	33
3.1.1 Le bâtiment type étudié	33
3.1.2 Les modes de chauffages	35
3.1.3 Les prestations sur le bâti	35
3.2 Analyse des systèmes de chauffage permettant d'atteindre la RT 2012	36
3.2.1 Construction du couple système de chauffage + enveloppe thermique	36
3.2.2 Analyse en coût global	38
3.3 Analyse des systèmes de chauffage permettant d'atteindre le label Effinergie+	41
3.3.1 Construction du couple système de chauffage + enveloppe thermique	41
3.3.2 Analyse en coût global	43
3.3.3 Comparaison des émissions de GES par logement	44
4 EVOLUTION DES PRIX DE L'ENERGIE ET IMPACTS SUR LA FACTURE DE CHAUFFAGE 45	
4.1 Évolution du coût global du chauffage & ECS depuis 1996	45

4.2 Perspectives d'évolution du coût global 2016-2035	46
CONCLUSION	48
GLOSSAIRE.....	49
ANNEXE 1 : HYPOTHÈSES SUR LES BÂTIMENTS EXISTANTS	50
1. Consommations d'énergie.....	50
2. Dépenses de fonctionnement P'1-P2-P3.....	50
3. Amortissement des installations P4.....	51
ANNEXE 2 : HYPOTHÈSES SUR LES BATIMENTS RT 2012	53
A. Étude réalisée	53
B. Descriptif technique des solutions de chauffage	54
C. Descriptif technique des combinaisons de prestations sur le bâtiment	56

INTRODUCTION

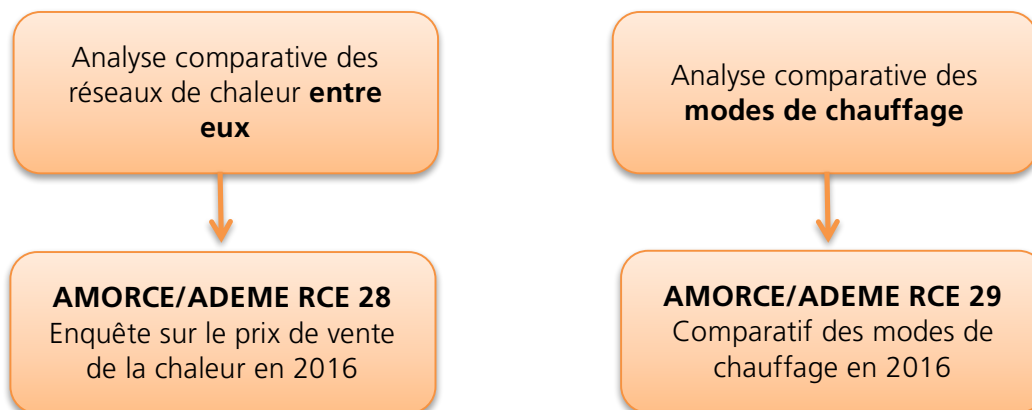
Menée par AMORCE depuis trente ans, cette enquête **compare les réseaux de chaleur aux autres modes de chauffage** (gaz, fioul, électricité, etc.), sur les plans économique et environnemental (émissions de gaz à effet de serre et énergie primaire), pour plusieurs niveaux de performance énergétique des bâtiments. Depuis l'entrée en vigueur de la RT 2012, l'enquête comprend également deux analyses complémentaires qui visent à comparer les différents modes de chauffage dans le cadre de cette réglementation thermique, et à comparer l'évolution du coût global à long terme en fonction de l'évolution des prix des énergies.

Après avoir exposé les hypothèses considérées et les méthodes appliquées (sous partie 1), les différents modes de chauffage sont comparés sur le plan économique, énergétique et environnemental (sous partie 2). Puis la sous partie 3 s'intéresse en particulier à la comparaison des modes de chauffage pour les bâtiments neufs soumis à la RT 2012. Enfin, la sous partie 4 présente une comparaison des coûts du chauffage à moyen terme en fonction de l'évolution des prix des énergies. Nous y avons inséré un historique des coûts du chauffage, basé sur les précédents rapports d'enquête. Les hypothèses de calcul détaillées sont exposées en annexes.

L'objet de cette publication est de comparer la compétitivité des réseaux de chaleur par rapport aux autres principaux modes de chauffage, en logement collectif.

L'analyse comparative du prix des réseaux de chaleur les uns par rapport aux autres, au regard d'une analyse multicritères, fait l'objet d'une publication spécifique :

RCE28 – Enquête sur le prix de vente de la chaleur en 2016.



Attention, certaines hypothèses d'étude ont été actualisées en 2017 afin de prendre en compte les dernières données disponibles :

- Les prix de référence pour les solutions chauffage collectif au gaz à condensation (cf. partie 1.1.1.3), et PAC collective (cf. partie 1.1.1.2)
- Les dépenses de fonctionnement des installations du secondaire (cf. Annexe 1)
- La durée de vie des équipements de production et distribution internes au bâtiment (cf. Annexe 1)

Les résultats du coût global en 2016 doivent donc être analysés en tenant compte de cette actualisation, lorsqu'il s'agit de suivre l'évolution de ce comparatif sur les éditions antérieures (cf. partie 4.1).

1 METHODES DE COMPARAISON DES MODES DE CHAUFFAGE ET HYPOTHESES

Avant d'effectuer quelque comparaison que ce soit, il convient de rappeler les modes de facturation des différentes énergies et les différences qui existent en matière de définition des coûts du chauffage.

Les hypothèses retenues pour les coûts du chauffage en 2016, les modes de chauffage, les caractéristiques du logement type et la méthode de comparaison sont ensuite définis.

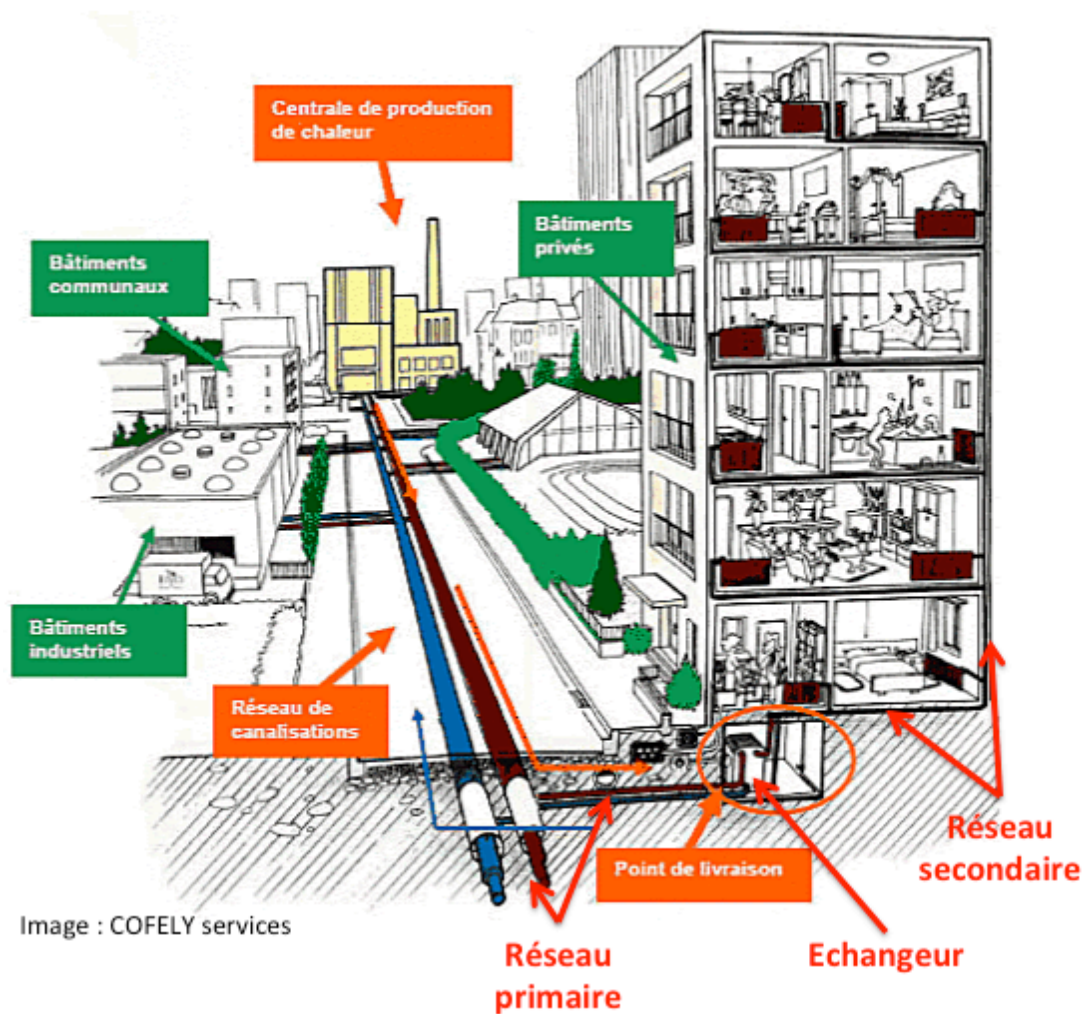
1.1 Facturation des différentes énergies

1.1.1 Énergies de réseau

1.1.1.1 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 coût unitaire de la chaleur consommée, qui s'exprime en €/HT/MWh. Il est multiplié par la consommation finale de l'abonné pour établir la part variable de sa facture. Il dépend directement des prix d'acquisition des combustibles utilisés (bois, gaz, etc.) et/ou de la chaleur le cas échéant (UVE, cogénération, etc.).
- **Le terme R1 ECS** : c'est le coût unitaire de la chaleur consommée pour la production d'eau chaude sanitaire, lorsqu'elle est facturée séparément du chauffage. Le R1 ECS s'exprime généralement en €/HT/m³ d'eau consommé. Pour l'intégrer aux calculs théoriques des factures, un coefficient de conversion q (kWh/m³) est appliqué ; q est propre à chaque réseau, s'il n'est pas précisé, sa valeur par défaut est fixée à 100 kWh/m³.
- **Le terme R2** : c'est l'abonnement ou part fixe. Il est proportionnel à la puissance souscrite et/ou à la surface chauffée ; R2 s'exprime en €/HT/kW_{souscrit}.an, ou en €/HT/m².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 R2 prend en compte la fourniture d'électricité (R21'), les charges d'exploitation (R22), le gros entretien et renouvellement (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** : de nombreux réseaux font payer une contribution supplémentaire, soit pour permettre à la collectivité de rembourser ses investissements dans le cas de l'un montage en affermage (surtaxe), soit pour l'amortissement de travaux (R2 et R3 en DSP). Ce terme peut s'exprimer en €/HT/kW ou même en €/HT en cas de montant forfaitaire.



1.1.1.2 Tarification de l'électricité

Les contrats de vente d'électricité, qu'il s'agisse de tarifs réglementés ou de 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 souscrite.
- **La part consommation** : c'est le terme proportionnel au volume de kWh livrés sur la période.

1.1.1.3 Tarification du gaz naturel

De même que pour l'électricité, les contrats de vente de gaz naturel en tarifs réglementés comme en 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.

1.1.2 Énergies 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.

1.2 Facture énergétique, facture globale et coût global : que compare-t-on ?

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 (exprimé en c€/kWh par exemple) 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.

<p>La facture d'énergie avec l'abonnement (part fixe) et le coût proportionnel aux consommations d'énergie (part variable).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ce sont le R1 et le R2 pour les réseaux de chaleur qui comprennent : <ul style="list-style-type: none"> ➤ la fourniture de chaleur au travers du R₁ (production, distribution, fourniture d'énergie) ; ➤ les charges d'électricité des auxiliaires : R₂₁ ; ➤ des charges de conduite et d'entretien des installations du réseau de chaleur (jusqu'à la sous-station en pied d'immeuble) : R₂₂ ; ➤ les charges de Gros Entretien et de Renouvellement des installations (jusqu'à la sous-station en pied d'immeuble) : R₂₃ ; ➤ les charges de financement des installations de premier établissement définies dans le contrat de DSP, déduction faite des aides et subventions obtenues : R₂₄. • 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	CHARGES LOCATIVES RECUPERABLES	FACTURE TOTALE	COUT GLOBAL DU CHAUFFAGE
<p>L'électricité annexe nécessaire au fonctionnement des installations de production (brûleur, pompes, etc.) et de distribution (pompes, régulation, etc.) pour acheminer la chaleur jusqu'aux émetteurs de chauffage du logement et l'eau chaude sanitaire jusqu'aux points de puisage. C'est le terme P'1.</p>				
<p>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.</p>				
<p>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.</p>				
<p>Les amortissements des installations de production de chaleur et de distribution de chaleur (dans l'immeuble ou le logement). C'est le terme P4. Le cas échéant viennent en déduction les subventions obtenues pour le financement des équipements.</p>				

Suivant le mode de chauffage, ces différents postes se répercutent différemment sur l'utilisateur final. Le tableau ci-après donne l'exemple de ces répartitions dans le cas d'un locataire (contrairement au locataire, le propriétaire occupant prend en charge le P3, le P4 étant compris à l'achat du logement).

Facture énergétique	Coût global
----------------------------	--------------------

Dépense	Chauffage individuel		Chauffage collectif		Chauffage collectif réseau de chaleur	
	Primaires	Secondaires	Primaires	Secondaires	Primaires	Secondaires
P1 – Energie	Gaz ou électricité + abonnement, bois, fioul,...		Gaz ou électricité + abonnement, bois, fioul,...		Chaleur	
P'1 : électricité chaudière et auxiliaires	Payé directement par le locataire (facture)		X	Payé dans les charges		X
P2 : conduite et entretien courant	X	X	X	X	X	X
P3 : Gros entretien et renouvellement	X	X	X	X	X	X
P4 : investissement initial	X	X	X	X	X	X
					Raccordement	X

Ces deux tableaux montrent bien qu'au final, **seul le calcul en coût global**, qui intègre les dépenses d'investissement, **reflète la dépense totale liée au chauffage supportée par l'utilisateur et permet donc des comparaisons entre modes de chauffage**. Pour plus de détail sur le sujet, se référer à la note *Compréhension de la chaîne de facturation du chauffage d'un logement raccordé à un réseau de chaleur : du délégataire à l'utilisateur final* (AMORCE réf. RCE11, Octobre 2012).

1.3 Hypothèses tarifaires servant à comparer les modes de chauffage

1.3.1 Réseaux de chaleur

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

	Puissance/lgt kW
Bâtiment moyen RT 2005	5,38
Bâtiment parc social moyen	7,00
Bâtiment peu performant	11,28

Les tarifs ci-dessous sont constitués à partir des données de l'enquête annuelle des réseaux de chaleur et de froid, menée par le SNCU avec l'assistance d'AMORCE et sous la maîtrise d'ouvrage du SDES.

Réseau de chaleur moyen :

Tarif binôme théorique construit à partir du prix moyen de la part variable R1 et de la part fixe moyenne R2 :

R1 : 40,0 €HT/MWh R2 : 37,0 €HT/kW

Ce tarif est représentatif de la moyenne des prix pratiqués par les réseaux de chaleur en France pour l'année 2016.

Réseau de chaleur alimenté majoritairement à partir de combustibles fossiles :

Tarif binôme théorique construit à partir du prix moyen de la part variable R1 et de la part fixe moyenne R2 des réseaux dont le taux d'EnR&R était inférieur à 50% en 2016 :

R1 : 37,5 €HT/MWh R2 : 42,3 €HT/kW

Réseau de chaleur alimenté majoritairement par des énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) :

Tarif binôme théorique construit à partir du prix moyen de la part variable R1 et de la part fixe moyenne R2 des réseaux dont le taux d'EnR&R était supérieur à 50% en 2016 :

R1 : 40,8 €HT/MWh R2 : 35,3 €HT/kW

Ce tarif est représentatif de la moyenne nationale des prix pratiqués par les réseaux de chaleur alimentés à plus de 50% par des EnR&R, pour l'année 2016. L'abonnement (R2) est plus faible que pour la moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur alors que la part consommation (R1) est légèrement plus forte. En effet la part R1 des réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies fossiles a profité des prix historiquement bas du gaz en 2016.

Pour l'année 2016, 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 EnR&R. Le taux à 20% est applicable sur la consommation (R1) des réseaux de chaleur qui ne sont pas alimentés à plus de 50% par des EnR&R. Dans le cas du réseau de chaleur moyen, le taux de TVA appliqué sur la consommation est un taux moyen de 8,2%¹.

¹ Ce taux est la moyenne des taux de TVA sur le R1, pondérée par les quantités de chaleur livrées. Ce taux était de 12,5% en 2015, 13,9% en 2014 et de 14,6% en 2013, ce qui traduit la mutation progressive des réseaux de chaleur français vers les énergies renouvelables et de récupération. Les années précédentes, le taux pris en compte était celui appliqué aux réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies fossiles, soit 20%.

1.3.2 Électricité

Chauffage électrique individuel :

Nous avons choisi de considérer les tarifs réglementés de vente (TRV) pour fixer le niveau des prix de l'électricité en chauffage individuel, car 85,8% des clients résidentiels ont pour l'instant conservé ces tarifs². A noter que les offres de marchés proposent des prix relativement proches des tarifs réglementés (dans une fourchette de +/- 5% en moyenne³).

Les tarifs présentés ci-dessous sont issus de la décision du 28 juillet 2016 relative aux tarifs réglementés de vente de l'électricité. Les tarifs pris en compte pour le chauffage électrique individuel sont les tarifs bleus. On calcule la part de l'abonnement imputable au chauffage et à l'ECS par différence entre le tarif bleu retenu pour le niveau de performance du bâtiment considéré (cf. tableau ci-dessous) et un tarif 6 kVA que souscritrait l'occupant du logement quel que soit son mode de chauffage.

Part abonnement – Tarifs bleu Option HC :

Puissance kVA	Abonnement €HT/an	CTA €HT/an	RT 2005	Parc social moyen	Peu Performant
15	163,68	33,91			X
12	142,32	28,65		X	
9	93,24	16,39	X		
6	80,64	13,47			

CTA (Contribution tarifaire d'acheminement) : 27,04 % de la part fixe du TURPE⁴

Le taux de TVA applicable aux abonnements relatif à la livraison d'électricité d'une puissance inférieure ou égale à 36kVA, ainsi qu'à la CTA, est de 5,5%⁵.

Part consommation :

Tarif bleu : Option Heures Pleines / Heures Creuses

Conso HP : 9,79 c€HT/kWh (80% de la consommation pour le chauffage et 0% de la consommation pour l'ECS)

Conso HC : 7,38 c€HT/kWh (20% de la consommation pour le chauffage et 100% de la consommation pour l'ECS)

CSPE (Contribution au service public de l'électricité) : 22,5 €HT/MWh

TCFE (Taxe sur la consommation finale d'électricité) : 9,6 €HT/MWh (fixée par défaut au niveau communal et départemental maximum)

Pour l'année 2016, le taux de TVA applicable pour la consommation d'électricité (y compris CSPE et TCFE) est de 20%.

² Source CRE – Bilan du marché de l'électricité au 31 décembre 2016 : <http://www.cre.fr/marches/marche-de-detail/marche-de-l-electricite>

³<http://comparateur-offres.energie-info.fr/comparateur-offres-electricite-gaz-naturel/criteria.action?profil=particulier>

⁴ TURPE : Tarif d'Utilisation du Réseau Public de distribution d'Electricité

⁵ Source : B de l'article 278-0 bis du Code Général des Impôts

Chauffage électrique collectif :

Du fait de la disparition des tarifs jaunes au 31 décembre 2015, les tarifs pris en compte pour le chauffage électrique collectif (cas d'une PAC géothermique) sont les tarifs de marché en équivalent tarif jaune, constatés par le courtier en énergie Opéra Énergie.

Part abonnement – offre de marché :

	Puissance/lgt kVA ⁶	Prime fixe annuelle €HTVA/kVA
Bâtiment moyen RT 2005	3,60	26,95
Bâtiment parc social moyen	4,68	23,99
Bâtiment peu performant	7,52	20,65

Les tarifs indiqués ci-dessus intègrent la CTA, et sont soumis au taux de TVA à 20%.

Part consommation – offre de marché :

Tarifs : C4 (équivalent ancien tarif jaune) option base utilisation moyenne

	c€HTVA/kWh	%chauffage	%ECS
Tarif HP été	9,23	16%	41%
Tarif HC été	7,31	4%	14%
Tarif HP hiver	12,73	64%	34%
Tarif HC hiver	9,97	16%	11%

Les tarifs indiqués ci-dessus intègrent les taxes suivantes :

CSPE (Contribution au service public de l'électricité) : 22,5 €HT/MWh

TCFE (Taxe sur la consommation finale d'électricité) : 9,6 €HT/MWh (fixée par défaut au niveau communal et départemental maximum)

Pour l'année 2016, le taux de TVA applicable pour la tarification de l'électricité (abonnement et consommation) est de 20%.

⁶ Les puissances souscrites au logement pour les PAC géothermiques sont environ 2/3 inférieures aux puissances souscrites pour les réseaux de chaleur.

1.3.3 Gaz naturel

Chauffage individuel gaz naturel :

Nous avons choisi de considérer les tarifs réglementés de vente (TRV) pour fixer le niveau des prix du gaz naturel de la solution de chauffage individuel au gaz car 53% des clients résidentiels ont pour l'instant conservé ces tarifs⁷. 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).

Les tarifs présentés ci-dessous sont issus des arrêtés du 24 juin 2015 et du 29 juin 2016, tout deux relatifs aux tarifs réglementés de vente de gaz naturel, en prenant en compte les évolutions tarifaires mensuelles entre chaque arrêté. Les tarifs en vigueur ont été pondérés par la consommation mensuelle moyenne du mois correspondant. Le prix moyen du gaz en utilisation chauffage est composé de 76% du tarif hiver et 24% du tarif été.

Part abonnement – Tarif B1 :

	Abo €HT/an	CTA €HT/an	RT 2005	Parc social moyen	Peu performant
Tarif B1	186,06	30	X	X	X

CTA (Contribution tarifaire d'acheminement) : 20,8% de la part fixe du tarif de distribution, soit 30 €HT/an pour le tarif B1⁸.

Le taux de TVA applicable aux abonnements relatif à la livraison de gaz naturel distribué par réseau, ainsi qu'à la Contribution Tarifaire d'Acheminement, est de 5,5%⁹.

Part consommation :

Tarifs B1 :

	c€HT/kWh PCS
Tarif B1	3,727 c€ chauffage
	3,61 c€ ECS

TICGN¹⁰ (Taxe intérieure sur la consommation de gaz naturel) : 4,34 €HT/MWh PCS

Pour l'année 2016, le taux de TVA est de 20% pour la consommation et la TICGN. A noter que depuis le 1^{er} janvier 2016, la CTSS et la contribution biométhane sont intégrées à la TICGN.

⁷ Source CRE – Bilan du marché du gaz au 31 décembre 2016 : <http://www.cre.fr/marches/marche-de-detail/marche-du-gaz>

⁸ Valeurs moyennes issues de l'observation.

⁹ Source : B de l'article 278-0 bis du Code Général des Impôts

¹⁰ La TICGN a été étendue aux consommations domestiques en avril 2014. La TICGN tend à être fortement impactée à la hausse par l'augmentation de la contribution climat énergie, introduite en loi de finances 2014, renforcée par la loi relative à la transition énergétique, et plus récemment par la loi de finances pour 2018 (cf. partie 4.2).

Chauffage collectif gaz naturel :

Les tarifs réglementés B2S, qui étaient pris en compte jusqu'alors pour le chauffage collectif au gaz naturel, ont été supprimés fin 2014. Pour cette enquête nous prenons en compte les prix de marché constatés par le courtier en énergie Opéra Énergie, pour des niveaux de consommation équivalents à l'ancien tarif B2S.

Part abonnement – offre de marché :

	Parc social moyen	RT 2005	Peu performant
Tarif en €TTC/an	997,34	754,27	2 168,62

Ces montants intègrent l'ensemble des taxes, y compris la TVA applicable à un taux de 5,5%.

Part consommation – offre de marché :

	Tarif €TTC/kWhPCS	RT 2005	Parc social moyen	Peu performant
Tarifs	4,653	X	X	
	4,025			X

Là aussi les tarifs intègrent l'ensemble des taxes, dont la TVA applicable à un taux de 20%.

1.3.4 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 2016 pour des livraisons de plus de 27 000 litres figurant sur le site du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES)¹¹.

	€HT/kWh PCI
Prix du fioul	3,81

TICPE (Taxe intérieure sur les produits énergétiques) : 9,63 €/hl

Pour l'année 2016, le taux de TVA applicable pour la tarification du fioul est de 20% sur la partie combustible et sur la taxe intérieure sur les produits énergétiques (TICPE).

¹¹ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prix-des-produits-petroliers-1>

1.4 Les modes de chauffage comparés

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 suivantes 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 options qui s'offrent au maître d'ouvrage sont sensiblement différentes (cf. partie 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 chaudière individuelle au gaz naturel et chaudière collective au gaz naturel sans condensation ne sont plus étudiées dans le cadre de cette 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 une solution avec condensation et une solution sans condensation est de l'ordre de 10% en individuel et 5% en collectif. 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/eau par appartement (avec ECS sur ballon à accumulation).
- **PAC coll géo** : pompe à chaleur collective géothermique eau/eau (avec production d'ECS instantanée).

Le chauffage sur réseaux de chaleur¹² :

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

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

- **RC moyen** : moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur ;
- **RC > 50% EnR&R** : moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des EnR&R ;
- **RC < 50% EnR&R** : moyenne de l'ensemble des réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies fossiles.

¹²Nous avons établi deux listes de réseaux de chaleur. La 1^{ère} présente des mix énergétiques représentatifs de certaines catégories de réseaux afin de pouvoir établir des comparaisons environnementales. La 2^{ème} liste présente des distinctions selon la contribution des EnR&R au mix énergétique global auquel nous avons associé le prix moyen de vente de chaleur correspondant en prenant en compte l'application ou non de la TVA réduite sur la fourniture de chaleur.

1.5 Les caractéristiques du logement type

Le logement-type considéré est un appartement de 70 m² dans un immeuble de 25 logements, avec 3 niveaux de consommation :

	Niveau de consommation de référence	Comprend	Conso utile chauffage + ECS kWh _{utile} /m ² .an
Bâtiment RT 2005	120 kWh « primaire » / m ² .an	Ch + ECS	96
Bâtiment parc social moyen	170 kWh « finale » / m ² .an	Ch + ECS	136
Bâtiment peu performant	300 kWh « finale » / m ² .an	Ch + ECS	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'utilisateur final est ensuite **identique quel que soit le mode de chauffage retenu**.

La comparaison proposée se base à « enveloppe » bâtementaire constante, à l'exception des bâtiments neufs soumis à la RT 2012. Ces derniers font l'objet d'une analyse spécifique car les exigences de la RT 2012 font que selon le système de chauffage retenu, l'enveloppe thermique doit atteindre un niveau de performance plus ou moins avancé. Cette méthode nous place du point de vue du maître d'ouvrage d'un bâtiment qui regarde les coûts ou surcoûts des différentes solutions (cf. partie 3).

1.6 Méthodes et critères de comparaison

La comparaison des modes de chauffage est effectuée pour les critères suivants :

Critère	Indicateur	Unité
Economique	Coût global du chauffage et de la production d'eau chaude	€TTC/logement.an
Energétique	Consommation Energie primaire	kWhE _p /kWhE _u
Effet de serre	Emissions de gaz à effet de serre	kgCO ₂ /kWh

1.6.1 Comparaison économique

La comparaison économique est construite à partir des hypothèses détaillées en annexe. La méthode consiste, pour chacun des 3 niveaux de consommation considérés, à calculer les différents éléments constituant le coût global du chauffage et de la production d'eau chaude sanitaire.

- **Etape 1 : Facture énergétique** : le poste « achat d'énergie » P1 (ou R1+R2 pour les réseaux de chaleur) est déterminé à partir du calcul des abonnements nécessaires aux différentes énergies (électricité, gaz, réseau de chaleur) et des consommations.
- **Etape 2 : Dépenses de fonctionnement (sur le 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, du compteur aux corps de chauffe (cf. annexe 1).
- **Etape 3 : Calcul de la facture totale annuelle (facture énergétique + dépenses de fonctionnement).**
- **Etape 4 : Évaluation des investissements et de l'amortissement (P4)** pour les équipements de production et de distribution internes 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'utilisateur** et on calcule, à partir de ses besoins énergétiques, le coût global annuel de son poste énergie (chauffage + ECS).

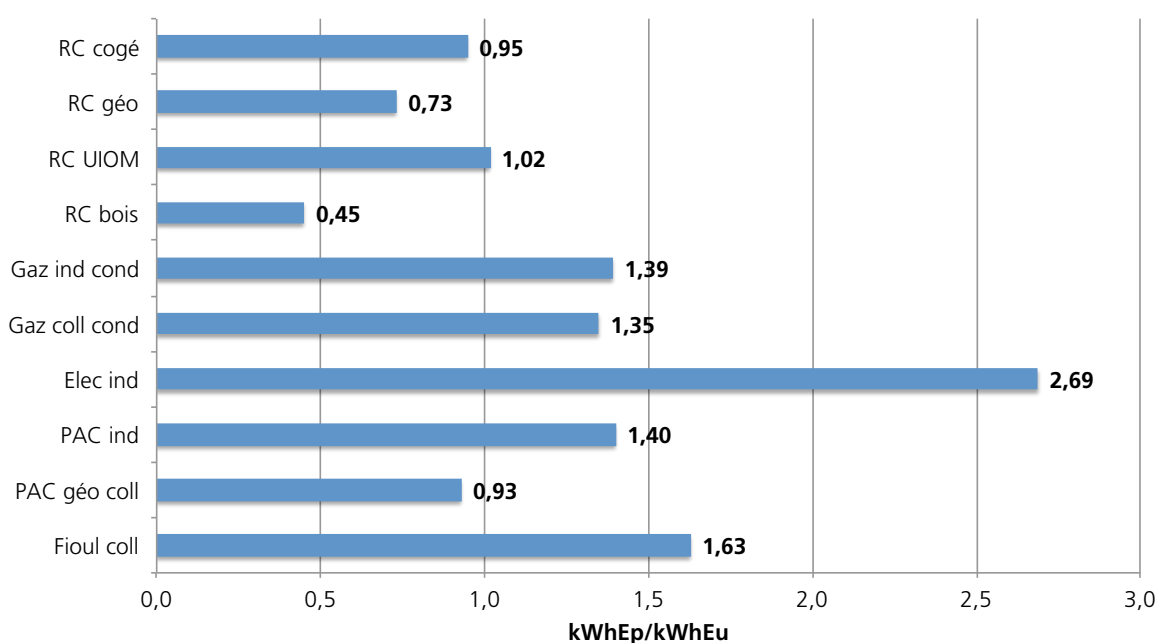
1.6.2 Comparaison énergétique

La comparaison énergétique est effectuée 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 de l'émetteur de chaleur 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 2,58¹³). Pour les énergies fossiles, un coefficient d'énergie primaire de 1,1 a été retenu¹⁴.

Pour les différents modes de chauffage, les facteurs de ressource primaire sont ainsi les suivants¹⁵ :

Facteur de ressource primaire du poste chauffage par mode de chauffage



Cette analyse montre que les 4 types de réseau de chaleur, que nous avons retenus pour leur représentativité du mix énergétique des réseaux de chaleur, sont les moyens de chauffage les plus économes en énergie primaire non renouvelable. La solution pompe à chaleur géothermique en chauffage collectif est également avantageuse, à condition d'atteindre un COP moyen annuel de 4,2 tel que nous l'avons considéré 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 3,13 pour l'électricité, plus cohérent que le 2,58 au regard du bilan énergétique de la France pour 2015 publié par le SDES¹⁶, l'écart avec la PAC grandit en faveur des réseaux de chaleur utilisant des EnR&R.

¹³ ADEME : Méthode RT 2005 et outil 3CL pour le calcul des DPE.

¹⁴ 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.

¹⁵ Ici, il s'agit bien des facteurs de ressource primaire des modes de chauffage, prenant en compte le rendement global des installations et la consommation des auxiliaires, et non de la source d'énergie.

¹⁶ Consommation d'électricité primaire / consommation d'électricité finale en 2015 (Mtep) : 116,6 / 37,2 = 3,13

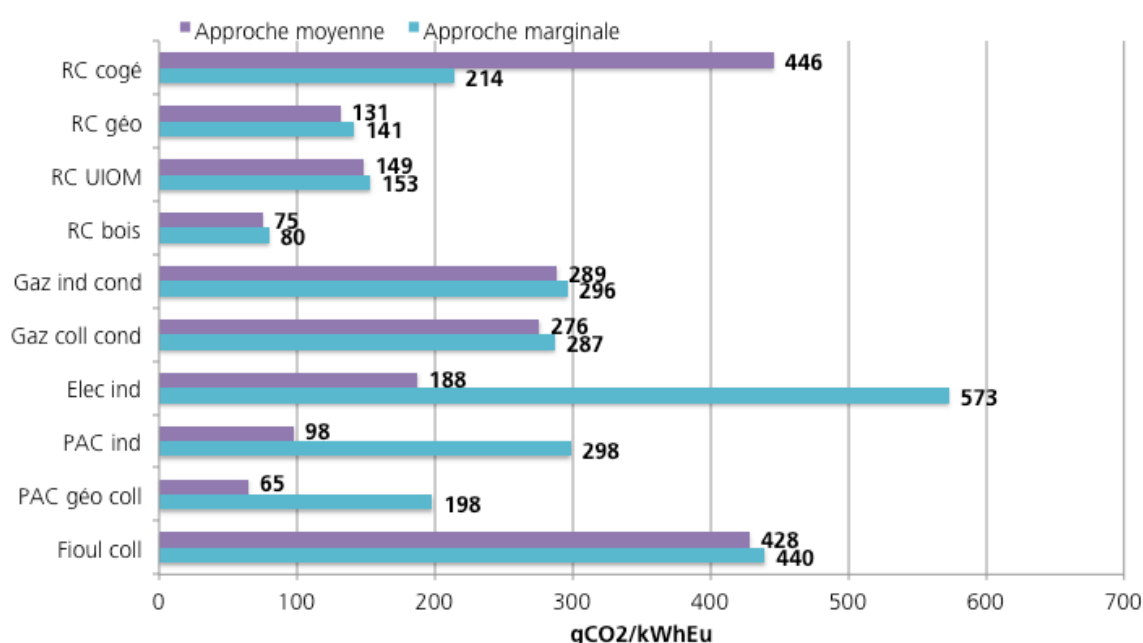
1.6.3 Comparaison en termes de gaz à effet de serre

Les facteurs d'émission de gaz à effet de serre (GES) retenus sont ceux définis dans l'annexe 4 de l'arrêté du 15 septembre 2006 relatif au diagnostic DPE et dans une étude RTE/ADEME.

	Facteur d'émission amont gCO ₂ /kWh PCI ou élec	
Fioul domestique	300	
Gaz naturel	234	
Electricité (chauffage, auxiliaires de chauffage) ¹⁷	180 (approche moyenne)	550 (approche marginale)
Electricité de base (ECS en heures creuses) ¹⁸	40	
Chaleur UIOM (chaleur fatale)	4	
Plaquettes forestières	13	
Sciures et écorces ¹⁹	4	
Biomasse (moyenne plaquettes et sciures)	8	

Ainsi, les facteurs d'émission de GES pour chacun des modes de chauffage sont les suivants :

Facteur d'émission de GES du poste chauffage par mode de chauffage



Les émissions de GES des modes de chauffage utilisant l'électricité (électrique individuel et PAC collectif) diffèrent selon que l'on prenne une approche moyenne ou marginale du contenu CO₂ de l'électricité :

- L'approche moyenne, en violet, revient à prendre en compte le contenu CO₂ moyen du parc électrique français ;
- L'approche marginale, en bleu, revient quant à elle à prendre en compte le contenu CO₂ des unités de production qui vont répondre à la demande supplémentaire d'électricité lorsque le besoin de chauffage est le plus important, soit généralement des centrales à combustible fossile fortement émettrices.

¹⁷ Etude RTE / ADEME sur le contenu en CO₂ du kWh électrique (2007) ; à gauche l'approche moyenne, à droite la valeur marginale.

¹⁸ Valeur hors période de pointe (retenue pour l'ECS produite en heures creuses).

¹⁹ Etude ADEME / Bio Intelligence Service (2005). Pour la biomasse, le facteur d'émission retenu est celui associé à la plaquette forestière (0,013 kg CO₂/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 autres modes de chauffage sont moins affectés car ce choix n'influe que les émissions associées à la consommation d'électricité des auxiliaires (pompes, etc.). Les réseaux de chaleur bois, géothermie et UIOM sont faiblement émetteurs de GES. Pour ceux qui ont une cogénération gaz naturel, les émissions dépendent de la valorisation de l'énergie injectée sur le réseau électrique : la cogénération gaz naturel est plus pertinente d'un point de vue environnemental lorsqu'elle vient soutenir le réseau électrique en période de chauffage, qu'en dehors de cette période.

2 COMPARAISON DES MODES DE CHAUFFAGE POUR LES BATIMENTS EXISTANTS

Cette partie s'intéresse au coût global les principaux modes de chauffage, calculé pour 3 types de bâtiments existants correspondant à 3 niveaux de consommation (chauffage + eau chaude sanitaire) :

- bâtiment RT 2005 (120 kWh/m².an) ;
- bâtiment parc social moyen (170 kWh/m².an) ;
- bâtiment peu performant (300 kWh/m².an).

Le cas des bâtiments RT 2012 est traité dans la partie 3 du présent rapport.

2.1 Comparaison économique

Comment lire les graphiques et tableaux des 3 paragraphes suivants ?

Le 1^{er} graphique : Décomposition du coût global chauffage + ECS

- Pour chacun des modes de chauffage, les dépenses afférentes à chaque poste de coût 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) sur la deuxième ligne du tableau. Ces indicateurs font référence aux 5 classes de prix observées sur les réseaux de chaleur (cf. publication RCE28 – Enquête sur le prix de vente de la chaleur en 2016) :
 - **Prix de vente moyen de la chaleur en 2016 : 67,9 €HT/MWh**
 - **Classe I** : moins de 47,5 €HT/MWh (< d'au moins 30% au prix moyen)
 - **Classe II** : de 47,5 à 61,1 €HT/MWh (-30 à -10% par rapport au prix moyen)
 - **Classe III** : de 61,1 à 74,7€HT/MWh (-10 à +10% par rapport au prix moyen)
 - **Classe IV** : de 74,7 à 88,3 €HT/MWh (+10 à +30% par rapport au prix moyen)
 - **Classe V** : plus de 88,3 €HT/MWh (> d'au moins 30% au prix moyen)

Le 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 1.2

Le 2^{ème} graphique : 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).

A noter que les différents graphiques résultent d'**hypothèses moyennes**. Afin d'adapter ces hypothèses aux réalités d'un territoire donné²⁰, AMORCE a développé un outil Excel paramétrable où toutes les hypothèses de calcul sont ouvertes et modifiables (cf. publication AMORCE réf. RCE21 – **Outil de calcul paramétrable du coût global du chauffage**, Juillet 2014).

²⁰ Par exemple, le prix de référence pour une solution gaz naturel peut être moins cher lors d'achats groupés sur un parc de bâtiments collectifs.

Aperçu de l'onglet permettant de paramétrer les hypothèses de calcul selon les données propres à un projet :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															

TARIFICATION chauffage fioul collectif

Consommation P1

Prix du fioul €HT/l (0,6149 par défaut*)

€HT/l €TTC/l

TIPCE €HT/kl (7,64 par défaut**)

TVA (20% par défaut)

1l de fioul = kWh PCI (9,96 par défaut)

Prix du fioul : 8,329 c€TTC/kWh

Rendement pour le chauffage

Régulation (92% par défaut)

Distribution (94% par défaut)

Production (82% par défaut)

Rendement global : 71%

Rendement pour l'ECS (production instantanée)

Stockage (100% par défaut)

Distribution (94% par défaut)

Production (74,5% par défaut)

Rendement global : 70%

Valeurs par défaut

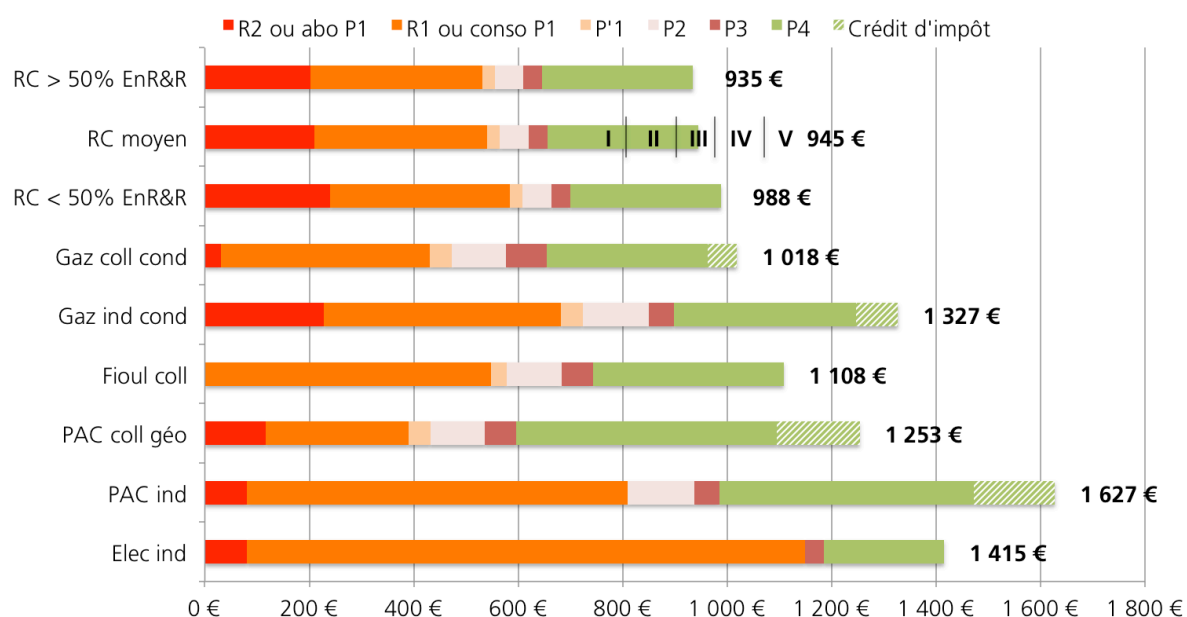
* Prix moyen du fioul domestique sur 2014 (livraisons de plus de 27 000 litres)
Source : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Prix-de-vente-moyens-des_10724.html
** Tarif en vigueur pour l'année 2015

P1 - P2 - P3 - P4		
P1 :	<input type="text" value="21"/> €HT/igt.an	(21 par défaut)
TVA sur P1 :	<input type="text" value="20,0%"/>	(20% par défaut)
P1 :	25 €TTC/igt.an	(80 par défaut)
P2 :	<input type="text" value="80"/> €HT/igt.an	(80 par défaut)
TVA sur P2 :	<input type="text" value="5,5%"/>	(5,5% par défaut)
P2 :	84 €TTC/igt.an	
P3 :	<input type="text" value="38"/> €HT/igt.an	(38 par défaut)
TVA sur P3 :	<input type="text" value="8,4%"/>	(8,4% par défaut)
P3 :	41 €TTC/igt.an	
Subvention matériel :	<input type="text" value="0%"/>	(0% par défaut)
Investissement prod :	<input type="text" value="2000"/> €TTC/igt	(2000 par défaut)
Investissement distrib :	<input type="text" value="1500"/> €TTC/igt	(1500 par défaut)
Main d'oeuvre :	<input type="text" value="1500"/> €TTC/igt	(1500 par défaut)
Investissement total :	<input type="text" value="5000"/> €TTC/igt	
MO dont % prod :	<input type="text" value="25%"/>	(25% par défaut)
MO dont % distrib :	<input type="text" value="75%"/>	(75% par défaut)
Durée de vie prod :	<input type="text" value="22"/> ans	(22 par défaut)
Durée de vie distrib :	<input type="text" value="40"/> ans	(40 par défaut)
Taux d'amortissement :	<input type="text" value="4%"/>	(4% par défaut)
P4 avec subvention :	297 €TTC/igt.an	
P4 sans subvention :	297 €TTC/igt.an	

2.1.1 Bâtiment RT 2005 – 120 kWh/m².an

Ce niveau de consommation correspond au niveau des bâtiments récents soumis à la RT 2005.

Décomposition du coût global chauffage & ECS en 2016 (€TTC/lgt par an)
Bâtiment RT 2005 - 120 kWh/m² par an - Analyse : AMORCE



Les réseaux de chaleur alimentés majoritairement par des EnR&R constituent en moyenne la solution la plus compétitive en coût global pour ces bâtiments classés C dans le DPE. En prenant en compte le crédit d'impôt dont peuvent bénéficier les chaudières gaz à condensation²¹ (en retranchant la part en violet), la solution de chauffage collectif au gaz naturel à condensation devient aussi compétitive que le cas « réseau de chaleur moyen ».

Les solutions de chauffage individuel, qu'elles soient au gaz naturel ou électriques, font clairement partie des modes de chauffage les plus chers. Le chauffage électrique à effet Joule n'est pas la solution la plus chère en coût global mais présente de loin la facture énergétique la plus élevée.

Malgré le crédit d'impôt dont elle bénéficie, la pompe à chaleur individuelle est la solution la plus chère en coût global, l'amortissement de l'installation pesant beaucoup à ce niveau de consommation. Toutefois il convient de nuancer ce résultat en gardant en tête le fait que la facture énergétique dépend de la technologie utilisée (PAC air/eau dans le cas présent) et de son COP²² saisonnier. C'est en ce sens que la réalisation d'une étude de faisabilité permet de définir les solutions les plus adaptées techniquement et économiquement viables.

Les réseaux de chaleur dont le prix de vente est inférieur à la moyenne nationale se révèlent ici comme étant les modes de chauffage les plus compétitifs.

Ceux dont le prix de vente est supérieur d'au moins +10% à la moyenne sont à peu près au niveau des solutions gaz collectif à condensation et fioul collectif.

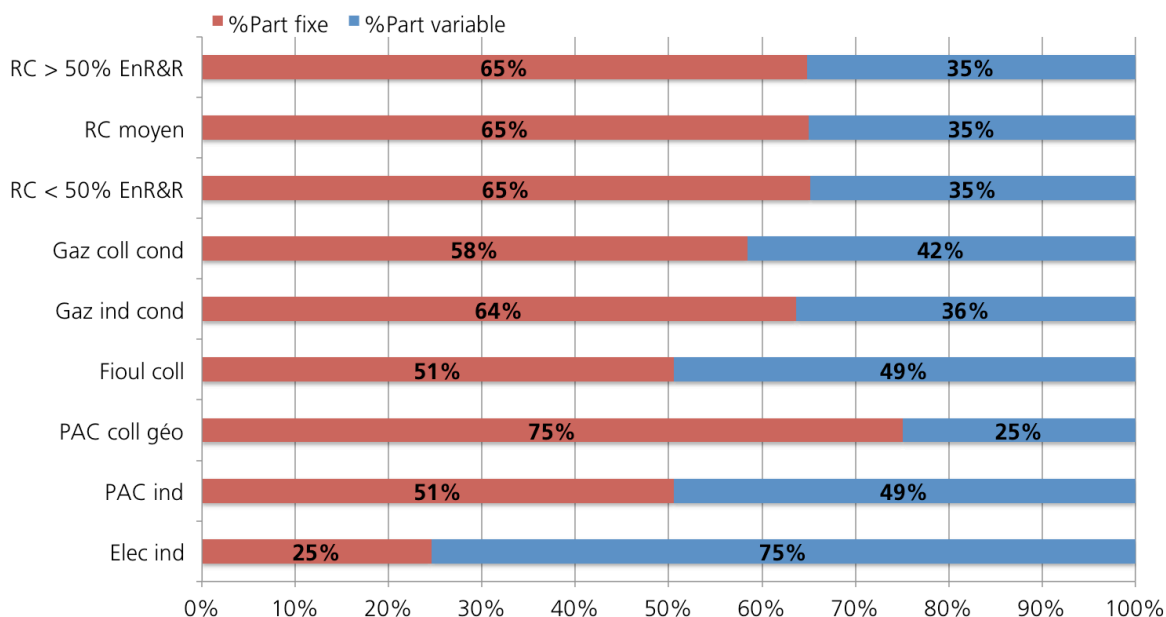
²¹ Un amendement adopté dans le projet de loi de finance pour 2018, étend le crédit d'impôt aux frais de raccordement pour la part acquisition d'équipement de raccordement à un réseau de chaleur majoritairement alimenté par des EnR&R et cogénération. Celui-ci devrait permettre au CITE d'être plus facilement utilisé pour le raccordement d'un bâtiment à un réseau de chaleur. Mais les retours de terrain montrent qu'il était très peu utilisé jusqu'en 2017, c'est pourquoi il n'a pas été pris en considération pour la configuration réseau de chaleur.

²² Coefficient de Performance

	Facture énergétique (€TTC/lgt par an)	Charges locatives récupérables (€TTC/lgt par an)	Facture totale (€TTC/lgt par an)	Coût global annuel sans subvention (€TTC/lgt par an)
RC > 50% EnR&R	531 €	610 €	646 €	935 €
RC moyen	541 €	620 €	656 €	945 €
RC < 50% EnR&R	584 €	663 €	699 €	988 €
Gaz coll cond	430 €	577 €	655 €	1 018 €
Gaz ind cond	681 €	849 €	897 €	1 327 €
Elec ind	1 149€	1 149 €	1 185 €	1 108 €
PAC ind	810 €	936 €	984 €	1 627 €
PAC coll géo	389 €	536 €	596 €	1 253 €
Fioul coll	548 €	683 €	743 €	1 415 €

Nota : les charges locatives récupérables, dans la configuration réseau de chaleur, comprennent ici, comme bien souvent dans la pratique, la globalité de l'abonnement R2. Le gros entretien renouvellement (R23), et l'amortissement des investissements (R24) dans le réseau primaire y est donc intégré, ce qui n'est pas le cas des autres modes de chauffage où seules les dépenses d'entretien et maintenance sont récupérables via les charges. AMORCE étudiera dès 2018 les solutions visant à rétablir l'équilibre entre les modes de chauffage pour les usagers finaux (ex : détail systématique des composantes du R2 dans les factures).

Part variables et fixes du coût global par mode de chauffage en 2016
Bâtiment RT 2005 - 120 kWh/m² par an - Analyse AMORCE



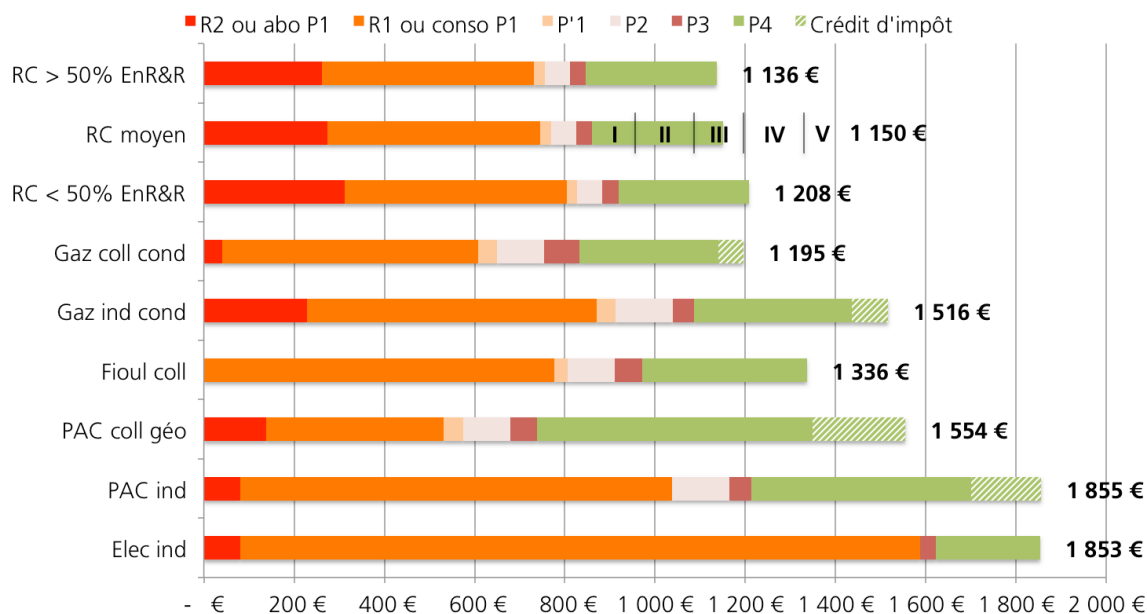
La part fixe²³ du coût global est assez élevée pour ce niveau de consommation pour la plupart des modes de chauffage, dont les réseaux de chaleur. Pour ces derniers, la part fixe varie surtout selon la source d'énergie majoritaire utilisée, voire selon la taille du réseau (cf. publication AMORCE réf. RCE28). La solution chauffage électrique à effet Joule présente la part fixe la moins élevée mais possède le prix de vente au kWh le plus élevé. A noter que si une part variable élevée apporte un signal intéressant d'incitation à la maîtrise de l'énergie, elle rend le consommateur plus vulnérable aux augmentations du prix des énergies.

²³ Comprend l'abonnement, P'1, P2, P3 et P4 – après déduction du crédit d'impôt. A noter que la partie du P'1 relative à la consommation d'électricité pourrait être comptée dans la part variable car il est possible d'optimiser le fonctionnement des circulateurs. Le montant correspondant ramené au logement étant minime, nous avons compté l'intégralité du P'1 dans la part fixe.

2.1.2 Parc social moyen – 170 kWh/m².an

Le niveau de performance *parc social moyen* correspond à la consommation moyenne du parc de logements collectifs (public et privé)²⁴.

Décomposition du coût global chauffage & ECS en 2016 (€TTC/lgt par an)
Bâtiment parc social moyen - 170 kWh/m² par an - Analyse : AMORCE



Les réseaux de chaleur alimentés majoritairement par des EnR&R constituent en moyenne la solution la plus compétitive en coût global pour les bâtiments représentatifs du *parc social moyen*, au coude à coude avec la solution chauffage collectif au gaz naturel à condensation si celle-ci bénéficie du crédit d'impôt. S'en suivent les réseaux de chaleur « moyens » puis ceux alimentés majoritairement par des énergies fossiles. La baisse du prix des énergies fossiles se fait particulièrement ressentir sur les solutions gaz et fioul collectif, cette dernière devenant plus compétitive que la solution PAC géothermique collective malgré le bénéfice du CITE.

La solution chauffage individuel au gaz naturel à condensation reste parmi les modes de chauffage les plus chers, au même titre que les solutions électriques. En effet, du fait des consommations plus élevées sur ce type de bâtiment que sur le bâtiment *RT 2005*, le chauffage électrique à effet Joule rattrape la solution PAC individuelle et devient la solution la plus chère en coût global, sa facture énergétique étant de loin la plus élevée.

La PAC collective géothermique présente la facture énergétique la plus faible, mais l'amortissement pèse sur l'analyse en coût global²⁵. Les aides du crédit d'impôt permettent tout de même de diminuer le coût global de près de 200€, remontant ainsi la solution dans le classement.

Les réseaux de chaleur dont le prix de vente est le plus bas (classes I et II) constituent le système énergétique le plus économique. Ceux dont le prix de vente est supérieur d'au moins 30% à la moyenne nationale (classe V) peuvent se montrer plus chers que des solutions fioul collectif.

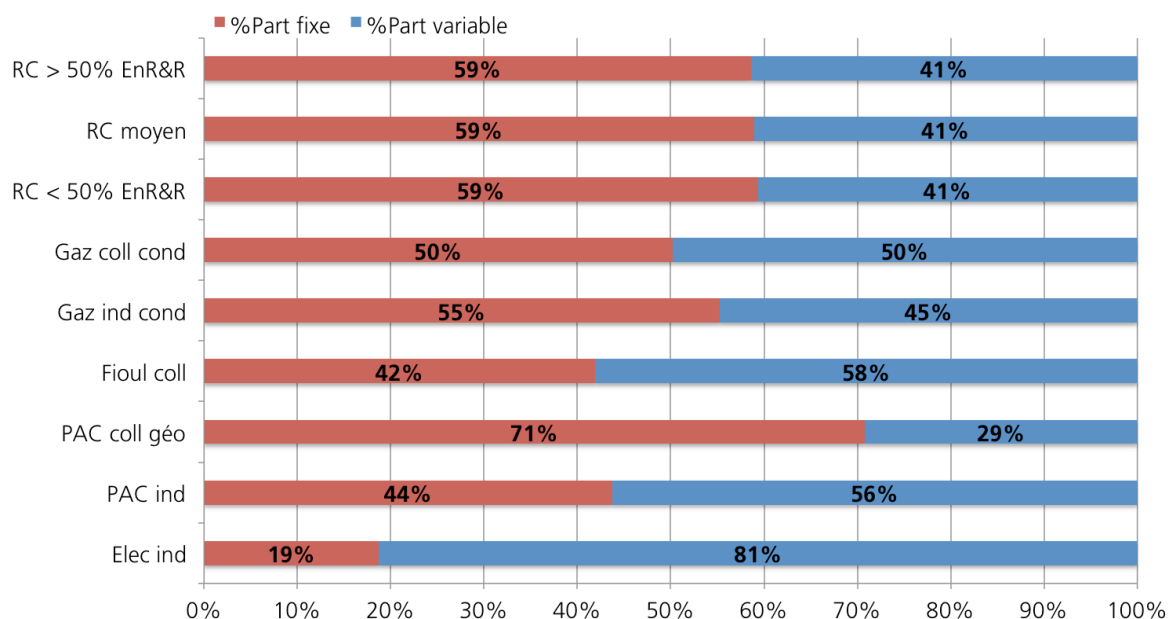
²⁴ Source : ENERTER – Energie demain.

²⁵ 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/lgt par an)	Charges locatives récupérables (€TTC/lgt par an)	Facture totale (€TTC/lgt par an)	Coût global annuel sans subvention (€TTC/lgt par an)
RC > 50% EnR&R	732 €	811 €	847 €	1 136 €
RC moyen	746 €	825 €	861 €	1 150 €
RC < 50% EnR&R	804 €	883 €	919 €	1 208 €
Gaz coll cond	608 €	754 €	832 €	1 195 €
Gaz ind cond	870 €	1 039 €	1 087 €	1 516 €
Elec ind	1 587 €	1 587 €	1 623 €	1 853 €
PAC ind	1 038 €	1 164 €	1 212 €	1 855 €
PAC coll géo	532 €	678 €	738 €	1 554 €
Fioul coll	776 €	911 €	971 €	1 336 €

Rappel : les charges locatives récupérables, dans la configuration réseau de chaleur, comprennent ici, comme bien souvent dans la pratique, la globalité de l'abonnement R2. Le gros entretien renouvellement (R23), et l'amortissement des investissements (R24) dans le réseau primaire y est donc intégré, ce qui n'est pas le cas des autres modes de chauffage où seules les dépenses d'entretien et maintenance sont récupérables via les charges. AMORCE étudiera dès 2018 les solutions visant à rétablir l'équilibre entre les modes de chauffage pour les usagers finaux (ex : détail systématique des composantes du R2 dans les factures).

Part variables et fixes du coût global par mode de chauffage en 2016 Bâtiment parc social moyen - 170 kWh/m² par an - Analyse AMORCE

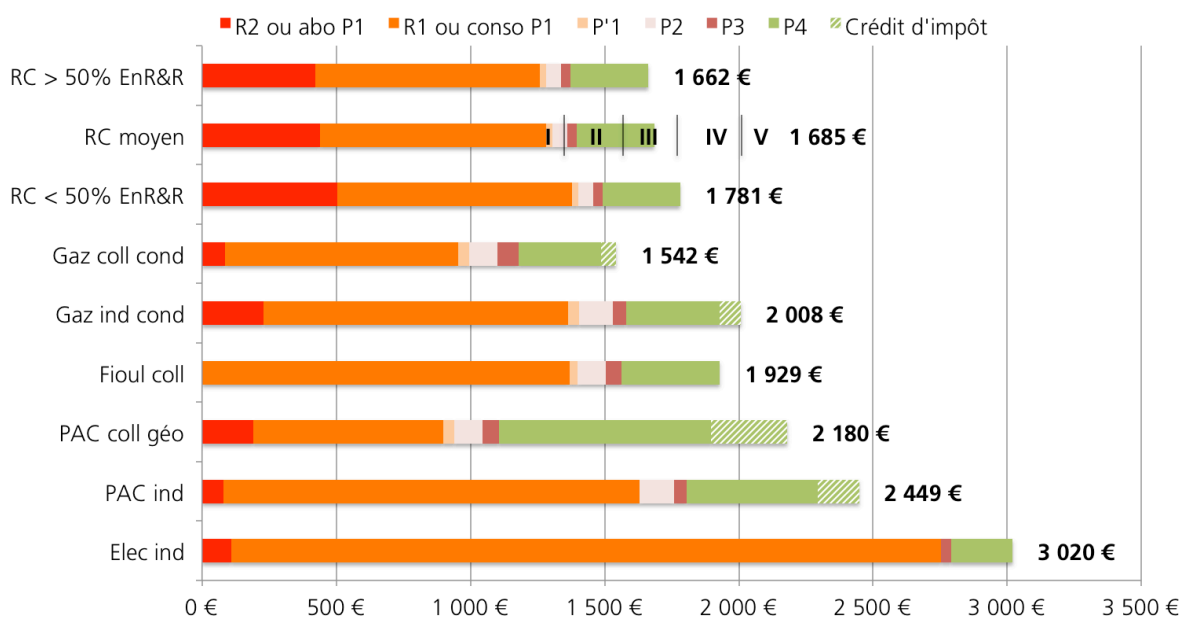


La part fixe est logiquement en diminution pour le logement *parc social moyen* par rapport au cas d'un logement *RT 2005* car les consommations – variables – sont plus élevées. Mais l'ordre entre les solutions analysées reste inchangé. Seules les solutions fioul collectif, PAC individuelle et électrique individuel, sont à moins de 50% de part fixe dans le coût global.

2.1.3 Bâtiment peu performant – 300 kWh/m².an

Ce niveau de consommation se situe au dessus de la moyenne 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 coût en valeur absolue entre les modes de chauffage sont encore plus prononcés que dans les deux cas précédents.

Décomposition du coût global chauffage & ECS en 2016 (€TTC/lgt par an)
Bâtiment peu performant - 300 kWh/m² par an - Analyse : AMORCE



Sur ces niveaux de consommation élevés, la solution chauffage collectif au gaz naturel à condensation passe devant les réseaux de chaleur et devient en moyenne la solution la plus compétitive. Ce résultat s'explique essentiellement par un prix du gaz plus faible pour des bâtiments de ce type, dont le niveau de consommation annuel est beaucoup plus élevé que pour les autres configurations.

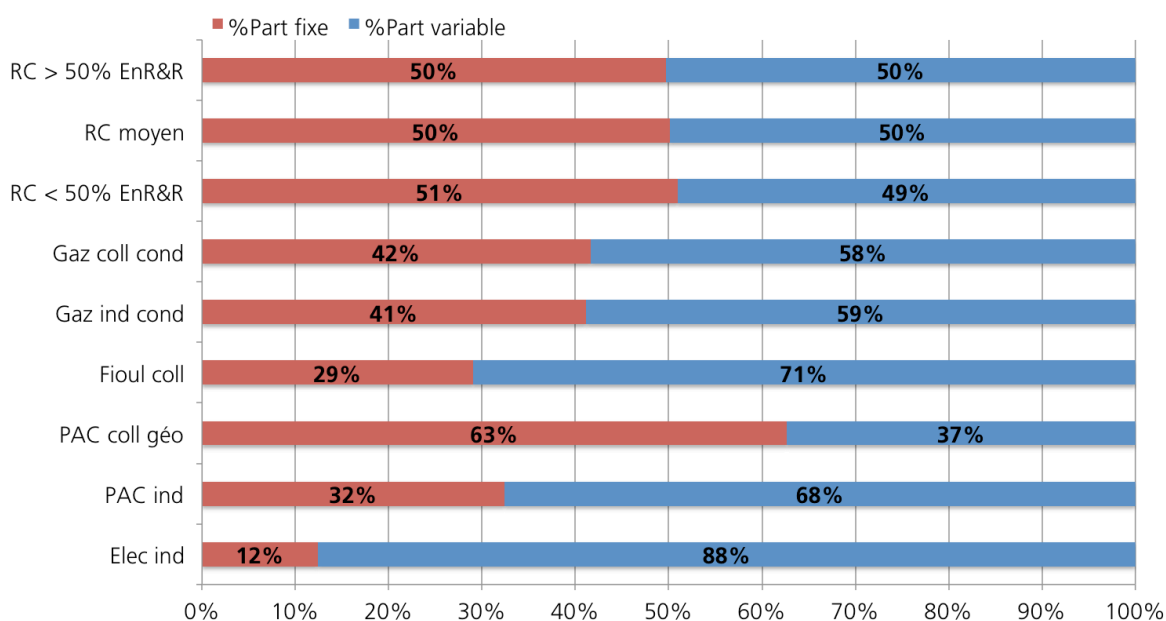
La solution chauffage électrique à effet Joule creuse encore son écart avec les autres modes de chauffage, la facture énergétique pesant de plus en plus lourd. A noter que dans l'enquête comparative des modes de chauffage en 2013 (cf. publication AMORCE réf. RCE23), la solution au fioul était quasiment au même niveau que la solution chauffage électrique à effet Joule, ce qui n'est plus du tout le cas en 2016. Le prix du fioul a en effet fortement diminué, face à un prix de l'électricité qui a plutôt augmenté : sur ces niveaux de consommation, l'impact est très significatif (écart de plus de 1 000€ entre ces deux solutions, contre seulement 200€ en 2013). Cet exemple illustre bien les précautions à prendre lorsque l'on fait un choix à une année donnée sur les hypothèses d'évolution du prix des énergies pour les 20 ans à venir (cf. partie 4.2).

Les réseaux de chaleur dont le prix de vente est le plus bas (classes I et II) constituent le système énergétique le plus économique, avec le chauffage collectif au gaz. Les moins performants (classe V) peuvent au contraire figurer parmi les systèmes les plus chers, dans cette étude.

Dans les faits, des réseaux de chaleur avec un prix de vente élevé peuvent se montrer tout à fait compétitifs dans un contexte local, par exemple sur un territoire non desservi par le réseau de gaz naturel, où les autres modes de chauffage peuvent présenter un coût global plus élevé que dans la présente étude.

	Facture énergétique (€TTC/lgt par an)	Charges locatives récupérables (€TTC/lgt par an)	Facture totale (€TTC/lgt par an)	Coût global annuel sans subvention (€TTC/lgt par an)
RC > 50% EnR&R	1 258 €	1 337 €	1 373 €	1 662 €
RC moyen	1 281 €	1 360 €	1 396 €	1 685 €
RC < 50% EnR&R	1 377 €	1 456 €	1 492 €	1 781 €
Gaz coll cond	954 €	1 101 €	1 179 €	1 542 €
Gaz ind cond	1 362 €	1 531 €	1 579 €	2 008 €
Elec ind	2 754 €	2 754 €	2 790 €	3 020 €
PAC ind	1 631 €	1 758 €	1 806 €	2 449 €
PAC coll géo	898 €	1 045 €	1 105 €	2 180 €
Fioul coll	1 369 €	1 503 €	1 563 €	1 929 €

Part variables et fixes du coût global par mode de chauffage en 2016
Bâtiment peu performant - 300 kWh/m2 par an - Analyse AMORCE



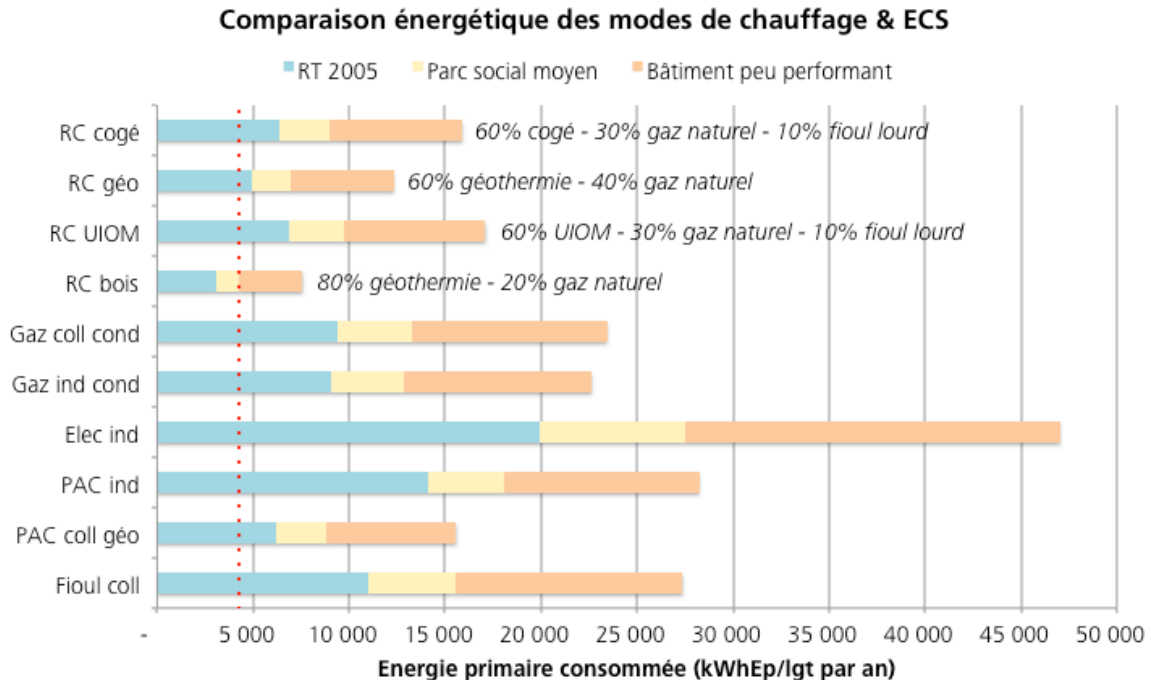
Pour ces niveaux importants de consommation, on retrouve en moyenne une part fixe de l'ordre de 40%. Les réseaux de chaleur et les PAC géothermiques restent les solutions à plus forte part fixe. L'incitation à la maîtrise de l'énergie y est donc moins importante, mais les usagers sont mieux protégés des hausses des prix des combustibles ou de l'électricité, qui peuvent être très pénalisantes à ces niveaux de consommation.

Les réseaux de chaleur se classent en moyenne parmi les solutions les plus compétitives. Le très faible écart entre les réseaux de chaleur vertueux et les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies fossiles, tient au fait que le prix de vente de ces deux catégories s'est considérablement rapproché en 2016, sous l'effet combiné d'une baisse du prix du gaz (qui a profité à la deuxième catégorie) et d'une légère hausse du prix de vente des réseaux vertueux.

Les réseaux de chaleur dont le prix de vente moyen est le plus bas (classes I et II) représentent la solution la plus compétitive, tandis que les plus chers (classe V) peuvent se confronter à la concurrence d'autres solutions (ex : chauffage collectif au gaz ou au fioul). Ces derniers sont donc les plus susceptibles de rencontrer des difficultés dans leur phase de commercialisation.

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 partie 1.6.2 sur les émissions de gaz à effet de serre.



On constate que les besoins en énergie primaire non renouvelable d'un logement correspondant au *parc social moyen* (170 kWh/m².an) alimenté par un réseau de chaleur bois (représentés par le marqueur en pointillés rouges) sont équivalents à ceux d'un logement de même superficie mais de performance *RT 2005* et alimenté par un réseau de chaleur géothermique ou une PAC géothermique présentant en moyenne annuelle un COP de 4,2.

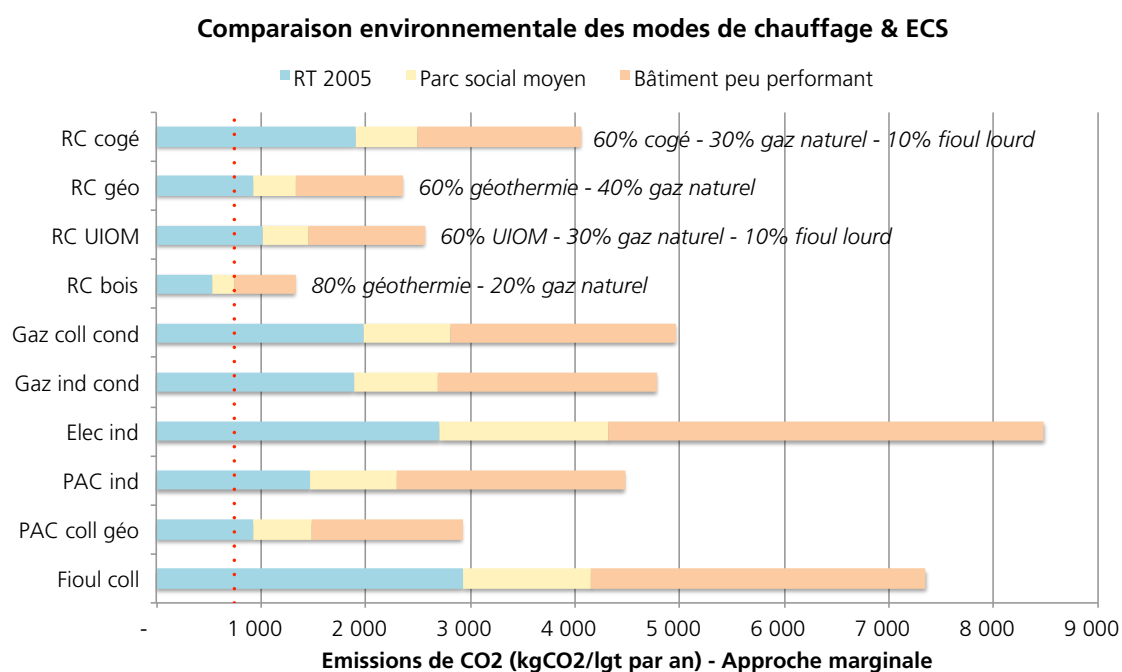
L'impact en énergie primaire pour un logement du *parc social moyen* alimenté par un réseau de chaleur bois est quatre fois moins élevé que celui d'un logement *RT 2005* chauffé à l'électricité et deux fois moins élevé que celui d'un logement *RT 2005* chauffé au fioul ou au gaz.

2.3 Comparaison en matière d'émissions 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 partie 1.6.3.

On effectue la comparaison sur la base du **contenu CO₂ marginal** de l'électricité, à savoir 0,550 kgCO₂/kWh.

On constate alors sur le graphique suivant, 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/ m².an) alimenté par un réseau de chaleur bois (représentées par le marqueur en pointillés rouges), le niveau de performance de ce même logement doit être *RT 2005* s'il est alimenté par un réseau de chaleur géothermique ou une PAC géothermique présentant en moyenne annuelle un COP de 4,2.

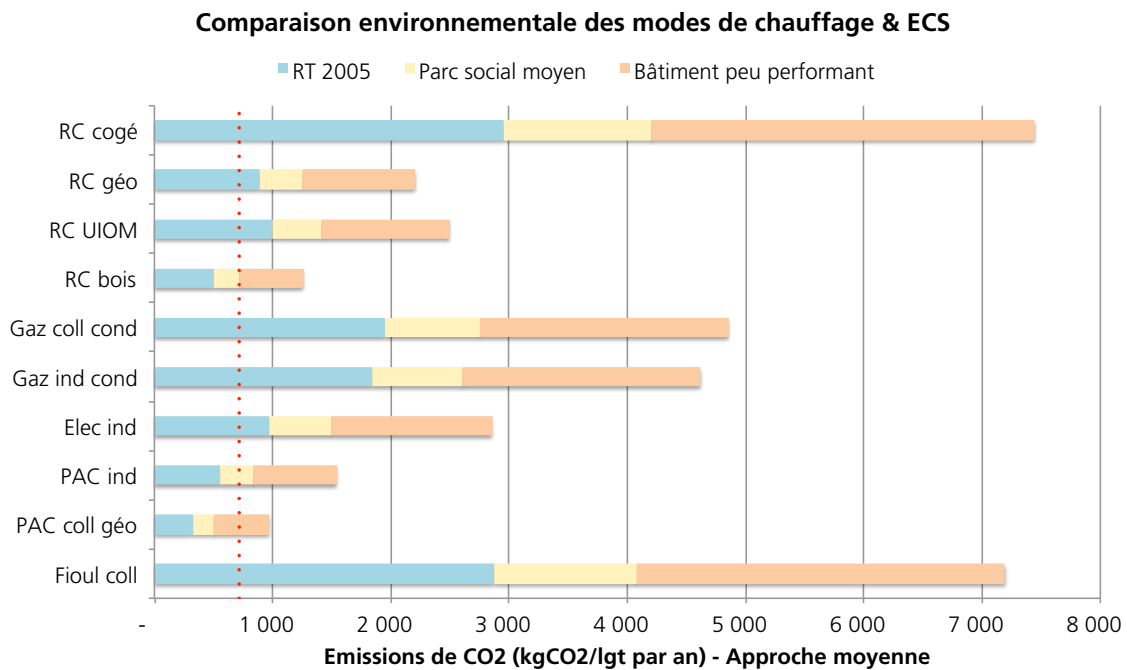


A titre indicatif, le contenu CO₂ moyen des réseaux de chaleur français s'élève en 2016 à 0,126 (cf. enquête SNCU édition 2017²⁶).

Les réseaux de chaleur vertueux (géothermie, UIOM ou biomasse) sont en moyenne les solutions les plus performantes à la fois d'un point de vue énergétique qu'environnemental, surtout ceux majoritairement alimentés par de la biomasse. Les réseaux équipés de cogénération gaz naturel et la solution PAC géothermique collective suivent d'assez près (à condition pour la PAC de respecter le COP de 4,2).

²⁶ <http://www.fedene.fr/etudes-publications/reseaux-de-chaleur-et-de-froid/>

Ci-dessous la même analyse est effectuée sur la base du **contenu CO₂ moyen** de l'électricité, soit 0,180 kgCO₂/kWh. Sans surprise, les solutions électriques présentent un bilan nettement plus avantageux, mais les réseaux de chaleur vertueux 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 (représenté par le marqueur en pointillés rouges), la solution chauffage électrique effet Joule doit être appliquée à un logement au niveau *RT 2005*.



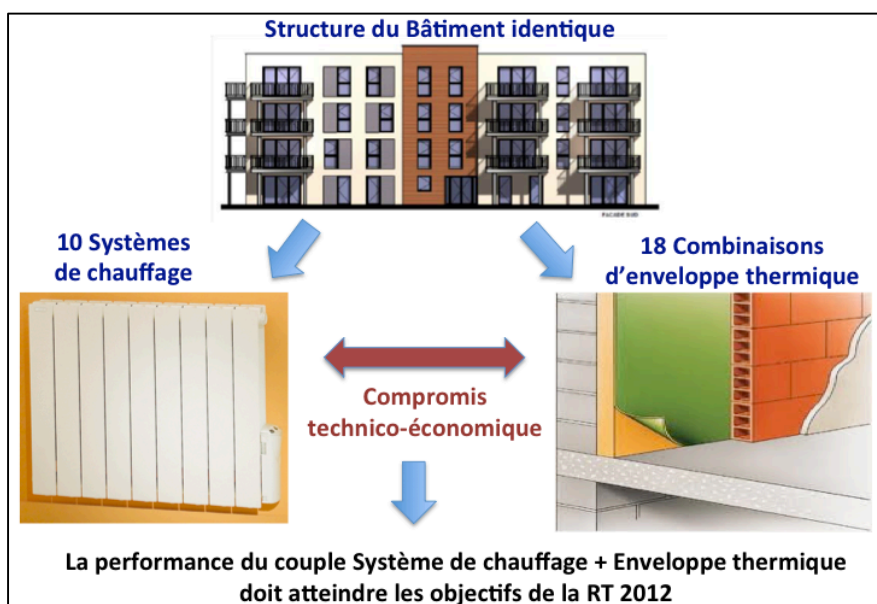
3 COMPARAISON DES MODES DE CHAUFFAGE POUR LES BATIMENTS RT 2012

Depuis 2012 AMORCE a intégré une partie spécifique à la RT 2012 pour analyser d'un point de vue technico-économique, les différentes solutions de référence permettant de respecter ces nouvelles exigences qui s'appliquent aux maîtres d'ouvrage du bâtiment et à leurs maîtres d'œuvre²⁷. L'étude a été réalisée sur un cas type réel d'immeuble collectif par le bureau d'études Tribu Energie.

Dans cette partie, **les performances de l'enveloppe thermique²⁸ du bâtiment sont ajustées pour chaque mode de chauffage afin de trouver un compromis technico-économique²⁹ qui permet d'atteindre les objectifs fixés par la RT 2012.**

Pour plus d'informations sur la prise en compte des réseaux de chaleur dans les réglementations thermique : cf. publication AMORCE Réf. RCT44/ENT29.

3.1 Hypothèses



3.1.1 Le bâtiment type étudié

L'étude se base sur des calculs menés sur un immeuble représentatif du marché de la construction, dont les caractéristiques sont détaillées en annexe 2. La structure du bâtiment est identique pour chaque système de chauffage. Ainsi, l'étude ne prend en compte que le coût des **éléments variant** d'une solution à l'autre (**système de chauffage** et **enveloppe thermique**), mais pas celui des éléments communs à toutes les solutions (foncier, préparation du terrain, fondations, revêtements de surface intérieure, éclairage, charpente de toiture, serrurerie, ascenseurs, murs intérieurs, finitions, etc).

²⁷ Exigences portant sur 5 usages : chauffage, ECS, refroidissement, éclairage et auxiliaires.

²⁸ L'enveloppe thermique caractérise l'isolation thermique du bâti (sous-sol, toiture, murs extérieurs, menuiseries).

²⁹ 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 éléments doivent former un couple de solutions répondant aux 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 neufs³⁰. 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**³¹ 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, refroidissement, éclairage, auxiliaires) à **50 kWh_{Ep}/m² par an en moyenne**. Ce niveau de consommation maximum 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 2019 bénéficient d'une majoration de 7,5 kWh_{Ep}/m².an sur les valeurs de Cep_{max} ³². 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 kWh_{Ep}/m².an lorsque le bâtiment est alimenté par un chauffage au gaz ou à l'électricité**³³. Lorsque le bâtiment est alimenté par un système de chauffage faiblement émetteur de CO₂ (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 gCO₂/kWh** ou moins de **100 gCO₂/kWh** ou moins de **50 gCO₂/kWh**, la Cep_{max} autorisée dans le cadre de notre étude est ainsi respectivement de **80,1 kWh_{Ep}/m².an** ou **85,8 kWh_{Ep}/m².an** ou **91,6 kWh_{Ep}/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.

³⁰ Obligation en vigueur depuis le 28 octobre 2011 pour les bâtiments d'habitation situés en zone ANRU et depuis le 1^{er} janvier 2013 pour tous les autres bâtiments d'habitation (date de dépôt de permis de construire).

³¹ $Bbio_{max} = Bbio_{maxmoyen} \times (\text{Coeff géographique} + \text{Coeff altitude} + \text{Coeff Surface})$ avec $Bbio_{maxmoyen} = 60$ soit $Bbio_{max} = 60 \times (1,2 + 0 + 0) = 72$ points

³² Initialement la majoration de consommation devait prendre fin le 31 décembre 2014, puis le 31 décembre 2017, mais un arrêté du 21 décembre 2017 paru au Journal Officiel du 24 décembre 2017 a de nouveau prolongé la période d'adaptation pour une durée de deux ans.

³³ $Cep_{max} = (50 + 7,5) \times \text{Coeff type bâtiment} \times (\text{Coeff géographique} + \text{Coeff altitude} + \text{Coeff surface} + \text{Coeff GES})$ avec Coeff géographique de 1,2 pour la zone H1a et Coeff surface de 0,09 pour une surface de logement de 65 m² soit $Cep_{max} = 57,5 \times 1 \times (1,2 + 0 + 0,09 + 0) = 74,3$ kWh/m².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 entraîne respectivement une Cep_{max} de 80,1 ou 85,8 ou 91,6 kWh/m².an

Pour chaque système de chauffage (caractérisé par un niveau de performance, une consommation d'énergie primaire et des émissions de CO₂) 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.

3.1.2 Les modes de chauffages

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 + ECS solaire** : 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 coll géo**³⁴ : pompe à chaleur collective géothermique eau/eau de COP 4,2 (valeur moyenne annuelle).

Le chauffage sur réseaux de chaleur :

- **RC > 150 gCO₂/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO₂ est supérieur à 150 gCO₂/kWh.
- **RC < 150 gCO₂/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO₂ est compris entre 100 et 150 gCO₂/kWh.
- **RC < 100 gCO₂/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO₂ est compris entre 50 et 100 gCO₂/kWh.
- **RC < 50 gCO₂/kWh** : réseau de chaleur dont le contenu CO₂ est inférieur à 50 gCO₂/kWh.

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'enveloppe³⁵ 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.

³⁴ 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 RT 2005 a été utilisé pour déterminer les performances de la PAC en fonctionnement ECS dans le cadre de la RT T 2012.

³⁵ Les 18 solutions sont classées de la moins performante à la plus performante, de la façon suivante : 1-, 1, 2, ..., 15, 16, 16+

3.2 Analyse des systèmes de chauffage permettant d'atteindre la RT 2012

3.2.1 Construction du couple système de chauffage + enveloppe thermique

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

- Le critère de performance du bâti : $B_{bio} < B_{bio_{max}}$
- 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.

	Env. th.	Objectifs		Résultats		Performance		Investissement		
		Cep max	Bbio max	Cep	Bbio	Cep / Cep max	Bbio / Bbio max	Bâti €TTC/lgt	Système €TTC/lgt	Total €TTC/lgt
RC < 50 gCO ₂ /kWh	1-	92	72	81	71	11%	1%	10 087€	5 805€	15 892€
RC < 100 gCO ₂ /kWh	1-	86	72	81	71	5%	1%	10 087€	5 805€	15 892€
RC < 150 gCO ₂ /kWh	1	80	72	75	60	6%	17%	11 135€	5 805€	16 940€
RC > 150 gCO ₂ /kWh	2	74	72	74	57	1%	20%	11 241€	5 805€	17 046€
Gaz coll cond	4	74	72	73	53	1%	26%	12 235€	7 380€	19 615€
Gaz coll cond + ECS solaire	1-	74	72	61	71	17%	1%	10 087€	8 400€	18 487€
Gaz ind cond	1	74	72	70	60	6%	17%	11 135€	6 531€	17 666€
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€

La combinaison d'enveloppe thermique utilisée pour la chaudière gaz à condensation avec ECS solaire et les réseaux de chaleur faiblement émetteurs de CO₂ (contenu CO₂ inférieur à 100 gCO₂/kWh), ne peut être davantage dégradée au regard du critère $B_{bio_{max}}$; 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+).

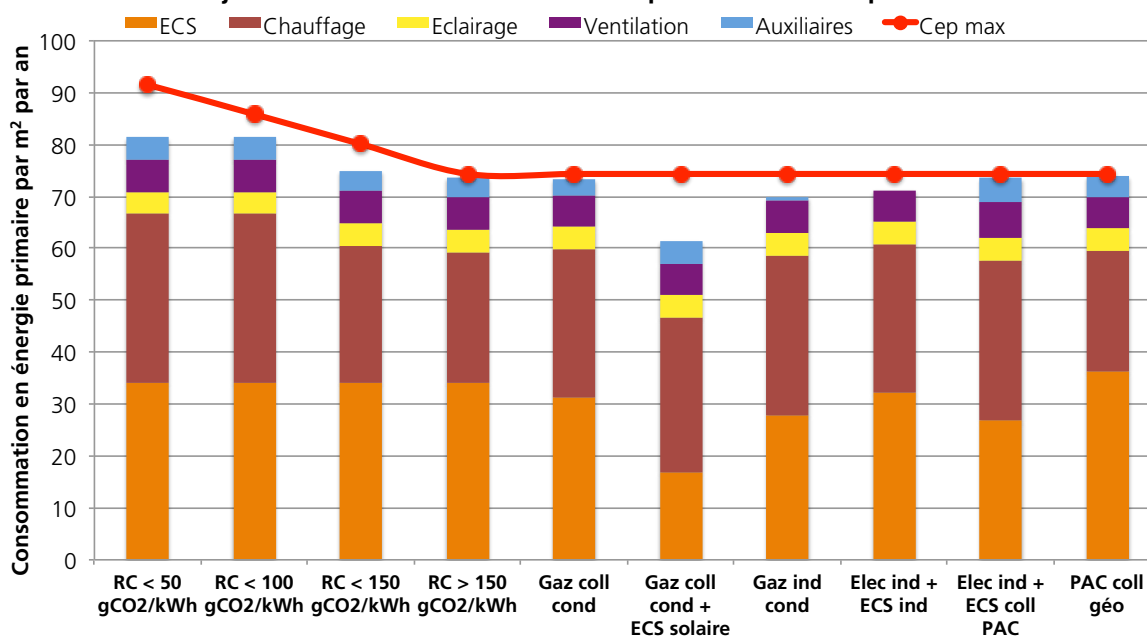
Le graphique ci-après représente les niveaux de consommation d'énergie primaire selon les postes de la RT 2012 pour chaque couple *système de chauffage + enveloppe thermique*. La somme des consommations d'énergie primaire (Cep) des 5 postes doit être inférieure au niveau de consommation d'énergie primaire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

Pour la chaudière gaz à condensation avec ECS solaire, la part du solaire dans la production d'ECS est sortie du bilan³⁶, 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.

³⁶ 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.

Décomposition des consommations par poste selon les différents systèmes Obj : minimiser l'investissement total permettant de respecter la RT 2012

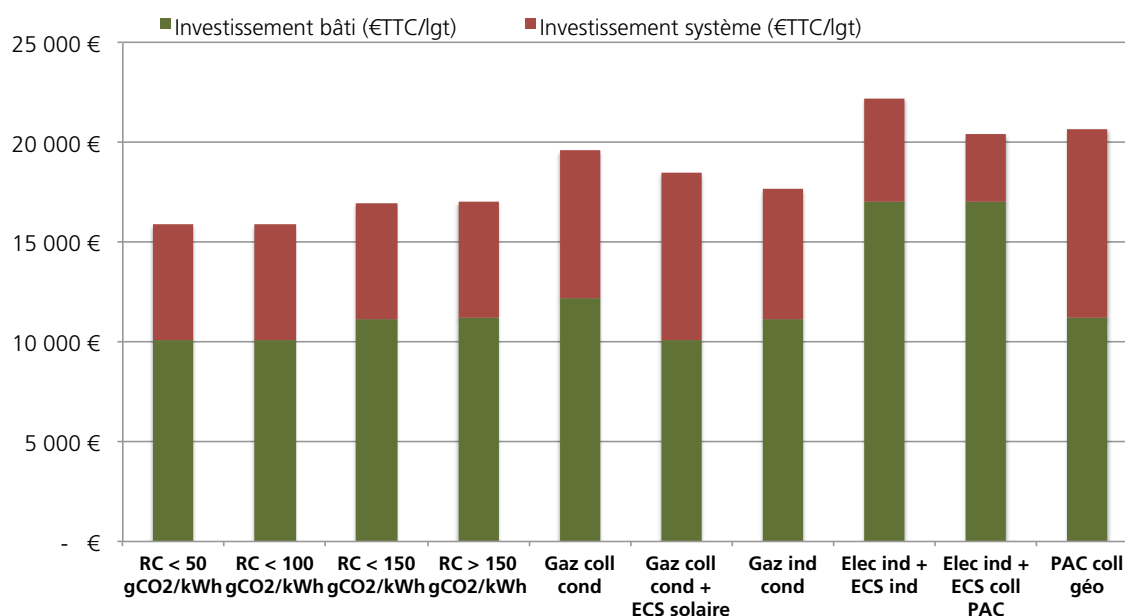


Le coefficient de modulation sur le Cep_{max} accordé aux bâtiments raccordés aux réseaux de chaleur faiblement émetteurs de CO_2 assure néanmoins une bonne performance énergétique du bâtiment.

Le coefficient $Bbio_{max}$, qui reste fixe pour tous 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.

Investissement sur le couple système de chauffage + enveloppe thermique du point de vue du maître d'ouvrage



Les systèmes de chauffage les plus onéreux en coût d'investissement sont la chaudière 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. **Les solutions réseaux de chaleur représentent globalement l'investissement total système de chauffage + enveloppe thermique le moins élevé pour le maître d'ouvrage du bâtiment.**

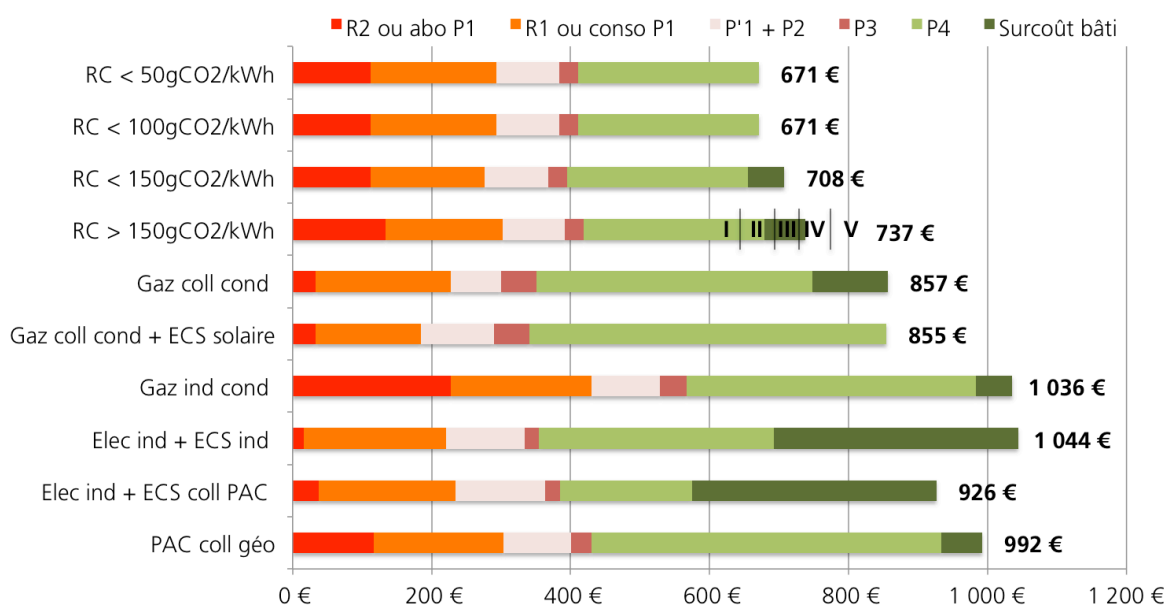
3.2.2 Analyse en coût global

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 nous avons ajouté le **surcoût éventuel sur la construction de l'enveloppe pour respecter la RT 2012.**

Les solutions réseaux de chaleur faiblement émetteurs de CO₂ (inférieurs à 50 et 100 gCO₂/kWh) et chaudière gaz à condensation 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 Bbio qui atteint presque la limite maximale. **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 chauffage³⁷.**

Le graphique ci-après présente le coût global³⁸ chauffage et ECS pour les bâtiments soumis à la RT 2012 :

**Décomposition du coût global chauffage & ECS en 2016 (€TTC/lgt par an)
Bâtiment RT 2012 - Analyse : AMORCE**



³⁷ Exemple : Pour la solution « Elec ind + ECS ind », le surcoût bâti est de 17 049 – 10 087 = 6 961 €. C'est cette valeur, amortie, qui est reportée sur le graphique.

³⁸ 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.

De manière 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 énergétique³⁹.

A noter que, compte tenu de l'hétérogénéité des prix de vente de la chaleur selon les réseaux, nous avons retracé, pour la 4^{ème} ligne du graphique, le coût global pour les 5 classes de prix définies dans l'enquête sur le prix de vente de la chaleur en 2016. Les réseaux de chaleur dont le prix de vente est inférieur d'au moins 10% à la moyenne nationale (classe I et II) sont de loin les systèmes de chauffage les plus économiques en coût global.

La solution gaz collectif + ECS solaire présente la facture énergétique la plus faible, avec le chauffage électrique à effet Joule pour lequel l'abonnement est faible (différence entre un abonnement 9 kVA et un abonnement 6 kVA) et 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, les solutions de chauffage électrique nécessitent un surinvestissement conséquent sur l'enveloppe (barres en vert foncé « surcoût bâti »), qui se répercute lourdement sur le coût global.

Le chauffage gaz à condensation individuel, fréquemment plébiscité par le marché actuel de la construction, s'avère en réalité être une des **solutions les moins compétitives, tant au niveau de la facture énergétique que du coût global**, du fait notamment de forts coûts fixes vis à vis des faibles niveaux de consommation (abonnement, entretien annuel, coût d'acquisition). Le chauffage gaz à condensation collectif apparaît plus compétitif puisqu'il présente une facture totale légèrement plus intéressante que les réseaux de chaleurs. Cependant il se positionne parmi les alternatives plus coûteuses en coût global, ce qui est dû au plus fort investissement et au surcoût bâti.

Il est intéressant de noter que le chauffage collectif au gaz présente les **mêmes niveaux de facture totale et de coût global** qu'il soit associé 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 CO₂, se classent en moyenne comme les solutions les plus compétitives en coût global⁴⁰. 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'ouvrage⁴¹, comme de l'utilisateur.

³⁹ 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 cet exemple.

⁴⁰ 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 EnR&R. Cela ne signifie pas que tous les réseaux de chaleur présentent cet avantage compétitif.

⁴¹ 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 (cf. publication AMORCE réf. RCE 12 sur le sujet).

	Facture énergétique (€TTC/lgt.an)	Charges locatives récupérables (€TTC/lgt.an)	Facture totale (€TTC/lgt.an)	Coût global annuel (€TTC/lgt.an)
RC < 50gCO2/kWh	293 €	384 €	411 €	671 €
RC < 100gCO2/kWh	293 €	384 €	411 €	671 €
RC < 150gCO2/kWh	276 €	368 €	395 €	708 €
RC > 150gCO2/kWh	302 €	392 €	419 €	737 €
Gaz coll cond	228 €	300 €	351 €	857 €
Gaz coll cond + ECS solaire	185 €	289 €	341 €	855 €
Gaz ind cond	430 €	529 €	567 €	1 036 €
Elec ind + ECS ind	221 €	334 €	355 €	1 044 €
Elec ind + ECS coll PAC	235 €	363 €	385 €	926 €
PAC coll géo	303 €	400 €	430 €	992 €

Pour rappel, cette analyse concerne la RT 2012 pour la période de transition avec un niveau de consommation d'énergie primaire maximale (Cepmax) relevé de 7,5 kWh/m².an. Après cette période de transition (début 2020), 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.

AMORCE rappelle par ailleurs que le rehaussement des consommations sur les bâtiments raccordés à des réseaux de chaleur vertueux ne remet pas en cause le très bon positionnement de ces réseaux sur les critères environnementaux (cf. parties précédentes) et doit inciter les maîtres d'ouvrages à s'orienter vers les labels de performance de la RT 2012.

3.3 Analyse 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 récompense les bâtiments dont le niveau de performance dépasse de 20% les exigences de la RT 2012⁴². 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**⁴³. 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 kWh/m² par an lorsque le bâtiment est alimenté par un chauffage au gaz ou à l'électricité**⁴⁴.
A noter que pour atteindre le label Effinergie+, les bâtiments dont le permis de construire était déposé avant le 31 décembre 2014 bénéficiait d'une valeur initiale de la Cep_{max} fixée à 45 kWh/m² par an (contre 40 kWh/m² par an après cette date). Contrairement à la dérogation pour les bâtiments collectifs RT 2012, la majoration de consommation a bien pris fin à cette date. La présente étude comparant les différents modes de chauffage en 2016, les calculs ont cependant été maintenus sur la base de 45 kWh/m².
Selon que le bâtiment soit alimenté par un système de chauffage émettant **moins de 150 gCO₂/kWh** ou moins de **100 gCO₂/kWh** ou moins de **50 gCO₂/kWh**, la $Cep_{max\ Effinergie+}$ autorisée dans le cadre de notre étude est fixée respectivement à **62,7 kWh/m².an** ou **67,2 kWh/m².an** ou **71,7 kWh/m².an**⁴⁵. 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 pas répertoriées, ce qui explique que certains systèmes de chauffage ne puissent pas atteindre le label Effinergie+ dans cette étude.

3.3.1 Construction du couple système de chauffage + enveloppe thermique

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

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

⁴² Règles techniques applicables aux bâtiments neufs faisant l'objet d'une demande de label Effinergie+.

⁴³ $Bbio_{max\ Effinergie+} < 0,8 \times Bbio_{maxmoyen} \times (\text{Coeff géographique} + \text{Coeff altitude} + \text{Coeff Surface})$ avec $Bbio_{maxmoyen} = 60$ soit $Bbio_{max\ Effinergie+} = 0,8 \times 60 \times (1,2 + 0 + 0) = 57,6$ points

⁴⁴ $Cep_{max\ Effinergie+} = 45 \times \text{Coeff type de bâtiment} \times (\text{Coeff géographique} + \text{Coeff altitude} + \text{Coeff Surface} + \text{Coeff GES})$

soit $Cep_{max\ Effinergie+} = 45 \times 1 \times (1,2 + 0 + 0,09 + 0) = 58,2$ kWh/m².an

⁴⁵ soit $Cep_{max\ Effinergie+} = 45 \times 1 \times (1,2 + 0 + 0,09 + 0,3) = 71,7$ kWh/m².an pour les bâtiments alimentés par un système de chauffage dont le contenu CO₂ est inférieur à 50 gCO₂/kWh.

soit $Cep_{max\ Effinergie+} = 45 \times 1 \times (1,2 + 0 + 0,09 + 0,2) = 67,2$ kWh/m².an pour les bâtiments alimentés par un système de chauffage dont le contenu CO₂ est inférieur à 100 gCO₂/kWh.

soit $Cep_{max\ Effinergie+} = 45 \times 1 \times (1,2 + 0 + 0,09 + 0,1) = 62,7$ kWh/m².an pour les bâtiments alimentés par un système de chauffage dont le contenu CO₂ est inférieur à 150 gCO₂/kWh.

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

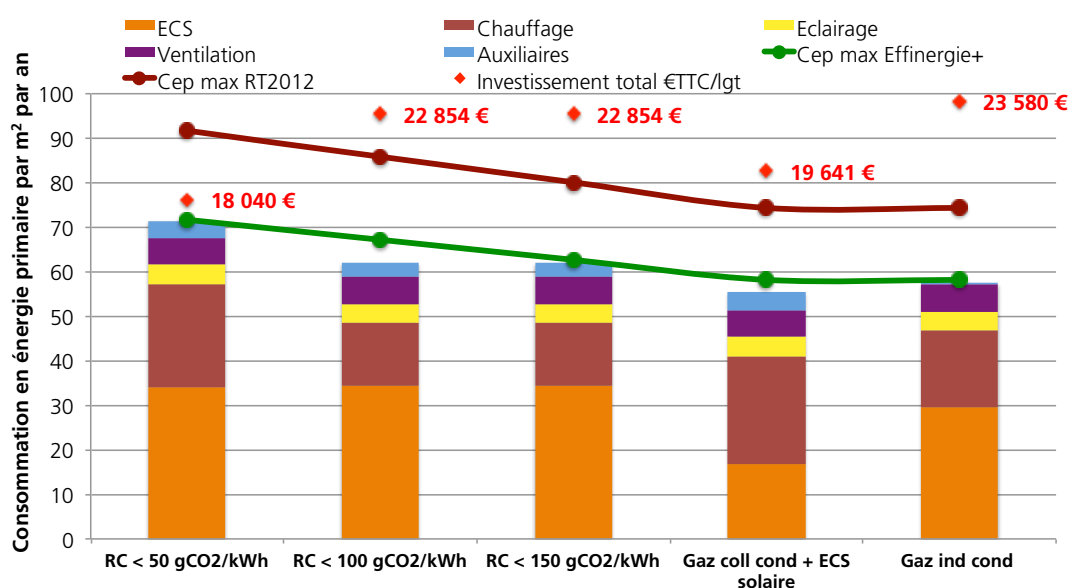
	Env. th.	Objectifs		Résultats		Performance		Investissement		
		Cep max Eff+	Bbio max Eff+	Cep	Bbio	Cep / Cep max	Bbio / Bbio max	Bâti €TTC/lgt	Système €TTC/lgt	Total €TTC/lgt
RC < 50 gCO ₂ /kWh	4	72	58	71	53	0%	8%	12 235€	5 805€	18 040€
RC < 100 gCO ₂ /kWh	16+	67	58	62	40	8%	31%	17 049€	5 805€	22 854€
RC < 150 gCO ₂ /kWh	16+	63	58	62	40	1%	31%	17 049€	5 805€	22 854€
Gaz coll cond + ECS solaire	2	58	58	55	57	5%	0%	11 241€	8 400€	19 641€
Gaz ind cond	16+	58	58	58	40	1%	31%	17 049€	6 531€	23 580€

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, mais 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 matière d'investissement total est le réseau de chaleur émettant moins de 50 gCO₂/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 en 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+ est la moins chère pour les réseaux de chaleur émettant moins de 50 gCO₂/kWh, suivie des chaudières gaz à condensation couplées à un système de production d'ECS solaire.

Décomposition des consommations par poste selon les différents systèmes
Obj : minimiser l'investissement total permettant de respecter la RT 2012

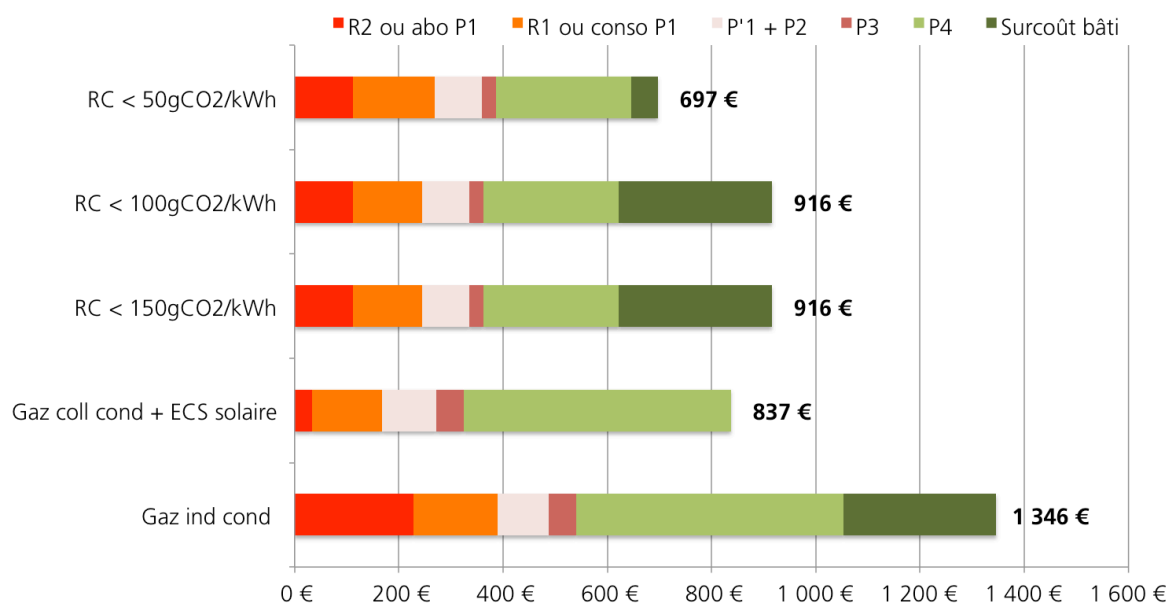


3.3.2 Analyse en coût global

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.

Décomposition du coût global chauffage & ECS en 2016 (€TTC/lgt par an)
Bâtiment RT 2012 label Effinergie+ - Analyse : AMORCE

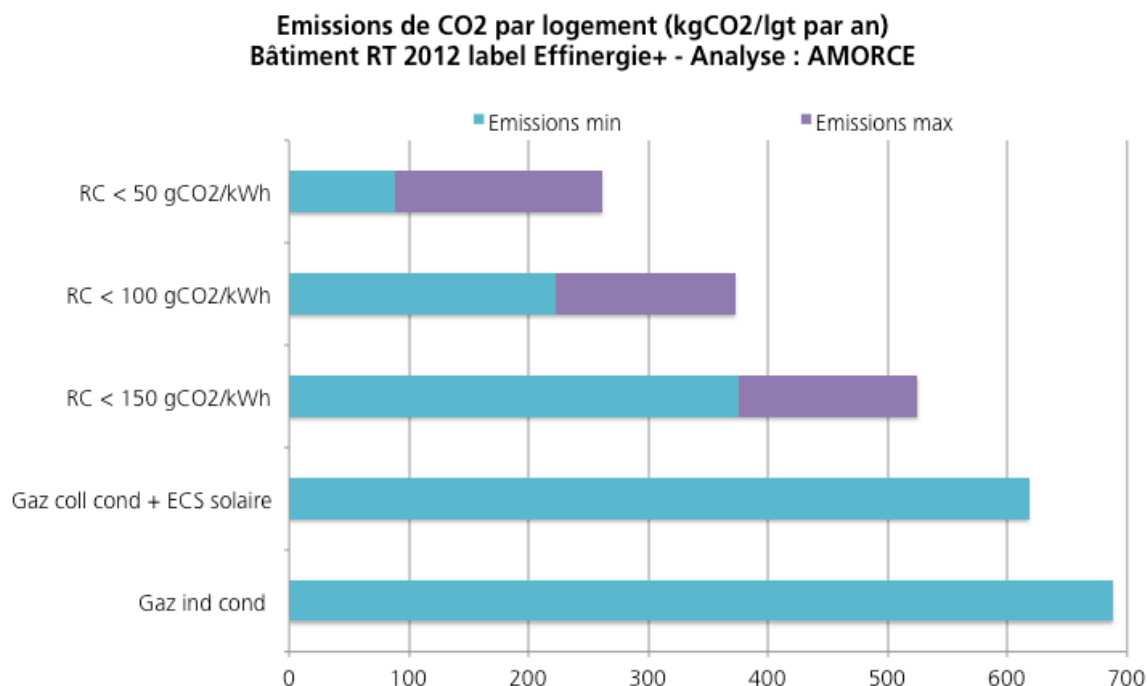


Cette analyse en coût global pour les bâtiments labellisés Effinergie+ montre que la part de la facture énergétique dans le coût global atteint seulement 30% en moyenne pour ces 5 solutions.

L'analyse en coût global des solutions système énergétique + enveloppe thermique nécessaires pour atteindre le label Effinergie+ permet de constater que les réseaux de chaleur vertueux s'avèrent compétitifs par rapport aux solutions gaz naturel du point de vue du coût global, même si la facture énergétique est supérieure à celle de la solution gaz collectif à condensation + ECS solaire.

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 CO₂ par logement⁴⁶.



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*.

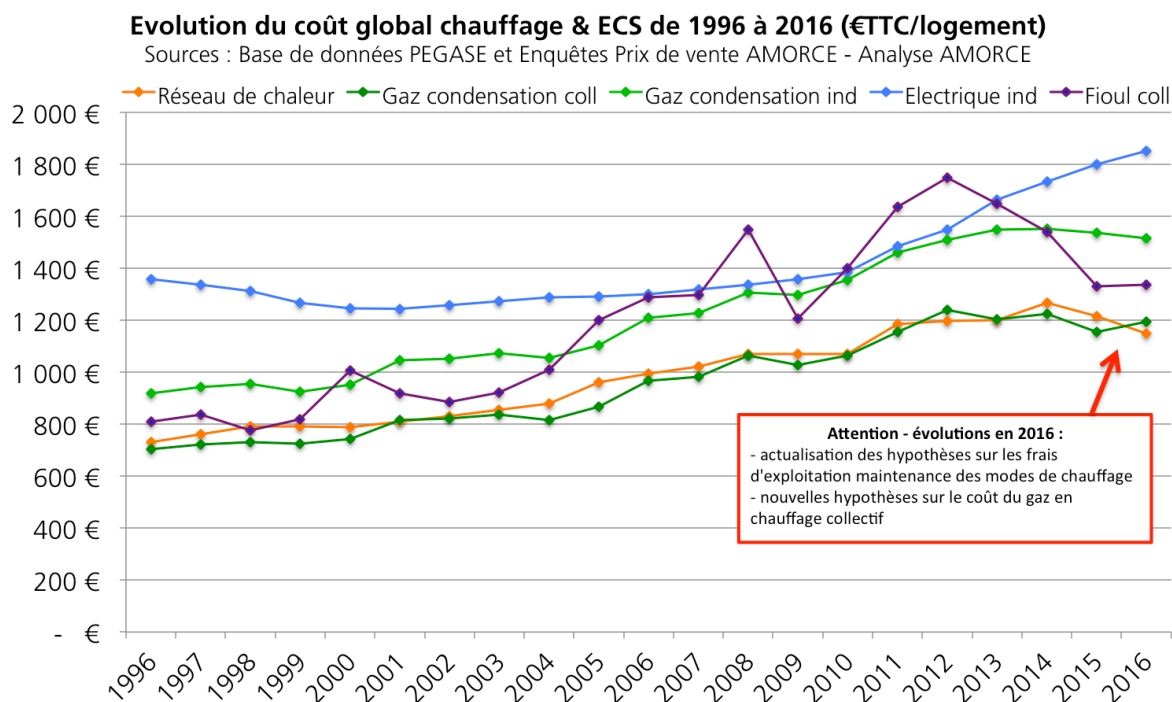
Les émissions de CO₂ par logement sont pourtant de 40 à 70 % inférieures avec un réseau vertueux qu'avec la solution gaz naturel + solaire.

⁴⁶ Calculs basés sur un contenu CO₂ du gaz à 205 gCO₂/kWh (approche PNAQ) afin d'établir des comparaisons avec les réseaux de chaleur à émission équivalente avec les réseaux de chaleur. Le contenu CO₂ des auxiliaires a été calculé avec un 100 gCO₂/kWh.

4 EVOLUTION DES PRIX DE L'ENERGIE ET IMPACTS SUR LA FACTURE DE CHAUFFAGE

4.1 Évolution du coût global du chauffage & ECS depuis 1996

AMORCE étudie le coût du chauffage & ECS depuis trente ans. Nous avons donc tracé l'évolution du coût global du chauffage calculé dans les enquêtes AMORCE depuis 1996, pour les principaux modes de chauffage et pour un logement-type parc social moyen :



Ce graphique montre une concurrence historique entre le chauffage collectif au gaz naturel à condensation et les réseaux de chaleur, ainsi que la relative stabilité de ces solutions qui, pour le gaz naturel, tient au fait que le coût global a pendant longtemps été calculé à partir des tarifs réglementés de vente (jusqu'au coût global de l'année 2014).

Il illustre également bien l'instabilité du prix du fioul, qui a fortement oscillé sur ces vingt dernières années (contrairement aux tarifs du gaz et de l'électricité qui ont longtemps été régulés). En effet la solution fioul, qui présentait un coût global assez proche des réseaux de chaleur jusqu'en 2000, était de loin la plus onéreuse en 2012. Quatre ans plus tard, elle a considérablement baissé à tel point qu'elle redevient plus attractive que les solutions individuelles gaz et électricité qui, quant à elles, ont toujours été bien moins attractives que les réseaux de chaleur.

Comme évoqué partie 2.1.3, ces résultats illustrent bien les précautions à prendre lorsque l'on fait un choix à une année donnée sur un jeu d'hypothèses conjoncturel pour les 20 ans à venir.

4.2 Perspectives d'évolution du coût global 2016-2035

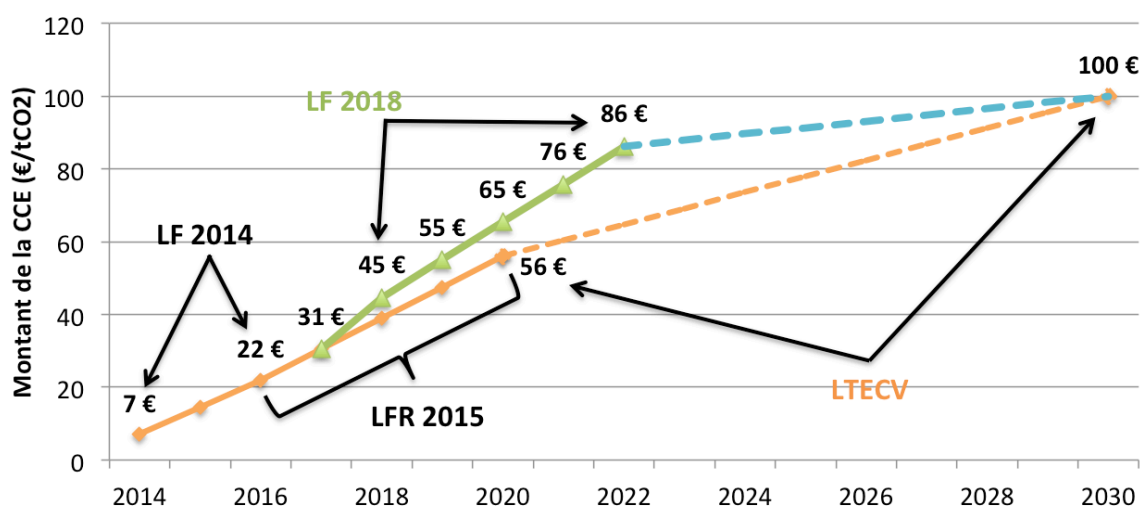
Le choix d'un système de chauffage engage à 20 ou 30 ans, **il est donc important d'envisager le coût global à long terme**. Ce travail de projection est nécessaire, mais délicat à mener, surtout dans une conjoncture économique actuelle qui entraîne des prix des énergies relativement peu élevés à court terme et très instables. N'étant pas à l'abri d'un choc extérieur (géopolitique, technique, etc.) qui pourrait bouleverser les fondamentaux de ces marchés de l'énergie, nous avons tout de même considéré une augmentation du prix des énergies de 3% sur les 20 prochaines années (hors composante carbone).

Le prix de l'énergie payé par les consommateurs finaux dépend des cours sur les marchés mais aussi des autres contributions qui s'appliquent sur ces produits, dont des TIC (Taxes intérieures sur la consommation) qui comprennent depuis 2014 une composante carbone : **nous avons évalué l'impact de cette composante carbone sur le prix des énergies fossiles**, en tenant compte de l'évolution des prix de marché évoquée juste avant.

Impact de la composante carbone sur le prix des énergies fossiles

La loi de finances pour 2014 a introduit une composante carbone aux TIC fixée respectivement à 7€/tCO₂, 14,5€/tCO₂ et 22€/tCO₂ pour 2014, 2015 et 2016. La loi relative à la transition énergétique pour une croissance verte poursuit la trajectoire de cette composante carbone en fixant deux nouvelles valeurs cibles : 56€/tCO₂ en 2020 et 100€/tCO₂ en 2030. L'accélération de la trajectoire a été adoptée par la loi de finances pour 2018 qui a fixé la taxe à 86,2€/tCO₂ dès 2022 (courbe verte). La trajectoire n'ayant pas encore été définie entre 2022 et 2030, nous avons par défaut considéré qu'elle serait linéaire (en bleu).

Evolution de la CCE - Contribution Climat Energie



Le renforcement de cette taxe aura un impact non négligeable sur le prix des énergies fossiles : via la TICGN pour le gaz naturel et la TICPE pour le fioul domestique, mais aussi pour le butane et le propane. En effet l'article 16 de la loi de finances pour 2018 a étendu la CCE à ces combustibles qui en étaient exemptés jusqu'alors.

Ces taxes s'ajoutent au prix de base du combustible, et l'ensemble est soumis au taux plein de TVA de 20%.

Le tableau ci-dessous traduit en €/HT/MWhPCI le montant de la CCE à différentes échéances, pour le gaz naturel et le fioul domestique, selon l'évolution prévue par la loi de finances pour 2018 puis en considérant une hausse linéaire entre 2022 et 2030 (les facteurs d'émissions utilisés sont ceux de la base carbone de l'ADEME en émissions directes) :

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2030
Gaz naturel (€/HT/MWh PCI)	1,41	2,93	4,82	6,53	9,39	11,49	13,60	15,70	17,80	20,59
Fioul (FOD) (€/HT/MWh PCI)	1,86	3,84	5,83	8,71	11,82	14,58	17,33	20,09	22,84	26,50

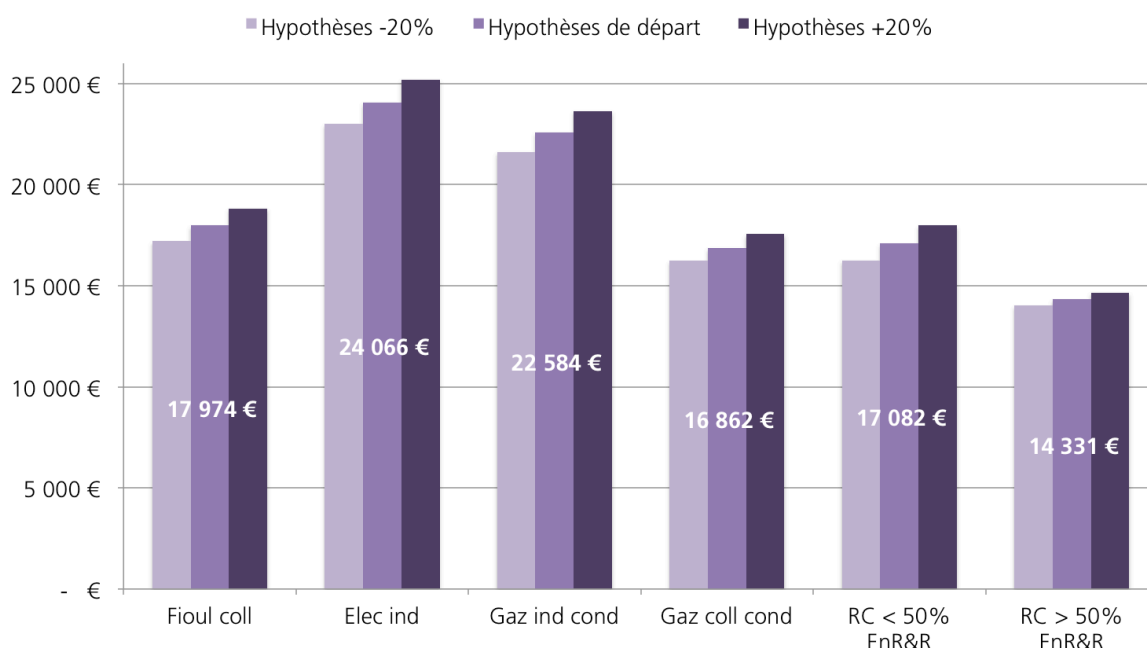
Nous avons enfin évalué le coût global du chauffage pour les principaux modes de chauffage sur 20 ans et pour un bâtiment type RT 2005, relativement représentatif du parc résidentiel moyen sur la période de temps étudiée.

Hypothèses :

- Taux d'inflation de 1% et taux d'actualisation de 4%
- Évolution annuelle des prix de l'énergie (y compris contribution climat énergie) :
 - +2% pour les réseaux de chaleur >50%EnR&R et +4% pour ceux <50%EnR&R
 - +4% sur le prix du gaz et celui du fioul
 - +3% sur le prix de l'électricité

Comme ce n'est pas un scénario mais plusieurs qu'il faudrait étudier pour évaluer la compétitivité d'un mode de chauffage sur le long terme, le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus avec une sensibilité de + ou - 20% sur nos hypothèses de départ :

Coût global sur 20 ans : analyse de sensibilité



Ce graphique montre que les réseaux de chaleur vertueux représentent le mode de chauffage le plus compétitif à long terme : même dans le pire des scénarios présentés ici, le coût global reste inférieur au meilleur scénario pour une chaudière gaz collective à condensation. Il s'agit également de la solution de chauffage la moins impactée par des évolutions fortes du prix des énergies. **AMORCE incite les collectivités et les bureaux d'études à présenter plusieurs scénarios d'évolution des prix et à réaliser des études de sensibilité** telles que celle présentée ci-dessus. Afin de faciliter ce travail, nous avons ajouté à notre simulateur de coût global (réf. RCE21) un onglet dédié à ces études prospectives.

CONCLUSION

On retiendra de cette enquête comparative sur l'année civile 2016 les informations suivantes :

- D'un point de vue énergétique et environnemental, les réseaux de chaleur sont globalement bien positionnés (selon le mix énergétique du réseau).
- Le coût global de chauffage pour un logement type correspondant au *parc social moyen* (170 kWh/m².an) raccordé à un réseau de chaleur est évalué en moyenne à **1 150 €TTC par an**⁴⁷. Cela fait du réseau de chaleur **une solution des plus compétitives** parmi tous les modes de chauffage. Les réseaux de chaleur sont mieux placés pour les bâtiments dont la consommation est élevée mais restent compétitifs pour des niveaux faibles de consommation⁴⁸.
- Le chauffage électrique individuel affiche un coût global peu attractif et est mal placé en termes d'énergie primaire ou de gaz à effet de serre. Certes, sa facture énergétique est basse dans le cas de la RT 2012, mais la mise en place d'un tel système implique des surinvestissements sur le bâti qui se répercutent sur le coût global.
- L'importante baisse du coût global de la solution fioul collectif traduit la volatilité du prix des énergies fossiles. Ce mode de chauffage figurait parmi les solutions les plus coûteuses il y a quelques années et redevient en 2016 plus compétitif que les solutions électriques, PAC, et fioul collectif.
- Les pompes à chaleur géothermiques, 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 études sur le long terme confortent la position des réseaux de chaleur et mettent en évidence le risque qui pèse sur le consommateur à la fois pour les solutions où l'achat d'énergie représente une part importante de la facture et pour les solutions individuelles.
- La CCE – Contribution Climat Énergie – doit être impérativement intégrée aux calculs économiques de rentabilité des projets. Son montant impactera fortement le prix des énergies fossiles (dont le gaz naturel, fioul, butane, propane) dans les années à venir.

⁴⁷ Pour les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des EnR&R, le coût global moyen est de **1 136 €TTC par an**. Ceux majoritairement alimentés par des énergies fossiles présentent un coût global de 1 208€TTC par an, soit légèrement en dessus du chauffage collectif au gaz condensation (1 195 €TTC par an).

⁴⁸ Pour plus d'information, se référer à l'étude AMORCE réf. RCE12 – *Réseaux de chaleur & bâtiments basse consommation : l'équation impossible ? Enjeux pour les collectivités et les autres acteurs*, Mai 2011.

GLOSSAIRE

Bbio	: Besoin bioclimatique
CCE	: Contribution Climat Énergie
CEE	: Certificat d'Économie d'Énergie
Cep	: Consommation en énergie primaire
CITE	: Crédit d'Impôt Transition Énergétique
COP	: Coefficient de performance
CRE	: Commission de Régulation de l'Énergie
CSPE	: Contribution au Service Public de l'Électricité
CTA	: Contribution Tarifaire d'Acheminement
CTSS	: Contribution au Tarif Spécial de Solidarité
DPE	: Diagnostic de Performance Énergétique
DSP	: Délégation de Service Public
ECS	: Eau Chaude Sanitaire
EnR&R	: Énergie Renouvelable et de Récupération
GES	: Gaz à Effet de Serre
HC / HP	: Heure Creuse / Heure Pleine
HT	: Hors Taxe
kVA	: kilovoltampère
kWh / MWh	: Kilowatt-heure / mégawatt-heure
MTES	: Ministère de la Transition Écologique et Solidaire
PAC	: Pompe à chaleur
PCI / PCS	: Pouvoir Calorifique Inférieur / Pouvoir Calorifique Supérieur
RT	: Réglementation Thermique
RTE	: Réseau de Transport d'Électricité
SDES	: Service de la Donnée et des Études Statistiques
SNCU	: Syndicat National du Chauffage Urbain et de la Climatisation Urbaine
SNEC	: Syndicat National de l'Exploitation Climatique et de la Maintenance
TCFE	: Taxe sur la Consommation Finale d'Électricité
TIC	: Température Intérieure Conventionnelle de confort en été
TICGN	: Taxe Intérieure sur la Consommation de Gaz Naturel
TICPE	: Taxe Intérieure sur la Consommation de Produits Énergétiques
TRV	: Tarif Réglementé de Vente
TTC	: Toutes Taxes Comprises
TURPE	: Tarif d'Utilisation du Réseau Public d'Électricité
TVA	: Taxe sur la Valeur Ajoutée
UIOM	: Usine d'Incinération des Ordures Ménagères

ANNEXE 1 : HYPOTHÈSES SUR LES BÂTIMENTS EXISTANTS

1. Consommations d'énergie

Hypothèses :

- Immeuble de 25 logements ;
- Appartement de 70 m² et 180 m³ (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.

On aboutit à la synthèse suivante pour la consommation finale prise en compte dans les calculs :

Système de production	Fioul coll	PAC coll géo	PAC ind	Elec ind	Gaz ind cond	Gaz coll cond	RC
Conso imputée au chauffage kWh/lgt.an	PCI	livré compteur	livré compteur	livré compteur	PCI	PCI	livré sous-station
RT2005	6 374	1 413	2 453	4 708	5 508	5 227	5 279
Social moyen	10 322	2 288	3 972	7 625	8 920	8 464	8 550
Peu performant	20 588	4 563	7 922	15 208	17 791	16 883	17 053
Conso imputée à l'ECS kWh/lgt.an	PCI	livré compteur	livré compteur	livré compteur	PCI	PCI	livré sous-station
Tous bâtiments	3 121	633	2 835	2 835	2 733	2 517	2 364

2. 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 (hors échangeur) 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 d'un travail de mise à jour mené avec le SNEC, le Syndicat national de l'exploitation climatique et de la maintenance, les valeurs suivantes ont été retenues :

	P1' (€TTC/lgt.an)	P2 (€TTC/lgt.an)	P3 (€TTC/lgt.an)
RC	24 €	55 €	36 €
Gaz coll cond	42 €	105 €	78 €
Gaz ind cond	42 €	127 €	48 €
Elec ind	0 €	0 €	36 €
PAC ind	0 €	127 €	48 €
PAC coll géo	42 €	105 €	60 €
Fioul coll	30 €	105 €	60 €

Ces valeurs seront ensuite actualisées chaque année sur la base des valeurs antérieures⁴⁹.

3. 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
Fioul coll	Fourniture du fioul en pied d'immeuble (production, raffinage transport distribution)	Cuve, chaufferie, tuyauterie immeuble, corps de chauffe
PAC coll géo	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
PAC ind Elec ind	Fourniture d'électricité jusqu'à l'appartement (production, transport, distribution)	Convecteurs / Ballon d'eau chaude
Gaz ind cond	Fourniture de Gaz jusqu'à l'appartement (production, transport, distribution)	Chaudière murale, distribution intérieure, corps de chauffe
Gaz coll cond	Fourniture du gaz en pied d'immeuble (production, transport distribution)	Raccordement au réseau (parfois), chaufferie, tuyauterie d'immeuble, corps de chauffe
RC	Fourniture de chaleur à la sous-station centrale (fourniture énergie primaire production de chaleur, distribution de Sous-station incluant ou non l'échangeur de chaleur (souvent)	Raccordement au réseau (parfois)

⁴⁹ P'1 est indexé sur l'évolution du prix de l'électricité et P2-P3 sont indexés sur l'indice de prix de production de l'industrie française pour le marché français – Prix de marché – Énergie (MIG EBIQ) et sur l'index du bâtiment – Chauffage central (BT40) : $0,55 \times \text{MIG EBIQ} + 0,3 \times \text{BT40}$.

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 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.

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 et 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/lgt)	Crédit d'impôt en % sur l'équipement	Durée de l'installation (ans)	Durée du réseau de distrib (ans)
RC	5 000 €		30	30
Gaz coll cond	5 500 €	30 %	20	30
Gaz ind cond	5 000 €	30 %	12	30
Elec ind	2 730 €		12	25
PAC ind	7 918 €	30 %	16	25
PAC coll géo peu performant	14 857 €	30 %	20	25
PAC coll géo parc social moyen	11 333 €	30 %	20	25
PAC coll RT2005 ⁵⁰	9 179 €	30 %	20	25
Fioul coll	5 000 €		15	30

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

	Annuité totale	Dont annuité production	Dont annuité distrib	Crédit d'impôt	Annuité après crédit d'impôt
RC	289 €	137 €	152 €	- €	289 €
Gaz coll cond	363 €	212 €	152 €	55 €	308 €
Gaz ind cond	429 €	306 €	123 €	80 €	349 €
Elec ind	230 €	167 €	91 €	- €	230 €
PAC ind	643 €	535 €	108 €	154 €	488 €
PAC coll géo peu performant	1 075 €	955 €	120 €	284 €	791 €
PAC coll géo parc social moyen	816 €	696 €	120 €	206 €	610 €
PAC coll RT2005	657 €	537 €	120 €	158 €	499 €
Fioul coll	365 €	214 €	152 €	- €	365 €

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 : 1980) possède ses installations de distribution et de système de chauffage déjà amorties. Alors qu'un bâtiment existant en distribution collective de chauffage (créé en 1980 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.

⁵⁰ 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 BATIMENTS RT 2012

A. Étude réalisée

L'annexe 2 reprend les éléments principaux de l'étude menée par le Bureau d'étude Tribu Energie⁵¹. 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 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.

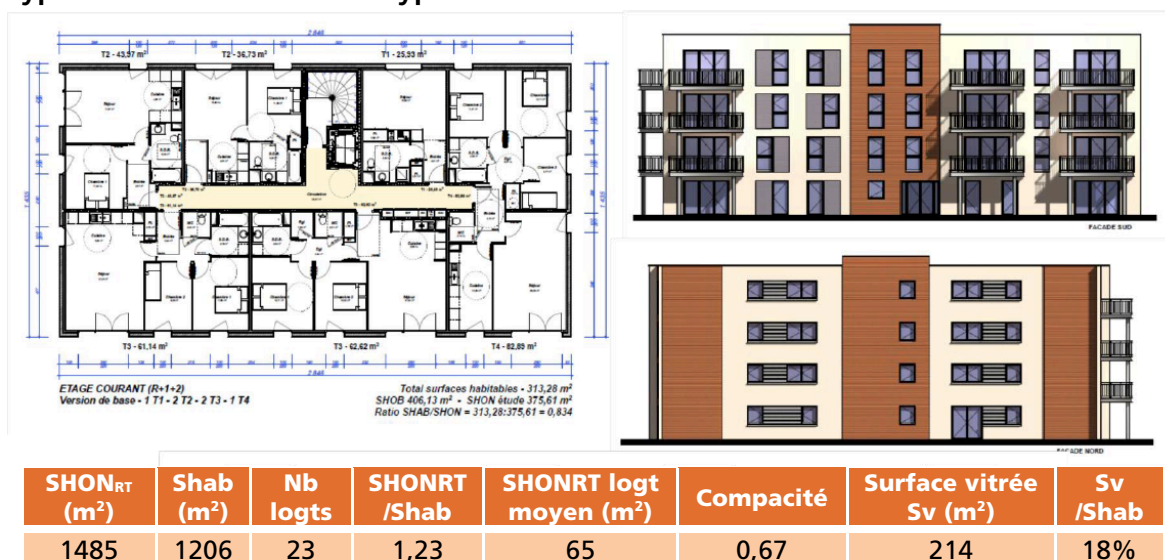
L'exigence d'efficacité énergétique minimale de la conception du bâti de la RT2012 impose un échange amont entre architecte et bureau d'études thermiques. Pour prouver le respect de la RT2012, le maître d'ouvrage devra fournir deux attestations (au dépôt de la demande de permis de construire et à l'achèvement 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 2019, c'est-à-dire qu'elles intègrent la majoration de 7,5 kWh/m².an sur les valeurs de Cep_{max} (50 kWh/m².an).

Nous avons choisi le coefficient de modulation géographique H1a (qui inclut l'Île 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 :



⁵¹ L'étude complète peut être disponible sur simple demande auprès d'AMORCE.

B. Descriptif technique des solutions de chauffage

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.

P _{nom}	50 kW
η 100%	97 %
η 30%	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 + ECS solaire)

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.

P _{nom}	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 (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.

Trois cas de réseaux de chaleur vertueux sont en plus développés, se classant selon leur contenu CO₂ de l'énergie livrée :

Le réseau de chaleur a un contenu CO₂ < 50 g/kWh (coeff de modulation MCGES : 0.3).

Le réseau de chaleur a un contenu CO₂ < 100 g/kWh (coeff de modulation MCGES : 0.2).

Le réseau de chaleur a un contenu CO₂ < 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
RC	4 200 €	1 605 €	5 805 €
Gaz coll cond	7 380 €	0 €	7 380 €
Gaz coll cond + ESC solaire	5 470 €	2 920 €	8 400 €
Gaz ind cond	6 531 €	0 €	6 531 €
Elec ind + ECS ind	1 850 €	3 350 €	5 200 €
PAC géo coll	7 870 €	1 605 €	9 475 €
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/m ² /K)	Coefficient Umaximal selon la RT2005 (en W/m ² /K)
ITI---	Parpaing (20 cm, R=0.23 m ² .K/W) + 8 cm Th38 (R=2.11 m ² .K/W)	0.396	0.450
ITI--	Brique (20 cm, R=0.65 m ² .K/W) + 8 cm Th38 (R=2.11 m ² .K/W)	0.337	
ITI-	Brique (20 cm, R=1.00 m ² .K/W) + 10 cm Th32 (R=3.13 m ² .K/W)	0,231	
ITI+	Brique (20 cm, R=1.00 m ² .K/W) + 12 cm Th30 (R=4.00 m ² .K/W)	0.187	
ITE-	Béton (20 cm, R=1.00 m ² .K/W) + 12 cm Th32 (R=3.75 m ² .K/W)	0.249	
ITE+	Béton (20 cm, R=1.00 m ² .K/W) + 16 cm Th32 (R=5.00 m ² .K/W)	0.190	
ITE++	Béton (20 cm, R=1.00 m ² .K/W) + 20 cm Th32 (R=6.25 m ² .K/W)	0.129	0.400
SS--	Sous-sol + 12 cm flochage Th40 (R=3.00 m ² .K/W)	0.422	
SS-	Sous-sol + 14 cm de flochage Th40 (R=3.50 m ² .K/W)	0.349	
SS+	Sous-sol+12 cm flochage (R=3.00 m ² .K/W) + 6 cm de Th23 (R=2.61 m ² .K/W)	0.198	
SS++	Sous-sol +15 cm fibragglo (R=1.80 m ² .K/W) + 12 cm Th23 (R=5.22 m ² .K/W)	0.119	0.340
TT--	Terrasse + 8 cm Th23 (R=3.48 m ² .K/W)	0.280	
TT-	Terrasse + 10 cm Th23 (R=4.35 m ² .K/W)	0.227	
TT+	Terrasse + 15 cm Th23 (R=6.52 m ² .K/W)	0.154	
TT++	Terrasse + 20 cm Th23 (R=8.70 m ² .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 (€TTC/lgt)
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 €

