

Décarbonation de l'usage Chauffage en France métropolitaine : quelle place pour le biométhane ?

Etude comparative de cas concrets pour 2017 et 2030

26 juin 2018



Les débats actuels autour de la future Réglementation Thermique, de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie et du Scénario National Bas Carbone questionnent la place du gaz dans la transition énergétique

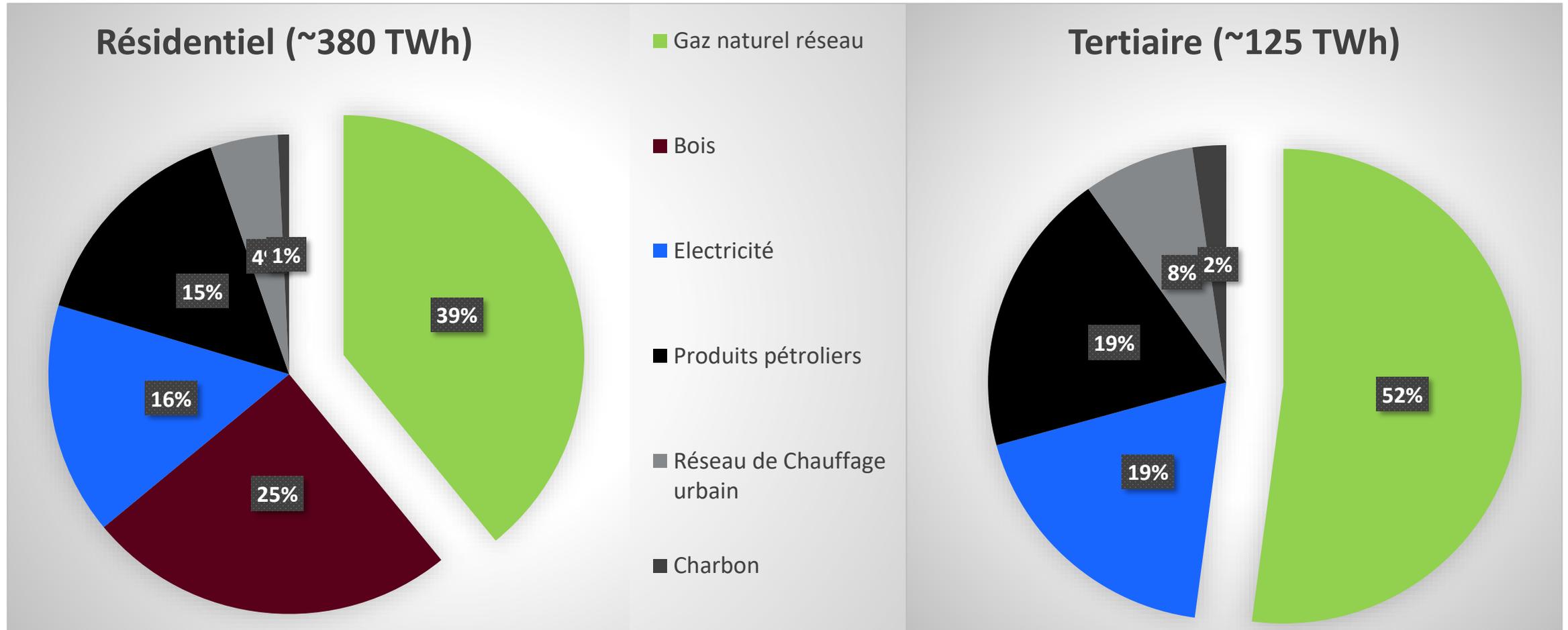
Un contexte réglementaire multiple avec des objectifs à plusieurs horizons temporels ...

- La **Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)** qui fixe des trajectoires de mix énergétique à horizon 2028 et de développement des infrastructures dans une optique de développement des énergies renouvelables et décarbonées
- Le **Scénario National Bas Carbone (SNBC)** qui vise la neutralité carbone avec des trajectoires de mix énergétique à un horizon 2050
- La nouvelle RT (**RE 2018-2020**) qui fixe des normes de performance environnementale et des critères préférentiels en matière d'approvisionnement énergétique pour le chauffage

... questionnant la place des énergies, et notamment celle du gaz naturel

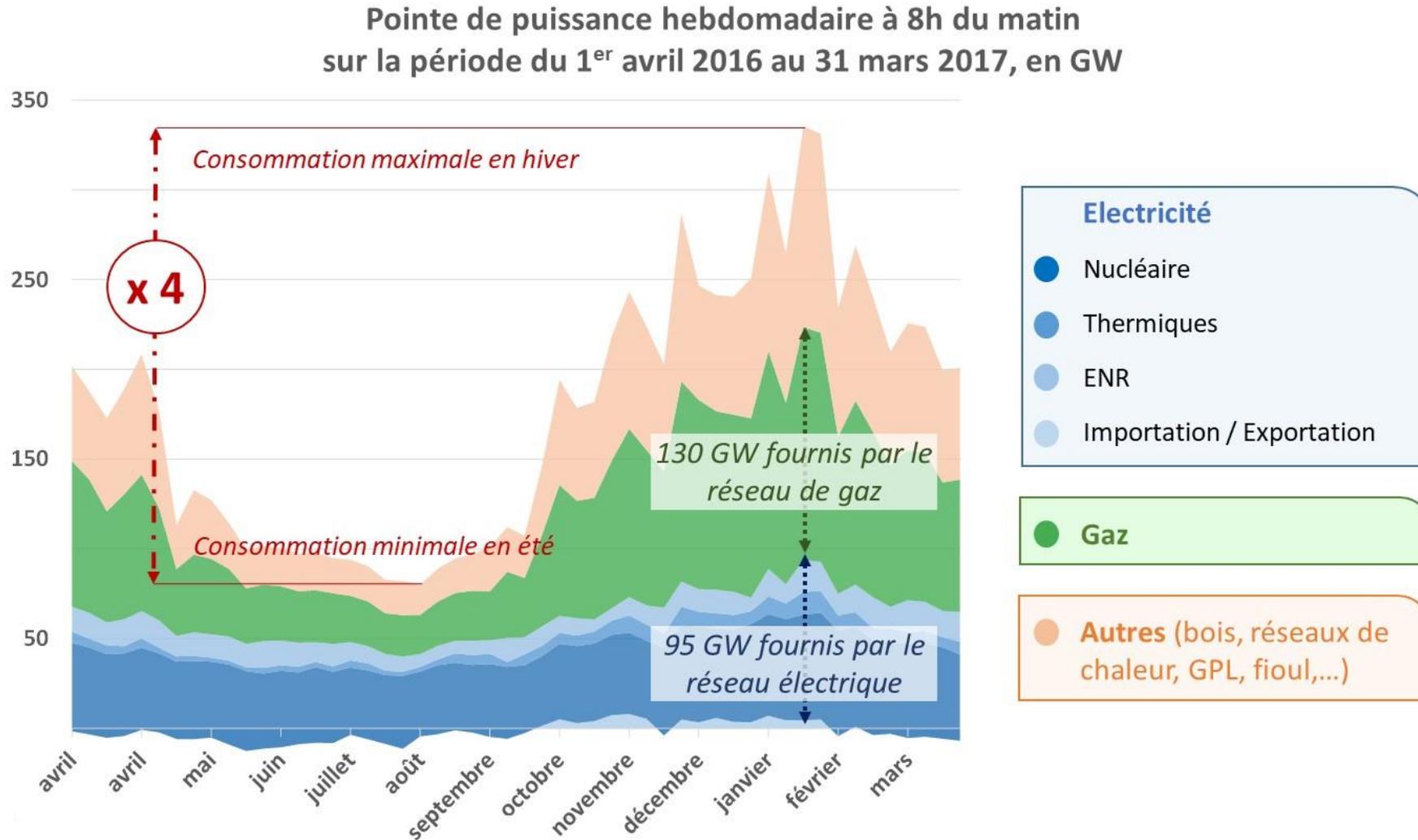
- **Volonté politique** de développer les **énergies renouvelables**, d'améliorer la performance énergétique et de **décarboner les usages**
- Choix du **mix énergétique** le plus approprié pour répondre aux objectifs au **moindre coût** pour la collectivité, et avec une **transition** la plus **rapide** et **simple** possible, et ce dans une logique de **complémentarité entre les énergies** et les infrastructures existantes
- Questionnement sur **la place** des énergies fossiles dans un mix énergétique de plus en plus décarboné, et sur la place du **gaz naturel en particulier**

Pourquoi les usages chaleur ? Le gaz est aujourd'hui la principale énergie de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire (ECS) dans les secteurs résidentiel et tertiaire, devant l'électricité...



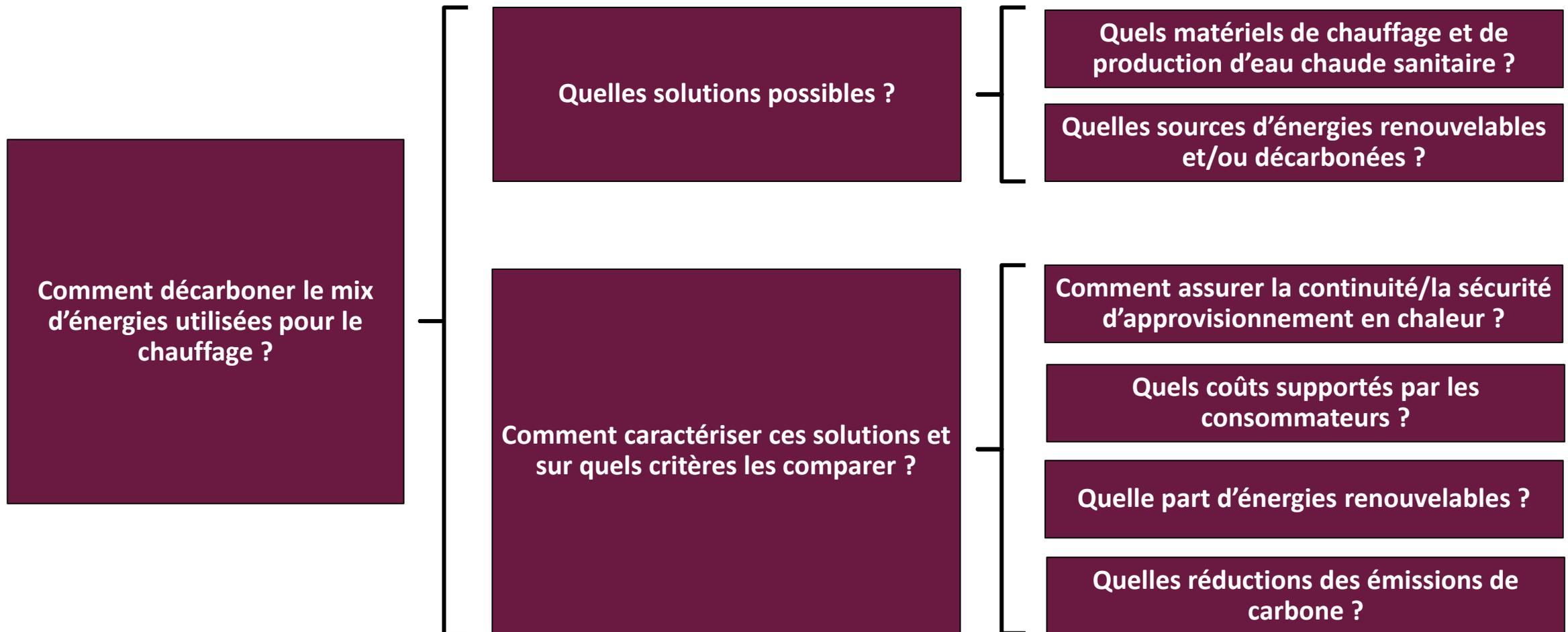
Source : SOeS, Consommations chauffage et ECS dans le résidentiel et dans le tertiaire, 2016

...et joue un rôle primordial dans la sécurité d'approvisionnement du système énergétique, notamment lors des pointes de consommation hivernales



Source : GRDF, cahier d'acteur PPE, 2018

La décarbonation du mix énergétique pour le chauffage pose de nombreuses questions



L'étude Capgemini cherche à apporter des éclairages au débat actuel sur la place des différentes énergies dans le mix et à éclairer en particulier la question de la place du gaz comme énergie de chauffage

APPROCHE ET PRINCIPES DE L'ÉTUDE



- Une comparaison des solutions de décarbonation des usages chaleur (**chauffage** et **eau chaude sanitaire**) à 2 horizons de temps : **2017** et **2030** pour 3 types de bâtiments (**maison individuelle**, **appartement**, **bâtiment tertiaire**)
- ... basée sur des **cas concrets** de chauffage (combinaison d'un système de chauffage et d'un type d'énergie utilisée)...
- ... avec des **critères de comparaison objectifs et quantifiables** (viabilité technique, coût complet pour le consommateur, part de la consommation couverte par de l'énergie renouvelable, émissions de CO₂, coût de la tonne de CO₂ évitée)





L'étude se base sur 3 types de bâtiment dont les besoins en énergie (utile) pour le chauffage (CH), l'eau chaude sanitaire (ECS) et l'électricité spécifique doivent être satisfaits



Maison individuelle



Appartement



Bâtiment tertiaire

Surface
111 m²

Surface
64 m²

Surface
465 m²

Localisation	Chauffage	Eau chaude sanitaire	Electricité Spécifique
Nord	97 kWh/m ² /an	9 kWh/m ² /an	30 kWh/m ² /an
Sud	42 kWh/m ² /an	7 kWh/m ² /an	30 kWh/m ² /an

Chauffage	Eau chaude sanitaire	Electricité Spécifique
87 kWh/m ² /an	12 kWh/m ² /an	30 kWh/m ² /an
38 kWh/m ² /an	10 kWh/m ² /an	30 kWh/m ² /an

Chauffage	Eau chaude sanitaire	Electricité Spécifique
94 kWh/m ² /an	18 kWh/m ² /an	60 kWh/m ² /an
41 kWh/m ² /an	15 kWh/m ² /an	60 kWh/m ² /an

- Une consommation d'électricité spécifique a été appliquée à toutes les configurations. Elle permet une comparaison du coût complet pour le client final qui prend en compte la mutualisation des coûts réseau électrique dans des cas 100% électriques (part fixe des coûts réseau sur une consommation plus importante). Cette consommation spécifique induit des coûts de fourniture (mix électrique) et d'acheminement y compris pour les configurations 100% chauffage et eau chaude sanitaire au gaz.
- Pour le cas tertiaire notamment, les besoins en climatisation n'ont pas été pris en compte dans le périmètre de l'étude.
- Les consommations en énergie utile par m² ont été utilisées pour permettre de comparer les solutions quelle que soit l'énergie de chauffage, pour 2 zones géographiques : Nord (Département de la Meurthe et Moselle, 54), et Sud (Département du Var, 83). Méthode : Moyennes des consommations de chauffage et d'ECS par énergie pour les systèmes individuels (source CEREN) en énergie finale, ramenées à une énergie utile en prenant en compte des rendements moyens des systèmes de chauffage individuels, puis écart à cette moyenne à proportion des degrés-jours pour Nord (2287) et Sud (1000) par rapport à la France métropolitaine (1900). Les cas Nord et Sud ont été ensuite moyennés pour la présentation des résultats.
- Dans le cas des chauffages collectifs, on considère 20 appartements par chaufferie, et pour le tertiaire, 5 plateaux de bureaux par chaufferie.



Pour satisfaire les besoins chauffage et ECS, il existe une multitude de combinaisons possibles...

Besoins
CH + ECS

COUVERTS PAR UNE COMBINAISON ...



...de matériels de chauffe et de production d'ECS

- Convecteur électrique
- Chaudière à gaz
- Chaudière à granulés (pellets)
- Pompe à chaleur électricité (PAC)
- Pompe à chaleur gaz (PACgaz)
- Ballon d'eau chaude

+

d'énergies de réseau

- Electricité provenant du mix moyen
- Electricité 100% photovoltaïque au sol
- Electricité 100% éolienne
- Gaz provenant du mix moyen
- Gaz 100% biométhane
- Chaleur provenant du réseau de chaleur urbain (biomasse bois/gaz)

ET /
OU

d'autres énergies

- Granulés de bois directement livrés au bâtiment
- Electricité photovoltaïque de toiture produite et autoconsommée sur place (pour l'ECS)

- Dans le cas du PV toiture autoconsommé, on suppose que la production couvre 50% des besoins d'ECS.
- Les cas 100% électricité photovoltaïque au sol et 100% éolien sont purement théoriques mais permettent d'introduire la discussion sur le stockage des énergies renouvelables électriques intermittentes, étant donné qu'il n'y a pas, à ce jour, de source consensuelle sur le coût du mix électrique 100% renouvelable. Ils ont par conséquent été étudiés pour la maison individuelle seulement, et n'ont pas été reproduits pour les autres types de bâtiments.
- Dans le cas du réseau de chauffage urbain, il n'y a pas de matériel de chauffe local, puisque la production et distribution de chaleur sont centralisées au sein du réseau.



...25 de ces combinaisons possibles, parmi les plus répandues, ont été étudiées



Maison individuelle 111 m²

Chauffage Individuel



Appartement 64 m²

Chauffage Individuel



Bâtiment tertiaire 465 m²

Chauffage Collectif

Référence*



CH Mix
Chaudière gaz

ECS Mix
Chaudière gaz

Solutions gaz

CH 100%
Chaudière Biometh

ECS 100%
Chaudière Biometh

CH 100%
PACgaz Biometh

ECS 100%
PACgaz Biometh

Solutions électriques

CH Mix
Convecteur élec

ECS Mix
Ballon élec

CH Mix
Convecteur élec

ECS Mix
Ballon élec

CH Mix
Convecteur élec

ECS Mix
Ballon élec

CH Mix
Convecteur élec

ECS 50% « Auto
Ballon PV Toit conso »

CH Mix
Convecteur élec

ECS 50% « Auto
Ballon PV toit conso »

CH 100%
Convecteur éolien

ECS 100%
Ballon éolien

CH 100%
Convecteur PV sol

ECS 100%
Ballon PV sol

CH Mix
PAC élec

ECS Mix
PAC élec

CH Mix
PAC élec

ECS 50% « Auto
PAC PV toit conso »

CH Mix
PAC élec

ECS Mix
PAC élec

CH 100%
PAC éolien

ECS 100%
PAC éolien

CH Mix
PAC élec

ECS 50% « Auto
PAC PV toit conso »

CH 100%
PAC PV sol

ECS 100%
PAC PV sol

Solutions biomasse solide

CH 100%
Chaudière Pellets

ECS Mix
Ballon élec

CH 90%
Rés. Chal. Biomasse

ECS 90%
Rés. Chal. Biomasse

CH 90%
Rés. Chal. Biomasse

ECS 90%
Rés. Chal. Biomasse

* Référence utilisée pour les émissions de CO2 évitées et le coût des émissions de CO2 évitées par des solutions décarbonées



Les solutions ont été évaluées selon 5 critères quantifiables...

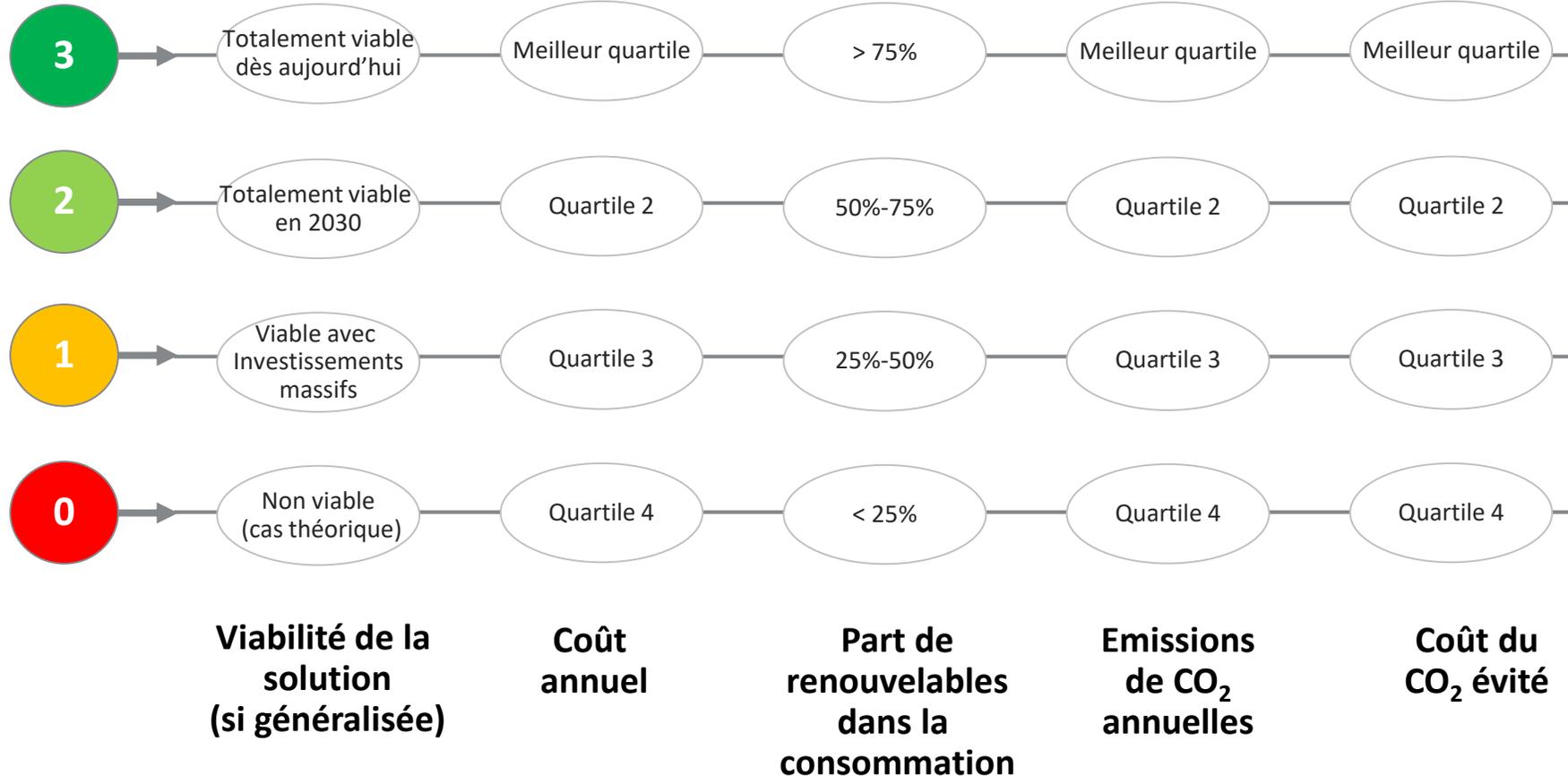
- **Viabilité technique** des solutions évaluées si elles sont généralisées, traduisant la capacité des productions d'énergie à répondre aux profils des consommations, sans avoir recours à des investissements massifs dans le stockage d'électricité ou dans les réseaux
- **Coûts complets annuels (€/an)** hors subvention, supportés par le consommateur, reconstitués par empilements des coûts énergie, réseau/stockage, taxes sur l'énergie (dont TICGN, TICFE, TVA) et coûts complets des matériels (amortissement et maintenance en TTC)
- **Part de la consommation (%) couverte** par les énergies renouvelables en énergie utile (chauffage + ECS + électricité spécifique)
- **Emissions annuelles de carbone (tCO₂/an)** : émissions de CO₂ du mix énergétique de la solution
- **Coût de la tonne de CO₂ évitée (€/tCO₂/an)** par rapport au cas de référence de la solution chaudière à gaz, calculée comme la différence entre le coût annuel complet de la solution étudiée et celui de la solution au gaz naturel divisée par la différence de l'intensité carbone de la solution au gaz naturel et de celle de la solution étudiée



... puis les solutions ont été notées et ordonnées selon des notes de 0 à 3 pour chacun des 5 critères

Score pour
2017 / 2030

Pour chaque configuration étudiée



Le biométhane est aujourd'hui une solution tout-à-fait pertinente techniquement et économiquement pour couvrir 100% des besoins chauffage et ECS avec de l'énergie renouvelable et décarbonée

Les solutions biométhane sont **compétitives** à horizon 2030 pour décarboner les usages chauffage et ECS...

- **En 2017**, les solutions au gaz naturel sont globalement les plus compétitives, notamment vis-à-vis des PAC dans le résidentiel et le tertiaire et des réseaux de chaleur biomasse dans le grand collectif. Les autres solutions EnR (électricité renouvelable, comme biométhane) sont moins compétitives essentiellement en raison des coûts de production de l'énergie par rapport au prix du mix moyen.
- **En 2030**, les solutions biométhane deviennent compétitives, à parité de coûts complets avec les solutions au gaz naturel et devant les solutions PAC électriques dans le résidentiel et le collectif, et les réseaux de chaleur biomasse dans le tertiaire.

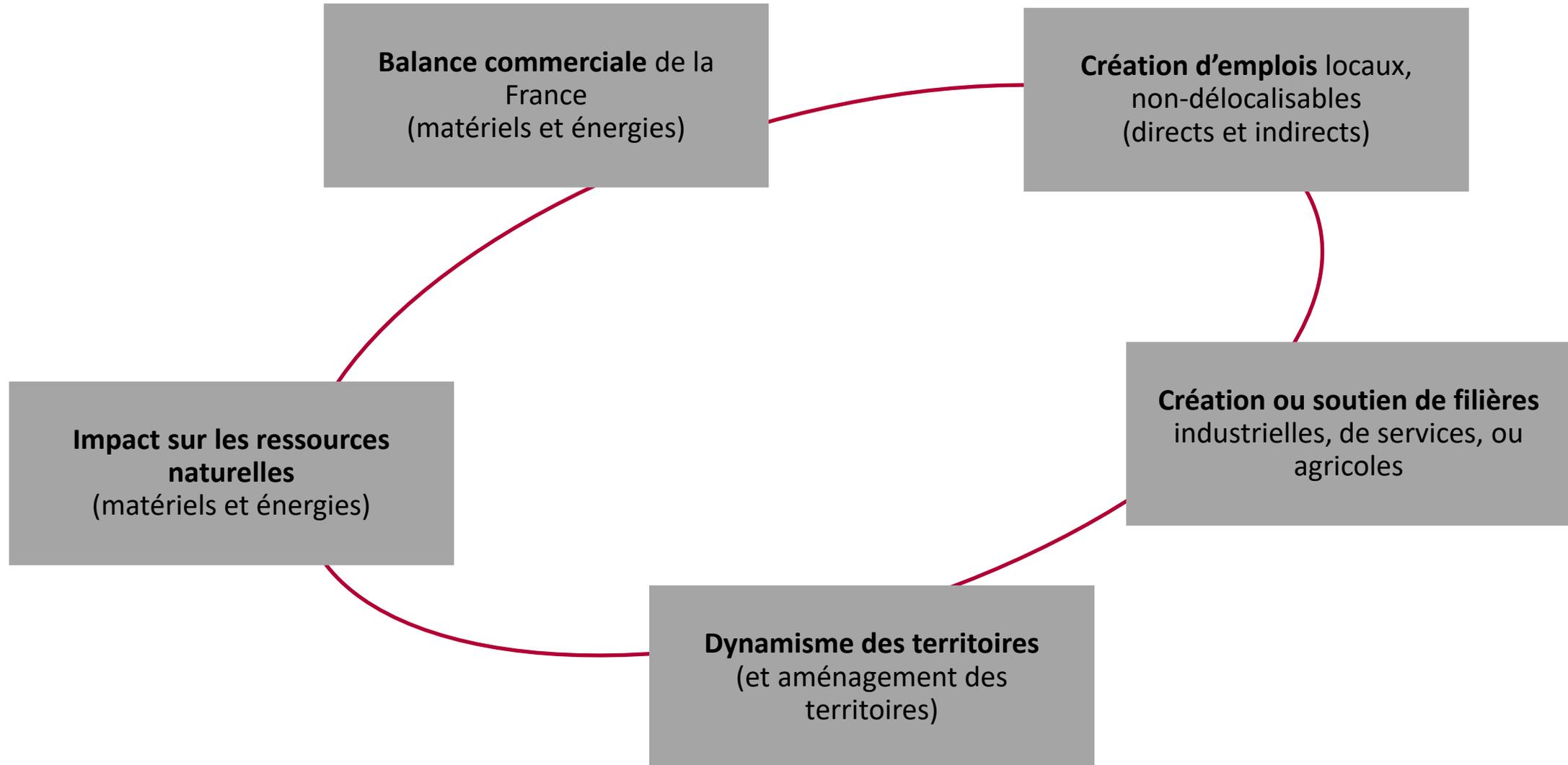
...possèdent le **potentiel de décarbonation le plus important, à un coût raisonnable...**

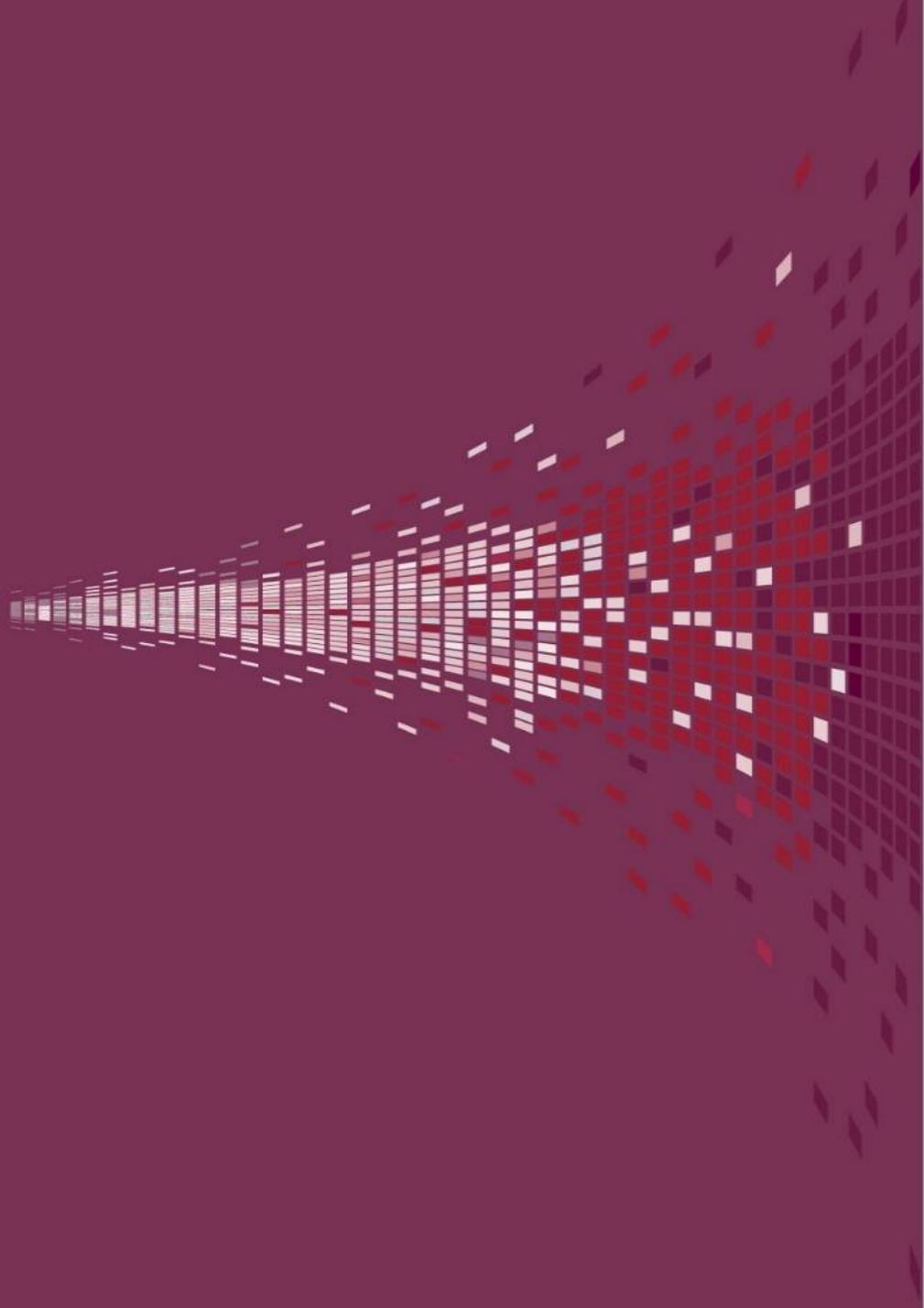
- **Les solutions biométhane possèdent le meilleur potentiel de baisse des émissions de CO₂ de toutes les solutions étudiées**, en 2017 et 2030, car elles viennent remplacer l'énergie la plus émettrice de CO₂ : le gaz naturel (-90% de CO₂ lors du passage au biométhane).
- Par ailleurs, ses **coûts d'évitement sont raisonnables en 2017 et deviennent les moins élevés en 2030 pour tous les segments étudiés**, devant les pompes à chaleur pour la maison individuelle et le tertiaire, et devant le réseau de chaleur biomasse pour les appartements en chauffage collectif et le tertiaire

... et sont les **seules solutions viables** permettant une **couverture à 100%** des consommations chauffage + ECS par de l'énergie renouvelable et décarbonée

- Les solutions basées sur l'électricité 100% solaire au sol ou 100% éolien sont clairement non viables : leur production intermittente ne permet pas de couvrir la consommation de la totalité des besoins chauffage. Pour les rendre opérantes, il faudrait y adjoindre des technologies de stockage ou faire appel à d'autres sources de production, au détriment des autres critères d'évaluation (coûts, % renouvelable, CO₂).
- Les solutions électriques viables (PAC avec PV toiture notamment) ne peuvent couvrir qu'une partie des consommations (50% de la consommation d'ECS), ne possèdent finalement qu'une part assez limitée (<40%) d'énergie renouvelable avec de simples convecteurs et restent relativement carbonées (car elles font appel en partie au mix du système électrique pour couvrir les consommations non couvertes par la production des panneaux). Par ailleurs, le déploiement massif de ces solutions pourrait poser un problème d'appel de puissance sur le réseau électrique.
- **Les solutions biométhane permettent une couverture complète des consommations chauffage et ECS avec une énergie 100% renouvelable et décarbonée : la production de biométhane est continue toute l'année et peut s'appuyer sur les capacités existantes de stockage de l'infrastructure gazière française (140 TWh de stockages souterrains intersaisonniers) pour répondre aux pointes de consommation hivernales.**

Par ailleurs, d'autres externalités n'ont pas été traitées dans le cadre de cette étude et pourraient être intégrées dans la comparaison des moyens de chauffage





**Viabilité technique des solutions renouvelables,
dans leur capacité à répondre aux profils de
consommations si elles sont généralisées**

Viabilité des cas étudiés : la modulation saisonnière est impérative pour l'équilibre des systèmes ; le biométhane est la seule énergie renouvelable à répondre parfaitement aux besoins Chauffage et ECS



	BESOINS			ENR ELEC					ENR GAZ
	CH	ECS	SPECIFIQUE	PV	EOLIEN ONSHORE	EOLIEN OFFSHORE	PARC HYDRO	NUCLEAIRE (électricité décarbonée)	BIO METHANE
12 MOIS (inter-saisonnier)									
7 JOURS (plusieurs jours)									
24 h (intra journalier)									

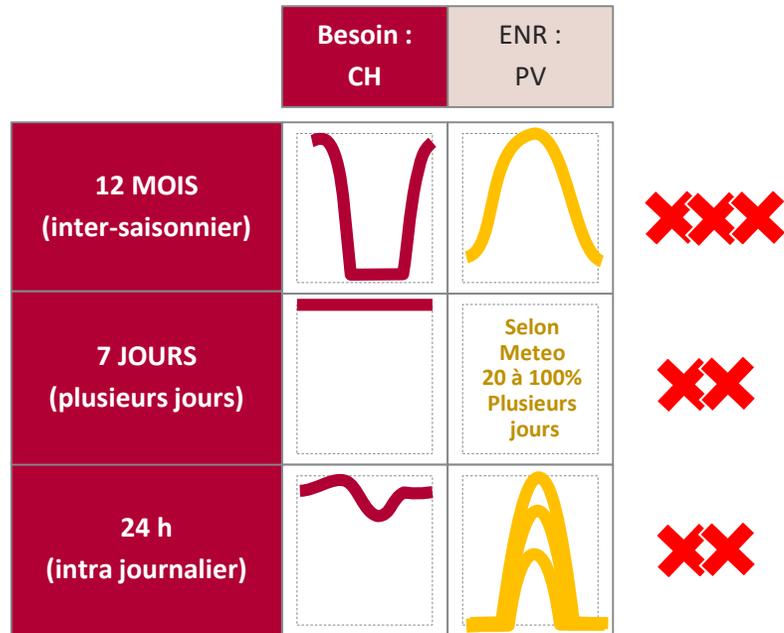
En électricité le stockage est possible avec un surcoût significatif en intra et multi journalier

- Il n'existe pas de stockage intersaisonnier en électricité
- Stockage sur plusieurs jours : 4,3 GW en France de STEP hydrauliques - Stations de Transfert d'Énergie par Pompage - Coûts 15 à 75 €/MWh*
- Stockage intrajournalier : en Allemagne la moyenne des batteries résidentielles vendues début 2017 revient à 865 €/kWh*. Le surcoût de stockage et déstockage d'un MWh estimé par l'IRENA* est de 430 €/MWh en moyenne en 2016, descendant en moyenne à 120 €/MWh en 2030.

Le biométhane peut être stocké sur toutes les périodes de temps sans surcoût par rapport à aujourd'hui

- Le stockage souterrain existe déjà pour le gaz naturel et permet du stockage intersaisonnier et multi journalier.
- La flexibilité dans les réseaux de transport et distribution (stock en conduite rendu possible par une gestion dynamique de la pression) permet le stockage intra et multi journalier
- La production de biométhane est continue. Et le biométhane est stockable au même titre que le gaz naturel.
- Le développement de la production de biométhane n'engendre pas d'investissements complémentaires dans le stockage par rapport à l'existant

Pour le Chauffage, seules les solutions 100% biométhane permettent une couverture 100% renouvelable sans surcoût de stockage/modulation ; les cas 100% PV et 100% éolien ne sont pas viables

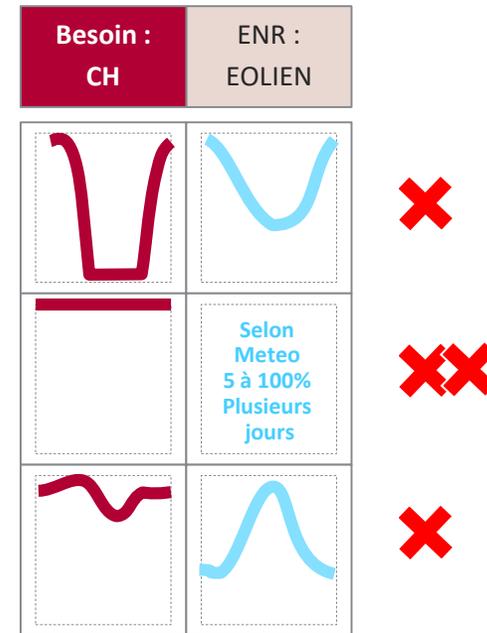


Le Chauffage 100% PV n'est tout simplement pas possible car il n'existe pas de stockage intersaisonnier en électricité

- On chauffe en hiver (profil 12 mois de gauche)
- Le soleil produit en été (profil 12 mois de droite)

De plus il faut encore :

- Du stockage interjournalier (couverture météo) : STEP
- Moduler le chauffage en intrajournalier
- Du stockage intrajournalier : surcoût lié au stockage déstockage de 120 €/MWh en 2030 (*)

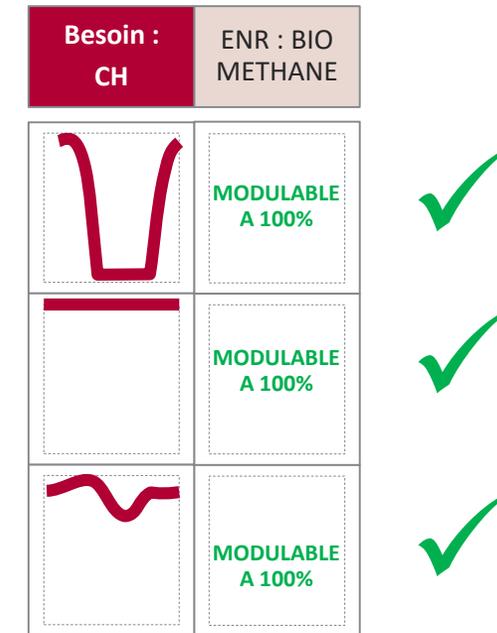


La courbe saisonnière éolienne se rapproche de celle du chauffage

- Elle n'est pas aussi creuse : il faut compléter par du back-up thermique national ou importé comme on le fait déjà pour le nucléaire – ce n'est pas du 100% éolien.

De plus il faut encore :

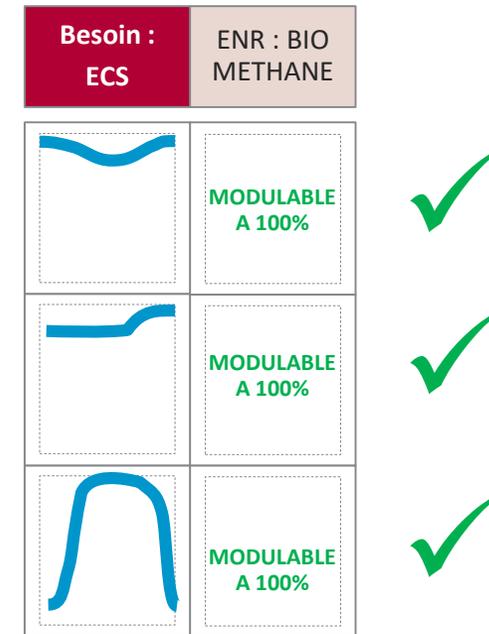
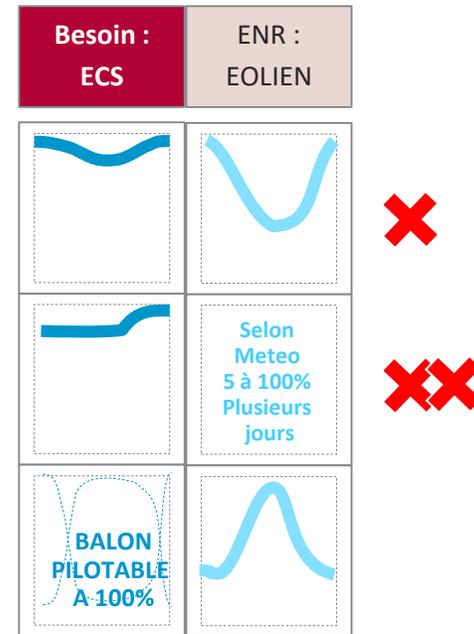
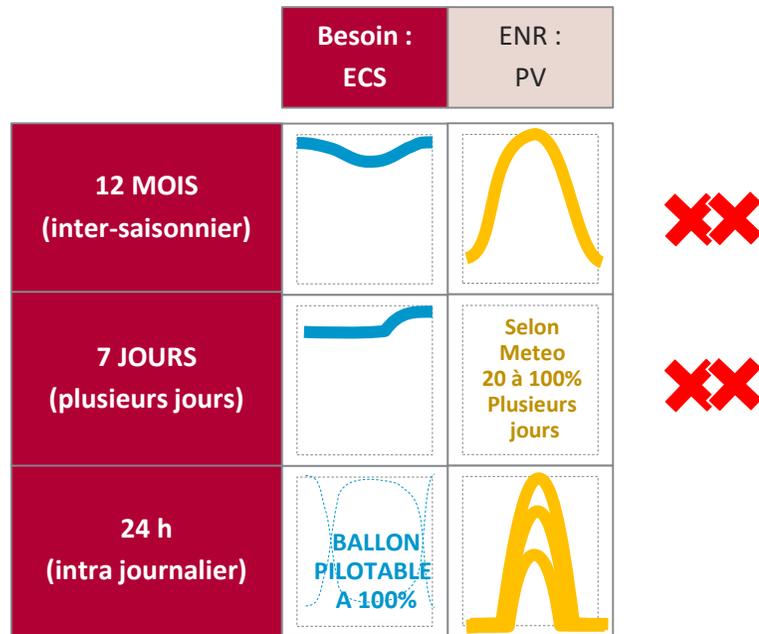
- Du stockage interjournalier (couverture météo) : STEP
- Moduler le chauffage en intrajournalier
- Du stockage intrajournalier : surcoût lié au stockage déstockage de 120 €/MWh en 2030 (*)



Le 100% biométhane permet du chauffage 100% ENR sans surcoûts de stockage, tout le temps – comme aujourd'hui :

- Le stockage souterrain existe déjà pour le gaz naturel (intersaisonnier et multi journalier).
- Les conduites de transport et distribution de gaz permettent le stockage intra et multi journalier
- La production de biométhane est continue et se stocke de la même manière que le gaz naturel
- Le développement de la production de biométhane n'engendre pas d'investissements complémentaires dans le stockage par rapport à l'existant

Pour l'ECS, les solutions biométhane s'adaptent aux courbes de charge, les solutions d'autoconsommation (PV en toiture) ne peuvent fournir que 50% du besoin annuel en ECS



En autoconsommation sans stockage électrique, le besoin ECS est couvert à environ 50% - soit 20% du besoin total de la maison

- Le ballon d'eau chaude est un moyen de stockage journalier.
- En été, le solaire PV peut couvrir quasiment 100% du besoin
- En hiver la couverture est d'environ 10%.

Pour augmenter ce taux de 20% à 40%, il faut surdimensionner le toit PV et ajouter du stockage intra-journalier

- Surdimensionner permet de couvrir plus de besoins ECS et autres
- Il faut alors du stockage pour consommer les surplus solaires sur les autres usages en dehors des heures solaires
- Surcoût de stockage/déstockage par batteries : 120 €/MWh en 2030 (*)

L'éolien pour l'ECS

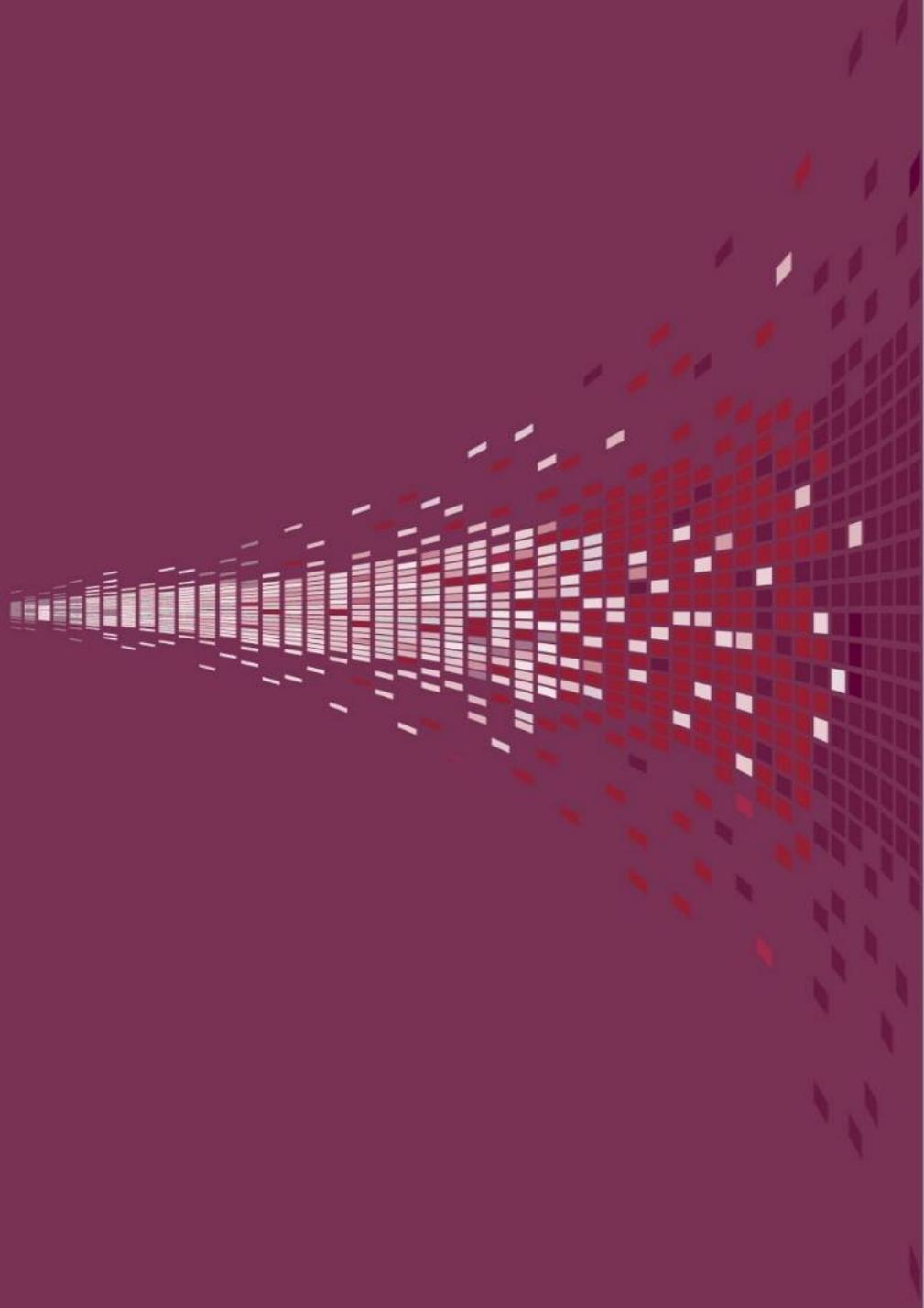
- Intersaisonnier : l'éolien n'est pas suffisant en été. Il faut compléter avec de l'excédent estival nucléaire ou PV – ce n'est pas du 100% éolien

La maille hebdo et journalière se résout classiquement par

- du stockage interjournalier (couverture météo) : STEP, modulation de l'hydraulique et des moyens conventionnels

Le 100% biométhane permet une ECS 100% ENR sans surcoûts de stockage, tout le temps – comme aujourd'hui :

- Pour le multi-journalier, le stockage souterrain existe déjà pour le gaz naturel.
- Les conduites de transport et distribution de gaz permettent le stockage intra et multi journalier
- La production de biométhane est continue et se stocke de la même manière que le gaz naturel
- Le développement de la production de biométhane n'engendre pas d'investissements complémentaires dans le stockage par rapport à l'existant



Détails des analyses pour les maisons individuelles





Maison individuelle 111 m²

Chauffage Individuel

Noms utilisés dans l'étude

	CH		ECS		
Solutions gaz	CH Chaudière	Mix gaz	ECS Chaudière	Mix gaz	Chaudière CH ECS / Mix gaz
	CH Chaudière	100% Biometh	ECS Chaudière	100% Biometh	Chaudière CH ECS / 100% biométhane
	CH PACgaz**	100% Biometh	ECS PACgaz**	100% Biometh	PACgaz CH ECS / 100% biométhane
Solutions électriques	CH Convecteur	Mix élec	ECS Ballon	Mix élec	Convecteur CH ECS / Mix électrique
	CH Convecteur	Mix élec	ECS Ballon	50% « Auto PV Toit conso »	Convecteur CH / Mix électrique + Ballon ECS / 50% PV en toiture
	CH Convecteur	100% éolien	ECS Ballon	100% éolien	Convecteur CH + Ballon ECS / 100% éolien
	CH Convecteur	100% PV sol	ECS Ballon	100% PV sol	Convecteur CH + Ballon ECS / 100% PV centrale au sol
	CH PAC	Mix élec	ECS PAC	Mix élec	PAC CH ECS / Mix électrique
	CH PAC	Mix élec	ECS PAC	50% « Auto PV toit conso »	PAC CH / Mix électrique + PAC ECS / 50% PV en toiture
Solutions biomasse solide	CH Chaudière	100% Pellets	ECS Ballon	Mix élec	Chaudière CH / Pellets + Ballon ECS mix électrique

! Cas partiellement viable si adaptations

!! Cas théorique car solution non viable

* Référence utilisée pour les émissions de CO₂ évitées et le coût des émissions de CO₂ évitées par des solutions décarbonées ; ** solution étudiée seulement en 2030

D'ici 2030, les solutions 100% biométhane sont optimales en matière de viabilité, avec un coût annuel et d'éviction de CO₂ compétitif, une part forte de renouvelable, des émissions faibles de CO₂



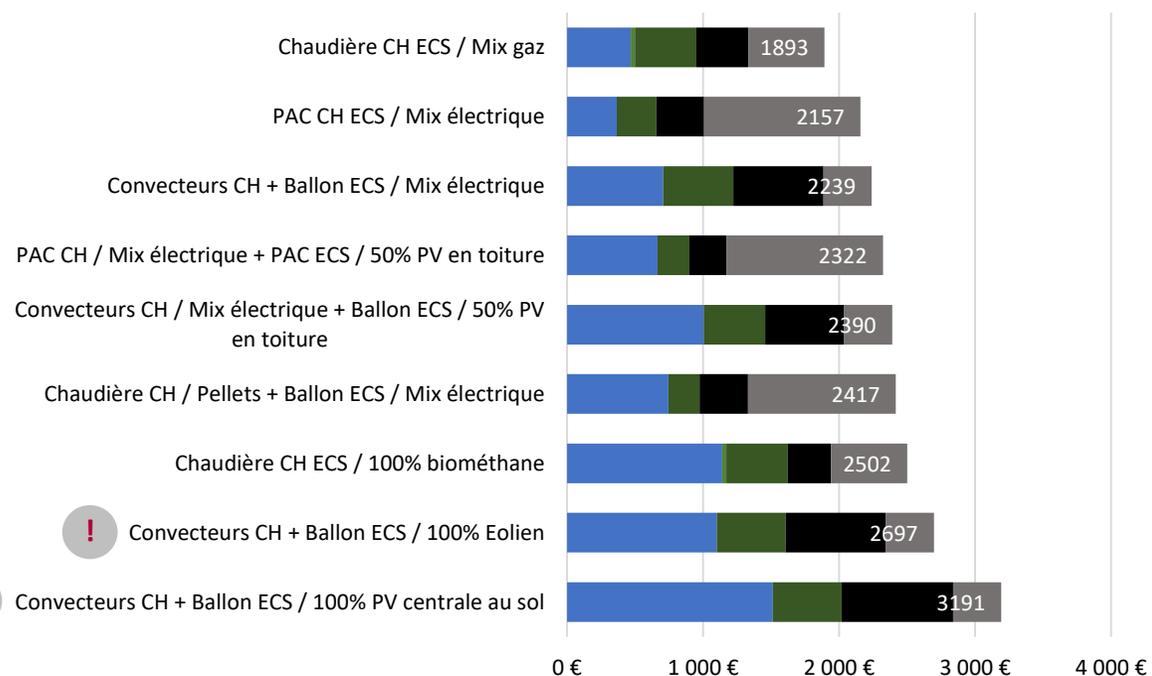
Maison individuelle 111 m²

	scores pour 2017					scores pour 2030				
	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité
Chaudière CH ECS / 100% biométhane	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3
PACgaz CH ECS / 100% biométhane						2	2	3	3	2
PAC CH ECS / Mix électrique	3	3	2	1	3	3	2	3	1	2
PAC CH / Mix électrique + PAC ECS / 50% PV en toiture	3	2	2	1	2	3	2	3	1	1
Chaudière CH / Pellets + Ballon ECS mix électrique	3	2	2	2	2	3	1	3	2	1
Convecteur CH / Mix électrique + Ballon ECS / 50% PV en toiture	3	2	1	0	0	3	0	2	0	0
Convecteur CH ECS / Mix électrique	3	3	0	0	1	3	1	2	0	0
Convecteur CH + Ballon ECS / 100% éolien	1	1	3	3	1	1	1	3	3	2
Convecteur CH + Ballon ECS / 100% PV centrale au sol	0	0	3	1	0	0	3	3	1	2

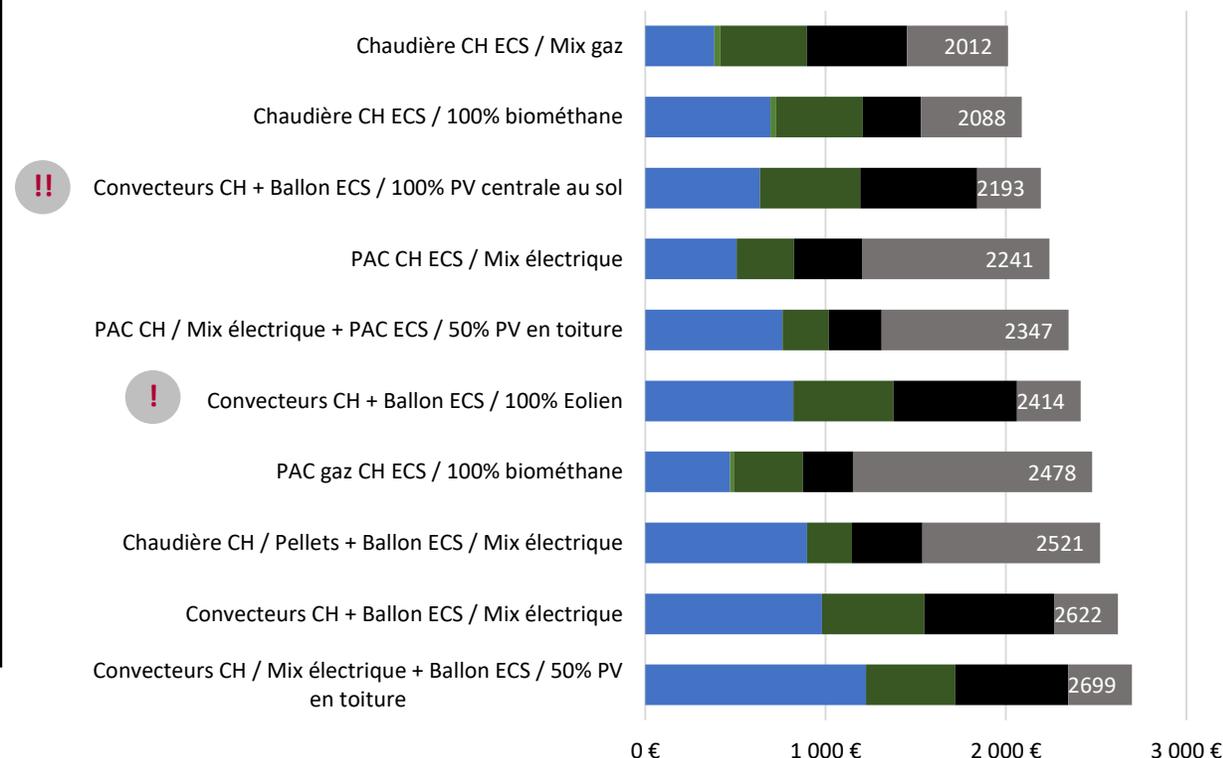
Maison individuelle – coût complet des solutions en €/an



2017



2030



!! Cas théorique car solution non viable

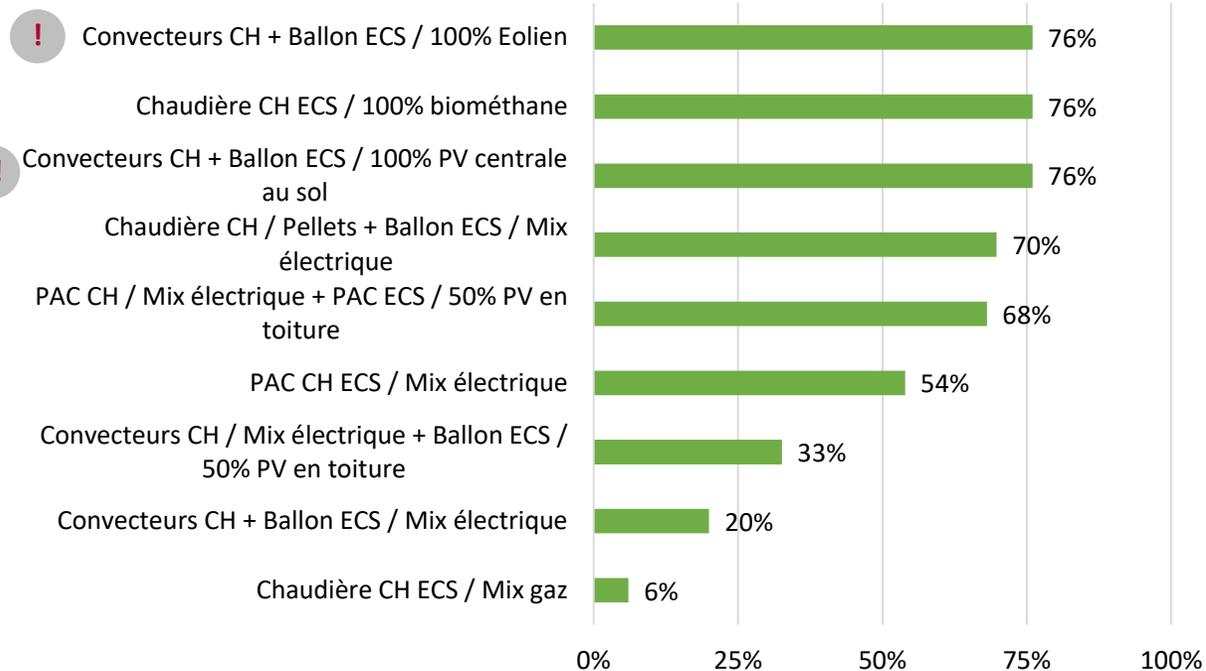
! Cas partiellement viable si adaptations

Principales conclusions

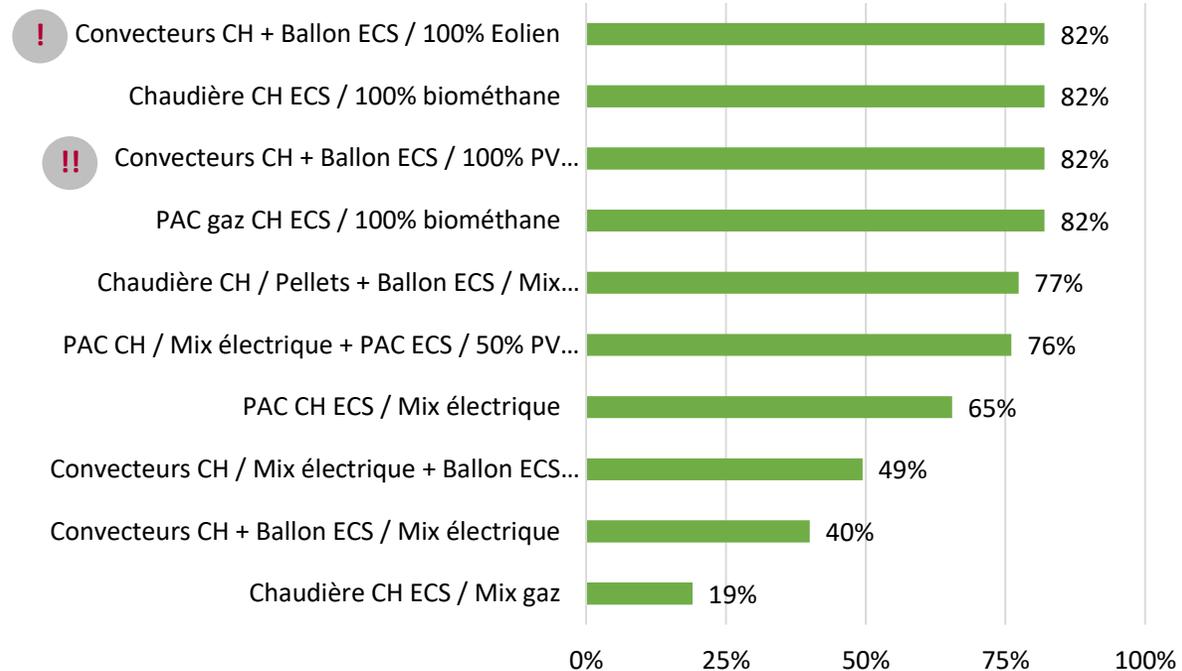
- Les solutions chaudière au gaz naturel et pompe à chaleurs alimentées par l'électricité du réseau sont les moins chères en 2017.
- En 2030, les cas électriques perdent leur attractivité, principalement en raison du coût du mix électrique moyen (63 €/MWh). Les configurations chaudière gaz naturel, biométhane et la PAC 100% centrale solaire au sol sont à quasi parité de coûts et sont les plus compétitives.
- La quasi parité des solutions gaz naturel/biométhane s'explique par la compensation du surcoût du biométhane par un évitement de la TICGN (18,4 €/MWh de gaz, correspondant à des émissions de 100 €/t).



2017



2030



!! Cas théorique car solution non viable

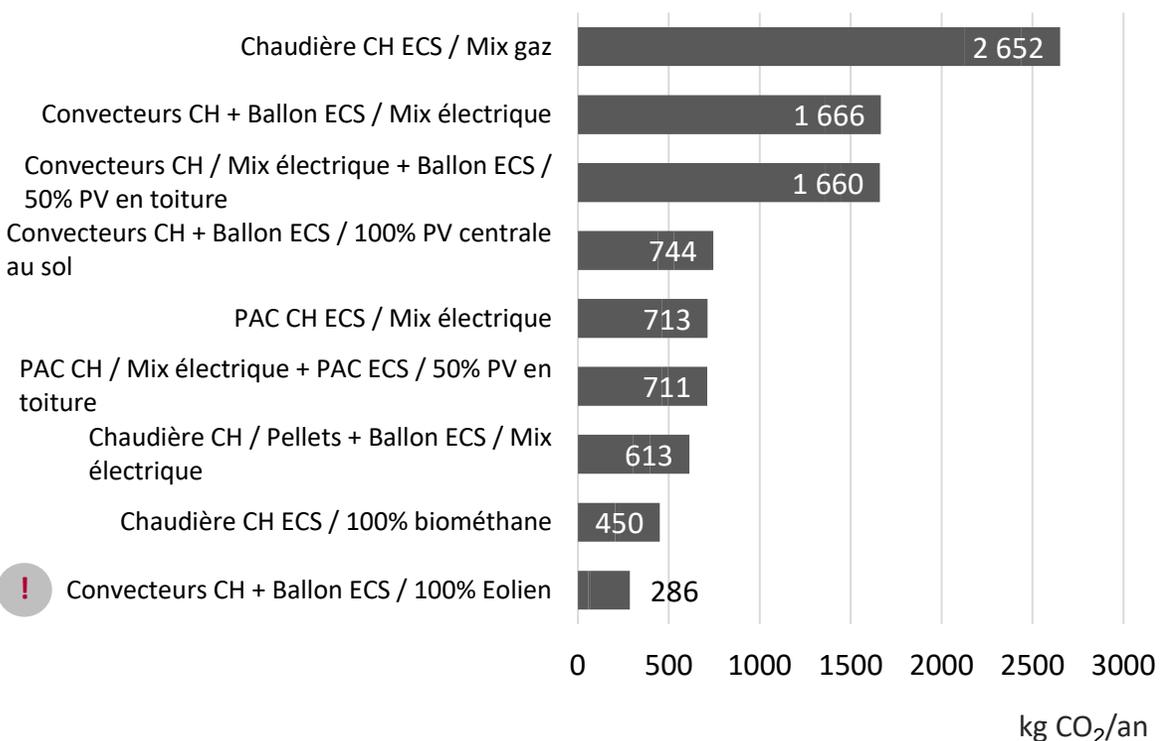
! Cas partiellement viable si adaptations

Principales conclusions

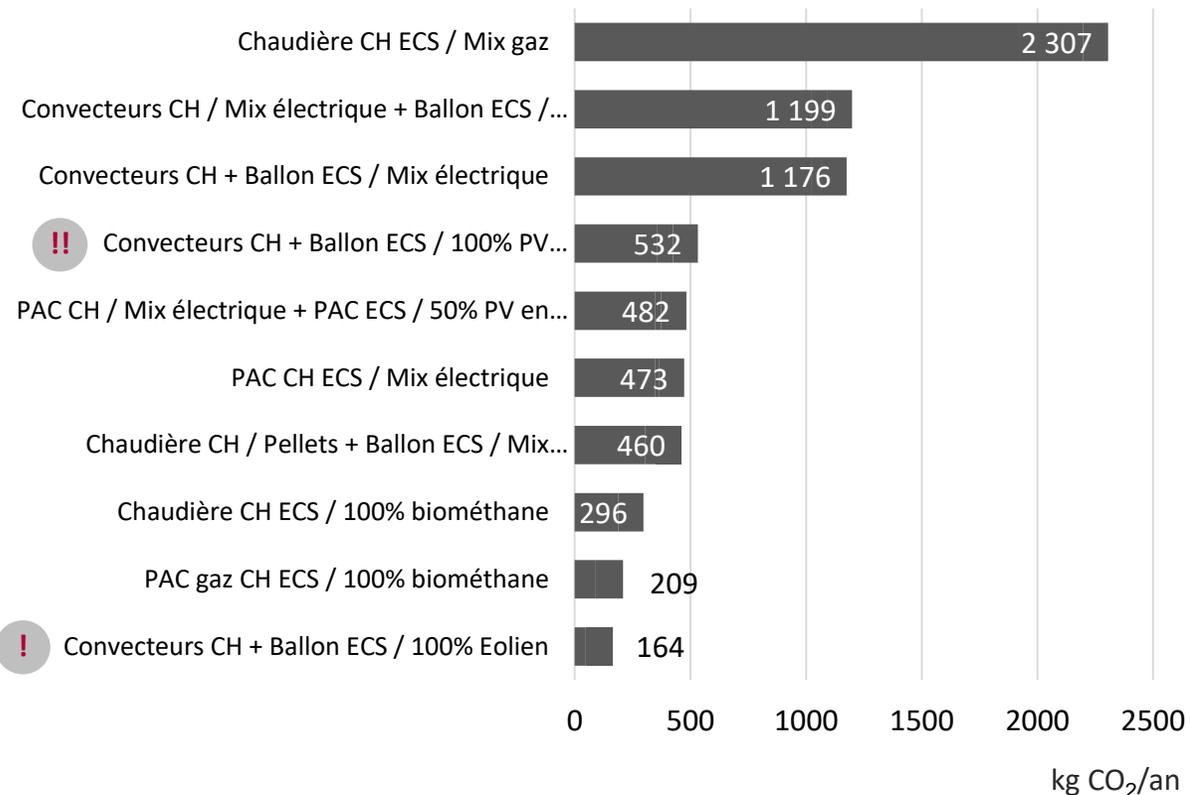
- En 2017 comme en 2030, le 100% biométhane est le cas le plus réaliste permettant de couvrir la part la plus importante des consommations par une énergie renouvelable (la part non renouvelable est liée à l'électricité spécifique, provenant par construction du mix du réseau électrique). La chaudière pellets et la PAC électrique avec des panneaux PV pour l'ECS se classent juste derrière.
- Les cas au mix électrique et au mix gaz ne sont pas significativement plus renouvelables en 2030, malgré la forte progression du renouvelable (40%) dans le mix électrique 2030 et conforme à la LTECV pour le gaz (10% d'injection de biométhane).



2017



2030



!! Cas théorique car solution non viable

! Cas partiellement viable si adaptations

Principales conclusions

- Les émissions de CO₂ des cas chaudière au gaz naturel et convecteurs au mix électrique sont les plus élevées de toutes les solutions étudiées en 2017 et 2030. L'ajout de panneaux solaires pour fournir 50% de l'ECS ne baissent que très peu les émissions.
- Les solutions permettant de réduire les émissions au maximum sont les solutions 100% biométhane.

Maison individuelle – kg de CO₂ évités et coût de la tonne de CO₂ évitée

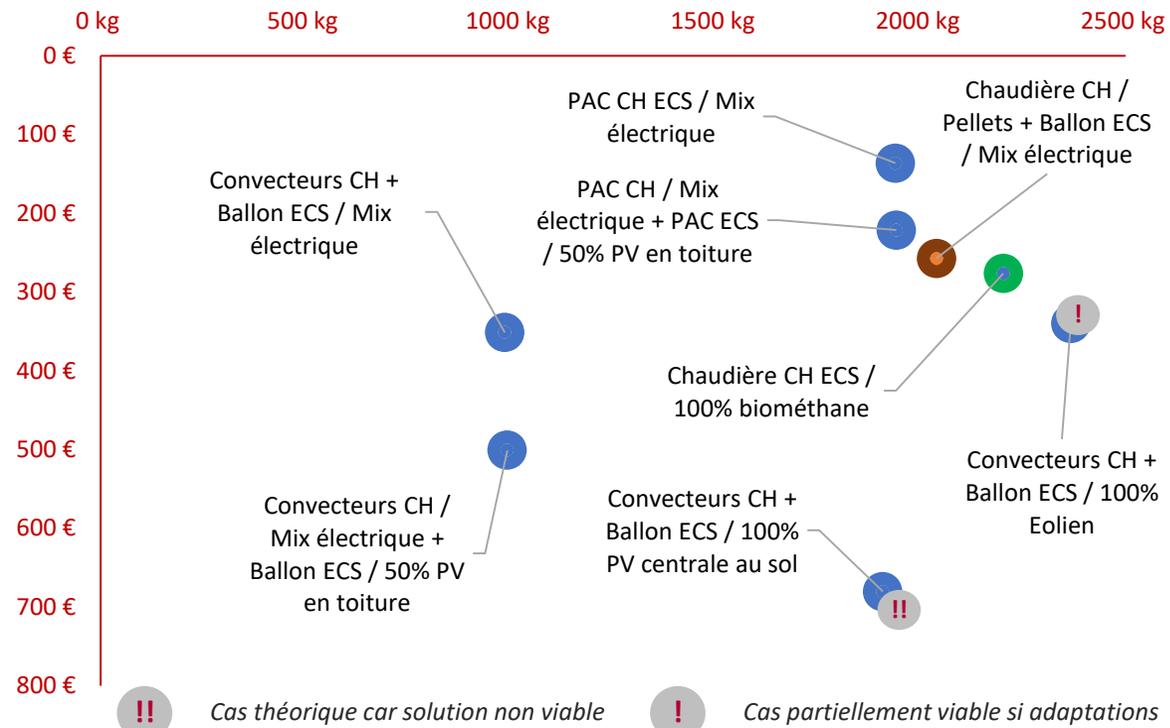


Référence*

CH	Mix	ECS	Mix
Chaudière	gaz	Chaudière	gaz

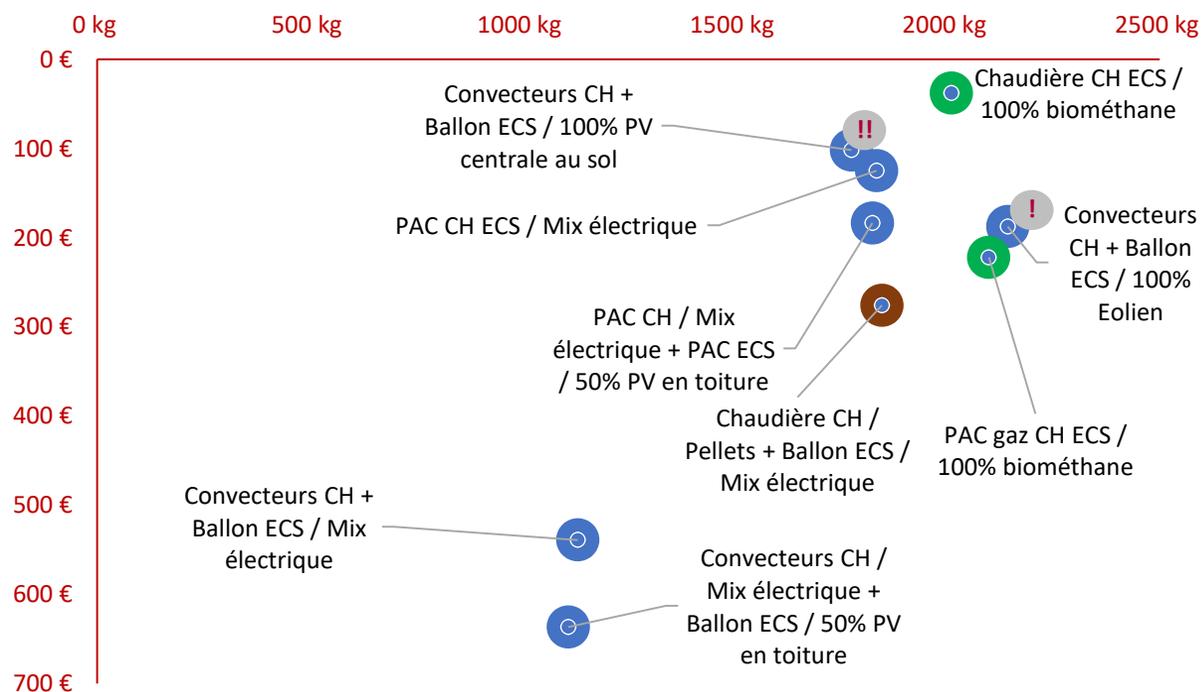
2017

€/t de CO₂ évitée



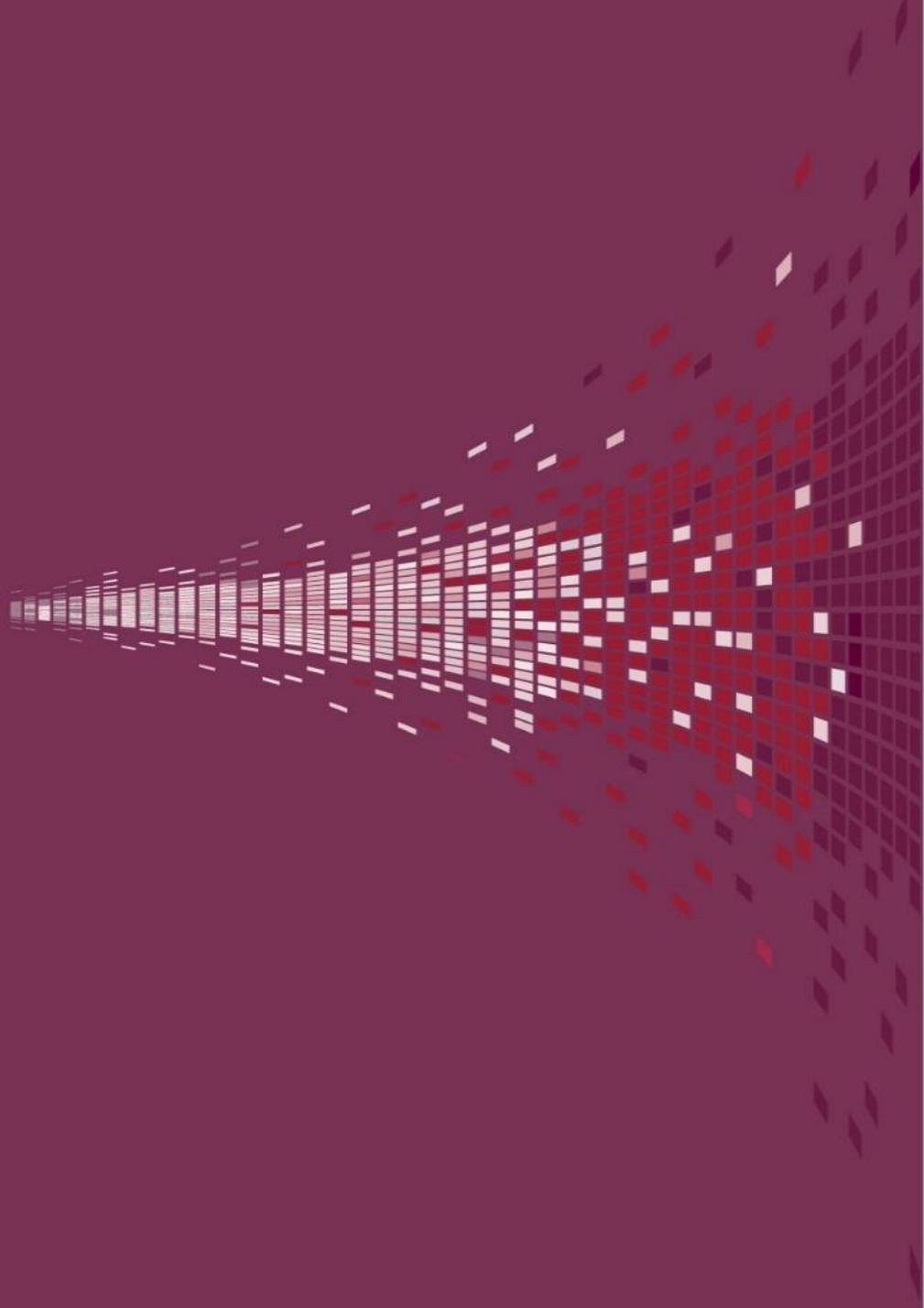
2030

€/t de CO₂ évitée

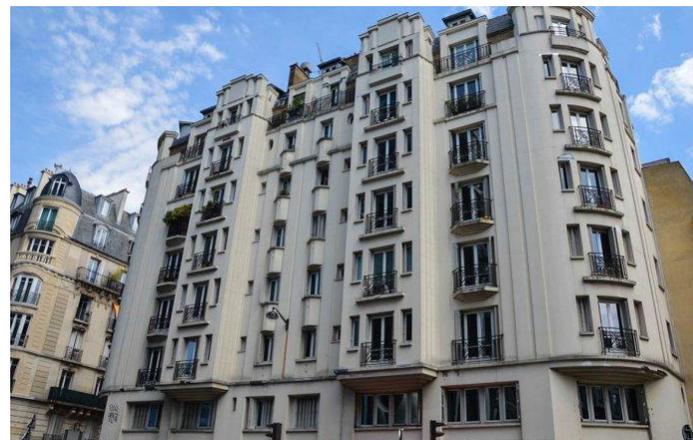


Principales conclusions

- Les solutions sont comparées par rapport au cas de référence chauffage individuel gaz (chaudière)
- En 2017, parmi les cas réalistes, la solution biométhane évite plus de CO₂ que la chaudière à pellets et les solutions au mix électrique, mais n'est pas la moins chère
- En 2030, les solutions biométhane (y compris la PACgaz) sont encore les plus performantes en volumes évités, et gagnent en compétitivité



Détails des analyses pour les appartements



Pour les appartements, 7 configurations ont été étudiées : 4 en chauffage individuel, 3 en chauffage collectif ; 4 solutions gaz, 2 solutions électricité, et 1 solution réseau de chaleur biomasse



Appartement 64 m²

Chauffage Individuel

Chauffage Collectif

Noms utilisés dans l'étude

Référence* →

CH Mix
Chaudière gaz ECS Mix
Chaudière gaz

CH 100% Biom
Chaudière Biom ECS 100% Biom
Chaudière Biom

CH Mix
Chaudière gaz ECS Mix
Chaudière gaz

CH 100% Biom
Chaudière Biom ECS 100% Biom
Chaudière Biom

INDIV Chaudière CH ECS / Mix gaz

INDIV Chaudière CH ECS / 100% biométhane

COLL Chaudière CH ECS / Mix gaz

COLL Chaudière CH ECS / 100% biométhane

Solutions gaz

Solutions électriques

CH Mix
Convecteur élec ECS Ballon Mix
élec

CH Mix
Convecteur élec ECS Ballon 50% PV toit
« Auto conso »

INDIV Convecteur CH + ballon ECS / Mix électrique

INDIV Convecteur CH / Mix électrique + ballon ECS / 50% PV en toiture

Solutions biomasse solide

CH 90% Biom
Rés. Chal. Biomasse ECS 90% Biom
Rés. Chal. Biomasse

COLL Réseau de chaleur CH ECS / 90% biomasse 10% gaz

* Référence utilisée pour les émissions évitées et le coût des émissions évitées des solutions décarbonées

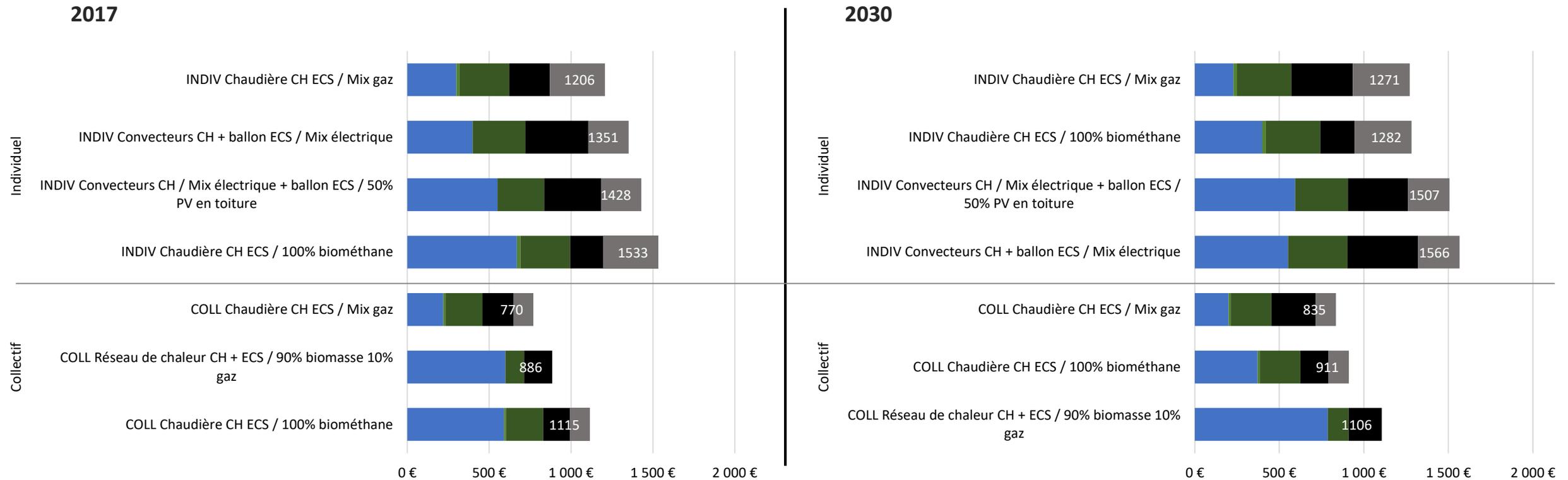
En appartement, la solution biométhane est clairement plus avantageuse que les solutions électriques en chauffage individuel et la solution réseau de chaleur biomasse en chauffage collectif 

 **Appartement 65 m²**

	scores pour 2017					scores pour 2030				
	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité
INDIV Chaudière CH ECS / 100% biométhane	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3
INDIV Convecteur CH / Mix électrique + ballon ECS / 50% PV en toiture	3	3	1	2	2	3	2	1	2	2
INDIV Convecteur CH + ballon ECS / Mix électrique	3	2	0	2	3	3	1	1	2	2

	scores pour 2017					scores pour 2030				
	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité
COLL Chaudière CH ECS / 100% biométhane	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3
COLL Réseau de chaleur CH ECS / 90% biomasse 10% gaz	3	3	2	2	3	3	2	3	2	2

Appartement – coût complet des solutions en €/an

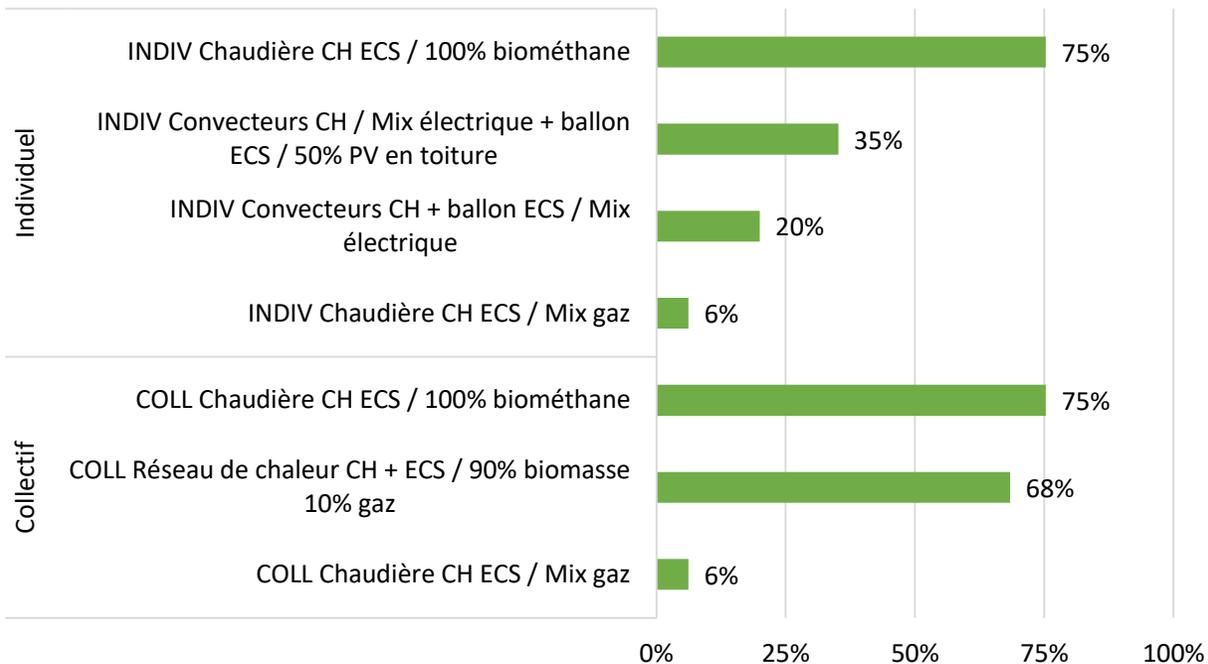


Principales conclusions

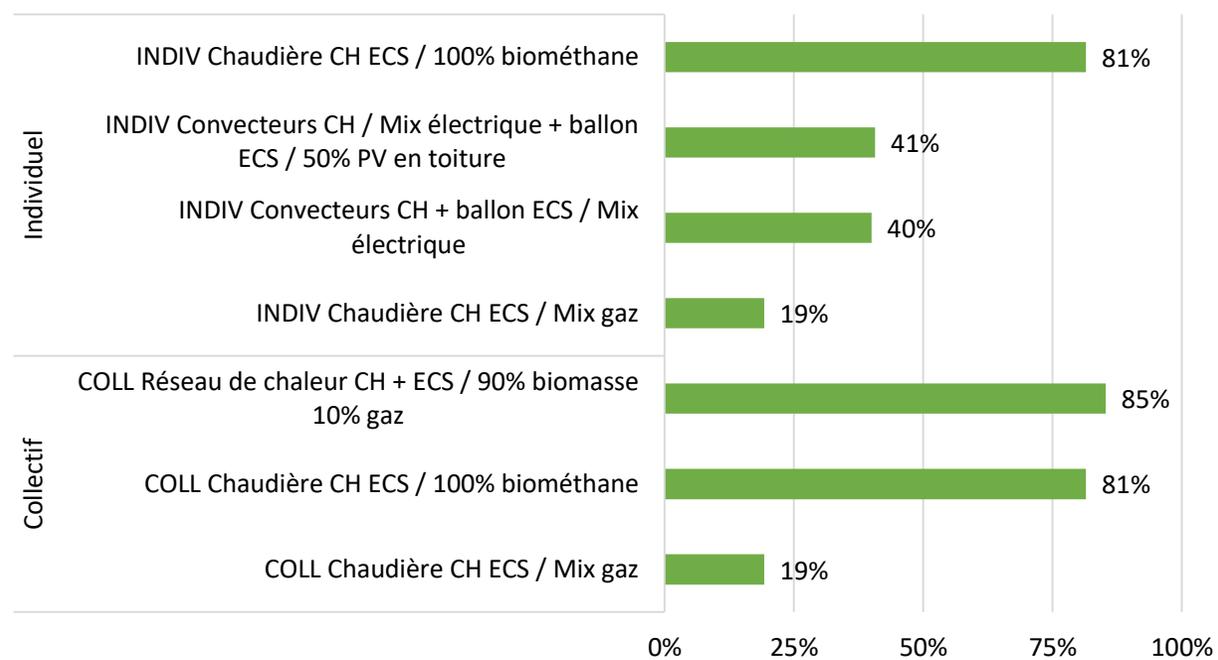
- En chauffage individuel, le gaz naturel est toujours plus compétitif que les solutions électriques, en 2017 et en 2030. Le biométhane devient plus compétitif que les solutions électriques en 2030, à parité de coût avec le gaz naturel.
- En chauffage collectif, le gaz naturel est également le plus compétitif de toutes les solutions en 2017 et 2030, devant le réseau de chaleur biomasse en 2017. En 2030, le biométhane gagne en compétitivité et devient plus compétitif que le réseau de chaleur biomasse.



2017

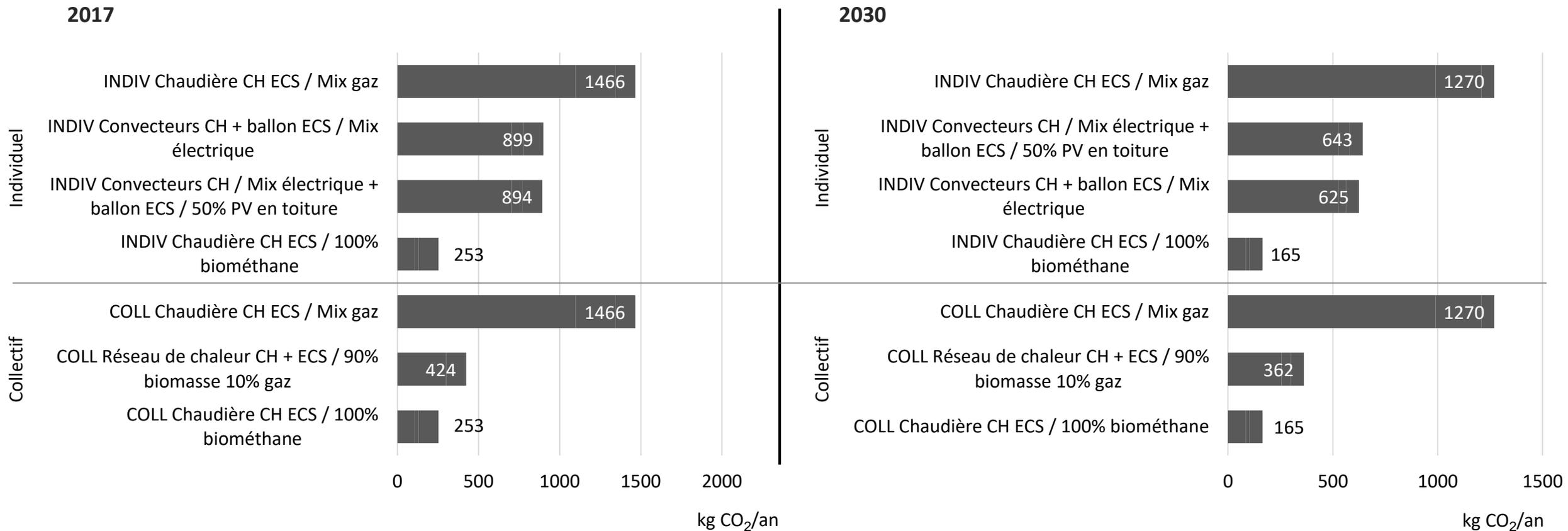


2030



Principales conclusions

- En chauffage individuel, le 100% biométhane se classe largement devant les solutions électriques.
- En chauffage collectif, les cas 100% biométhane et réseau de chaleur biomasse (là où cette technologie est disponible) fournissent la plus importante part de renouvelable.



Principales conclusions

- Les émissions de CO₂ des solutions au gaz naturel sont les plus élevées de toutes les solutions étudiées en 2017 et 2030.
- Le biométhane, et le réseau de chaleur biomasse dans une moindre mesure, permettent des économies substantielles de CO₂, par rapport aux solutions gaz et électriques.

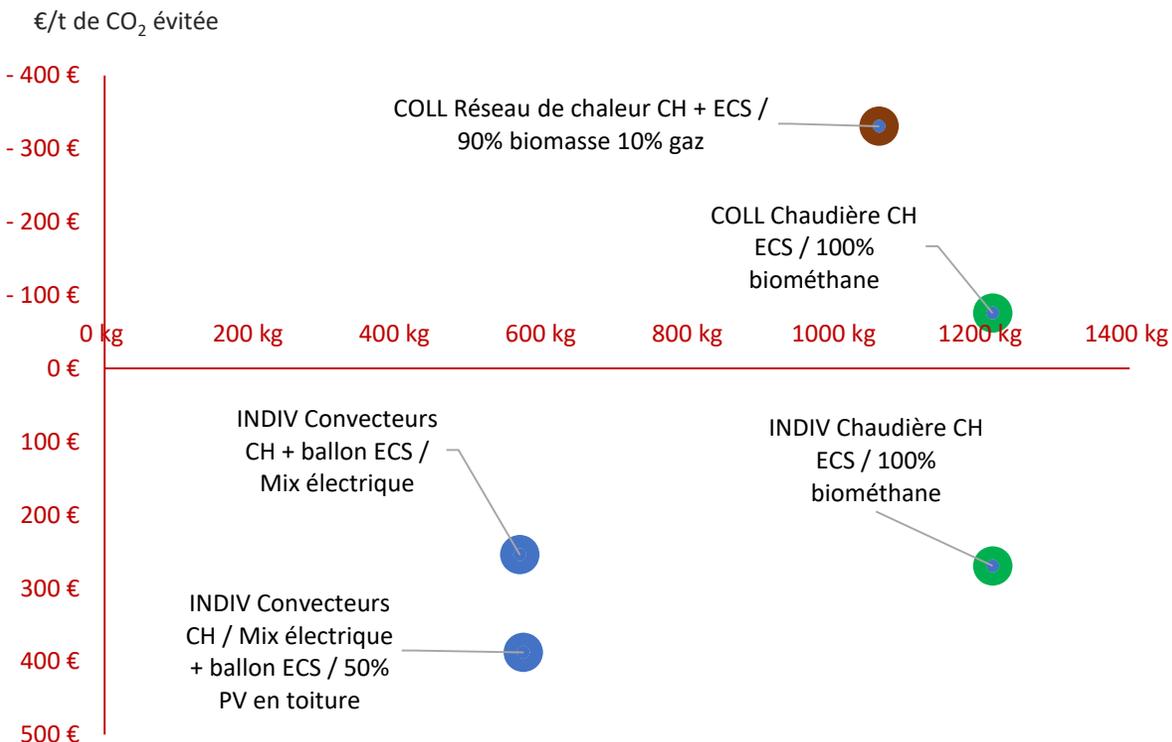
Appartement – kg de CO₂ évités et coût de la tonne de CO₂ évitée



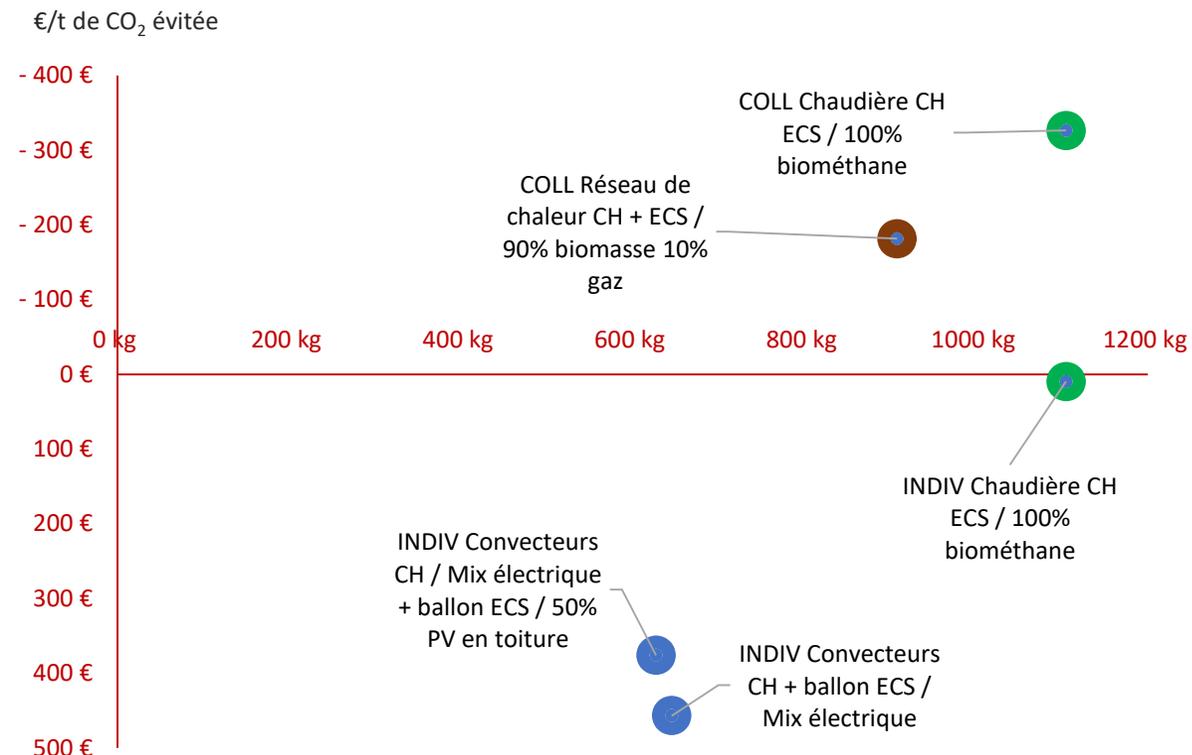
Référence* →

Chauffage Individuel			
CH	Mix	ECS	Mix
Chaudière	gaz	Chaudière	gaz

2017

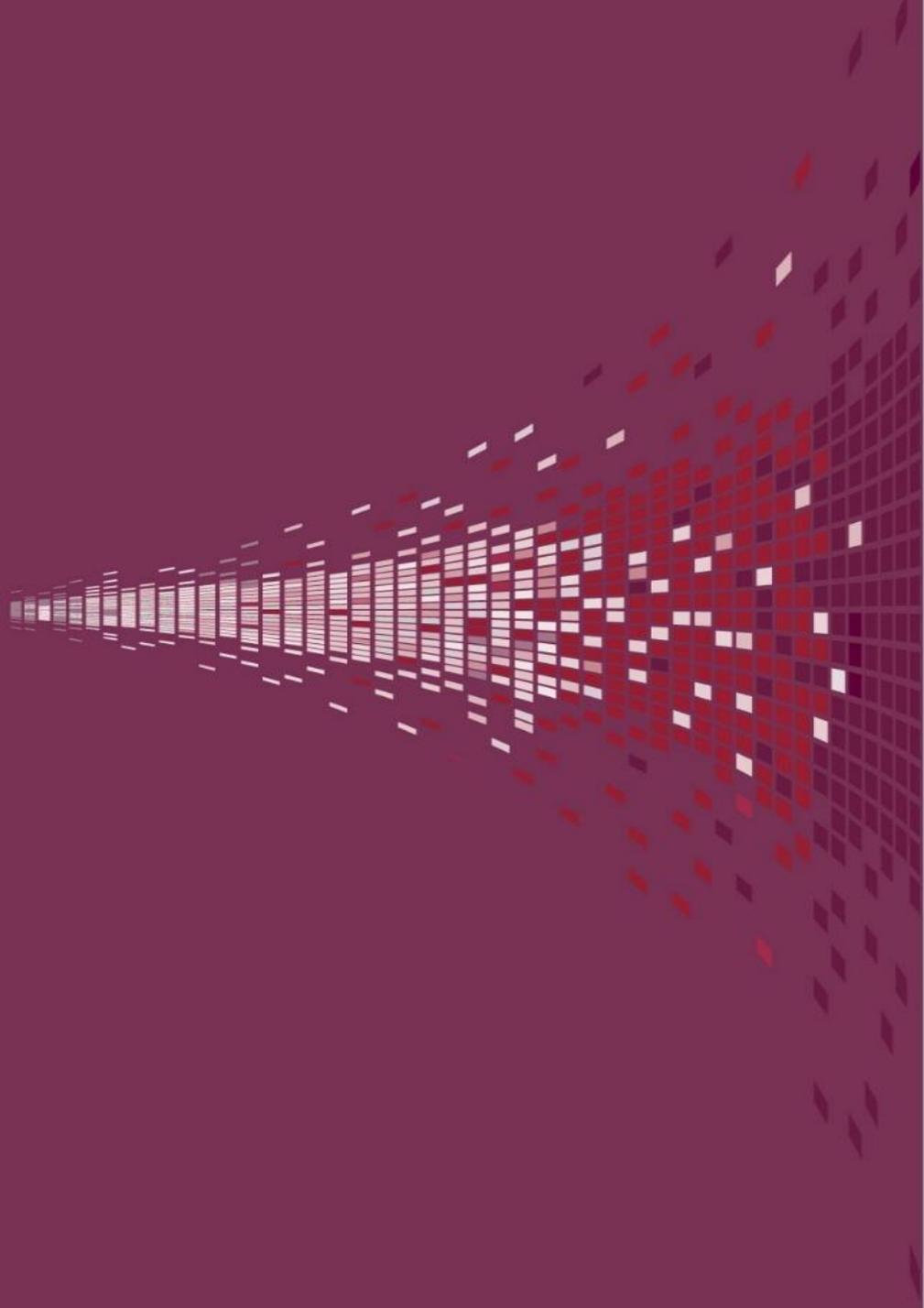


2030



Principales conclusions

- Les solutions sont comparées par rapport au cas de référence chauffage individuel gaz.
- En 2017, les solutions biométhane évitent plus de CO₂ que le réseau de chaleur biomasse mais sont plus chères.
- En 2030, la solution biométhane en chauffage collectif réduit son écart de compétitivité en terme de coût d'évitement et devient la solution la plus avantageuse pour décarboner l'usage chauffage



Détails des analyses pour les bâtiments tertiaires



Pour les bâtiments tertiaires, 8 configurations ont été étudiées : 2 solutions gaz, 5 électriques, 1 réseau de chaleur biomasse



Bâtiment tertiaire 465 m²

Chauffage Collectif

Noms utilisés dans l'étude

Solutions	CH	Mix	ECS	Mix	Noms utilisés dans l'étude	Notes
Solutions gaz	CH Chaudière	Mix gaz	ECS Chaudière	Mix gaz	Chaudière CH ECS / Mix gaz	
	CH Chaudière	100% Biometh	ECS Chaudière	100% Biometh	Chaudière CH ECS / 100% biométhane	
Solutions électriques	CH Convecteur	Mix élec	ECS Ballon	Mix élec	Convecteur CH ECS / Mix électrique	
	CH PAC	Mix élec	ECS PAC	Mix élec	PAC CH ECS / Mix électrique	
	CH PAC	100% éolien	ECS PAC	100% éolien	PAC CH ECS / 100% éolien	! Cas partiellement viable si adaptations
	CH PAC	Mix élec	ECS PAC	50% PV toit « Auto conso »	PAC CH / Mix électrique + PAC ECS / 50% PV en toiture	
	CH PAC	100% PV sol	ECS PAC	100% PV sol	PAC CH ECS / 100% PV centrale au sol	!! Cas théorique car solution non viable
Solutions biomasse solide	CH Rés. Chal.	90% Biomass	ECS Rés. Chal.	90% Biomass	Réseau de chaleur CH ECS / 90% biomasse 10% gaz	

* Référence utilisée pour les émissions évitées et le coût des émissions évitées des solutions décarbonées ; ** solution étudiée seulement en 2030

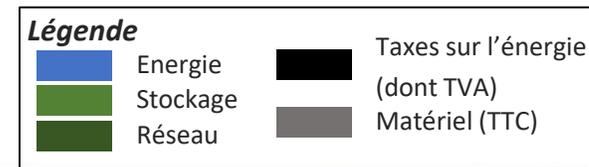
En tertiaire, la solution biométhane est à quasi parité avec la solution pompe à chaleur électrique couplée à une solution PV en autoconsommation pour l'ECS 



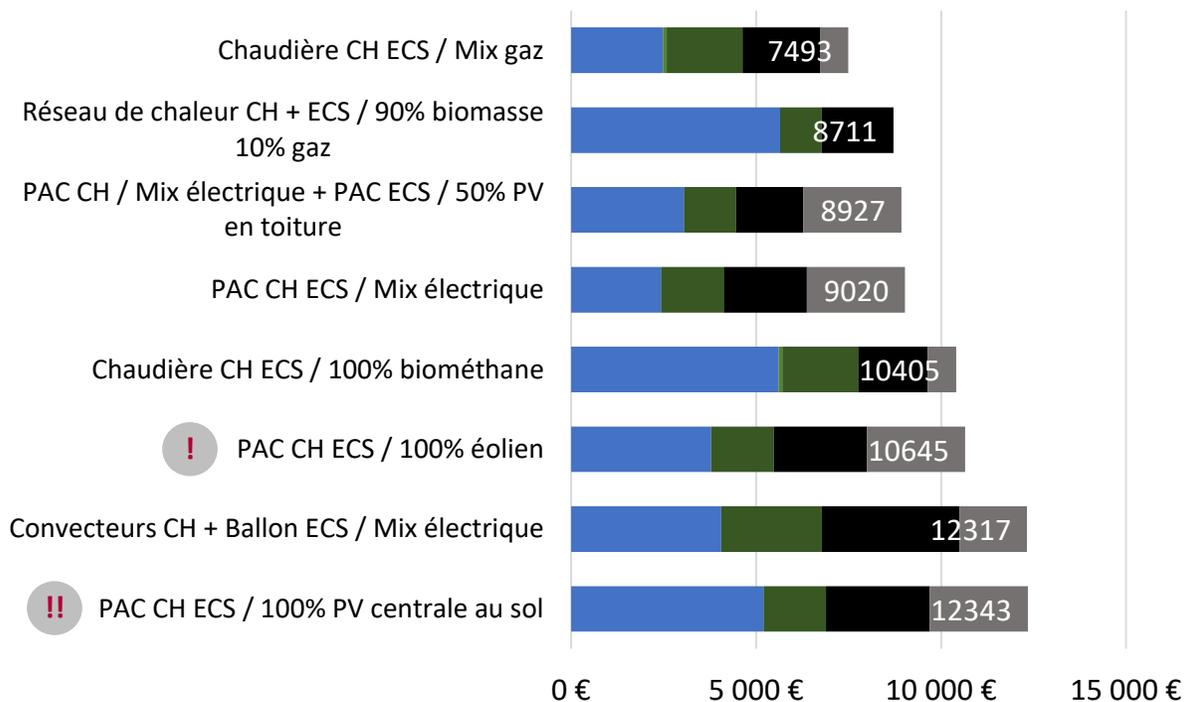
Bâtiment tertiaire 465 m²

	scores pour 2017					scores pour 2030				
	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité	Viabilité	Coûts	Part ENR	Emissions annuelles	Coûts CO2 évité
Chaudière CH ECS / 100% biométhane	3	2	2	2	2	3	3	3	2	3
PAC CH / Mix électrique + PAC ECS / 50% PV en toiture	3	3	2	1	3	3	2	2	1	2
PAC CH ECS / Mix électrique	3	3	1	1	3	3	1	2	1	2
Réseau de chaleur CH ECS / 90% biomasse 10% gaz	3	3	2	1	3	3	1	2	1	1
Convecteur CH ECS / Mix électrique	3	1	0	0	0	3	0	1	0	0
PAC CH ECS / 100% éolien	1	2	2	3	2	1	2	3	3	3
PAC CH ECS / 100% PV centrale au sol	0	1	2	2	1	0	3	2	2	3

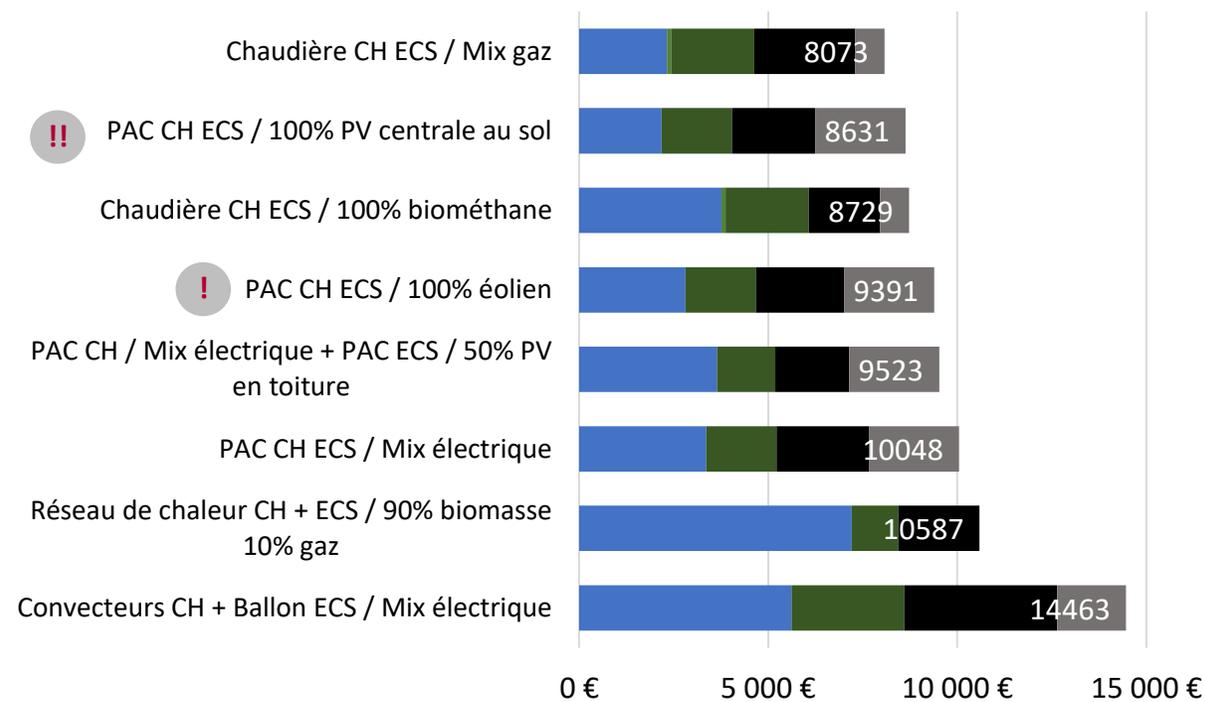
Bâtiment tertiaire – coût complet des solutions en €/an



2017



2030



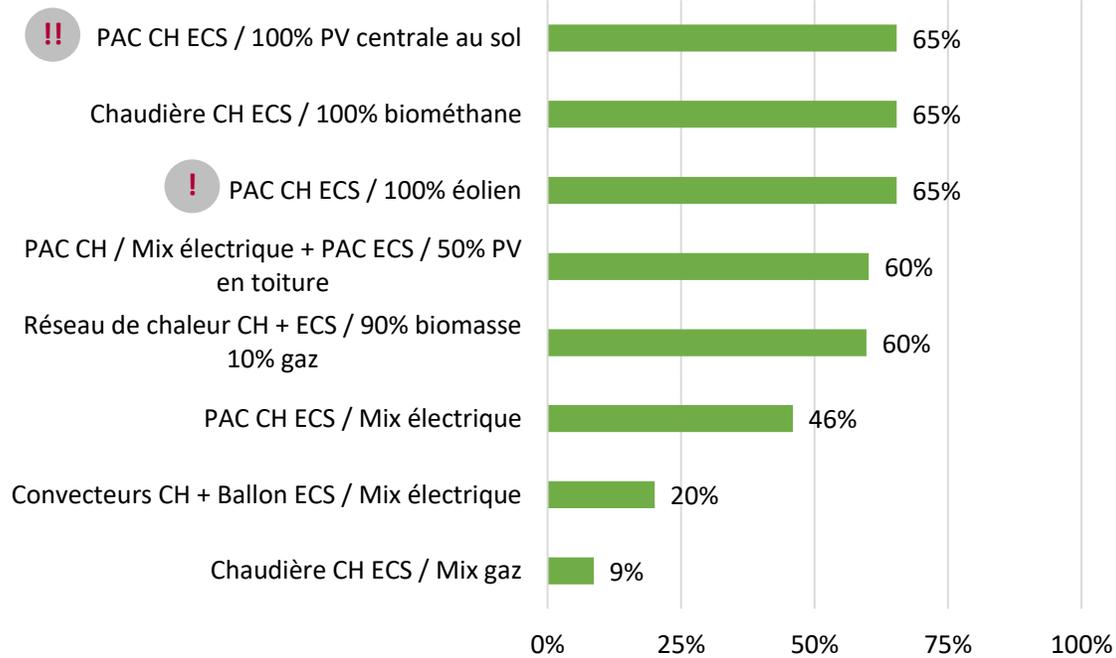
!! Cas théorique car solution non viable ! Cas partiellement viable si adaptations

Principales conclusions

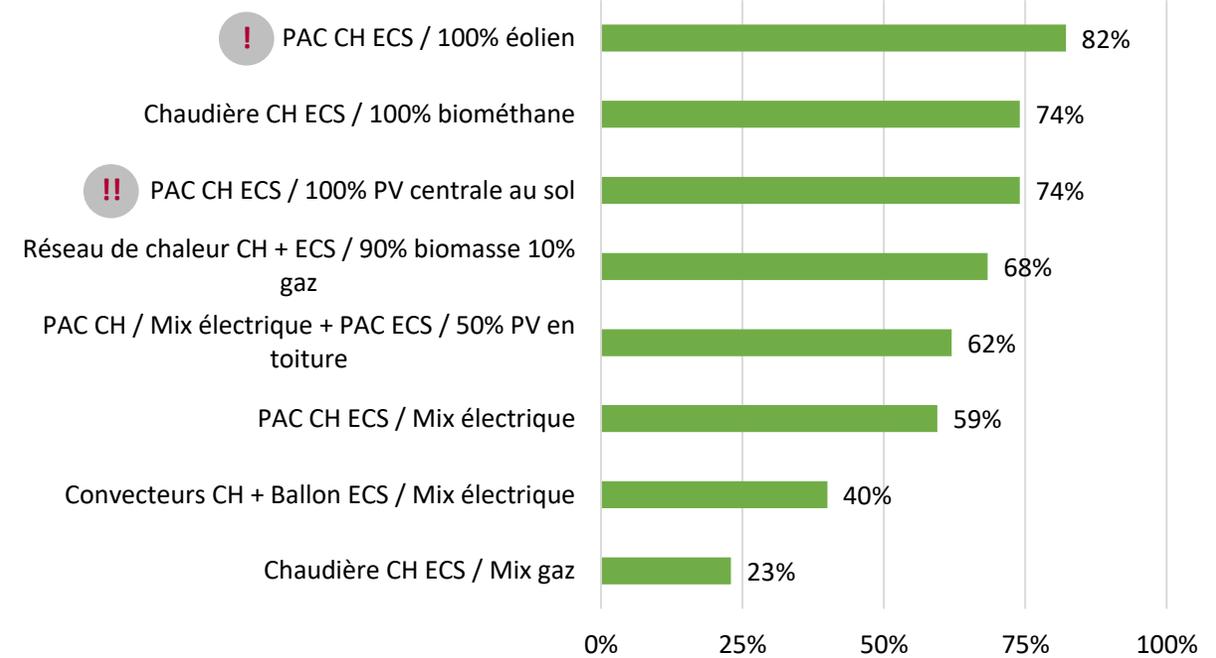
- En 2017, le gaz naturel est la solution la moins chère. Ensuite, d'autres solutions se classent, à quasi parité de coûts : réseau de chaleur biomasse, PAC électrique avec ou sans panneaux PV en toiture.
- En 2030, la chaudière 100% biométhane est la moins chère des solutions viables, devant la PAC avec panneaux PV en toiture, puis au mix électrique, et devant le réseau de chaleur biomasse.



2017



2030



!! Cas théorique car solution non viable

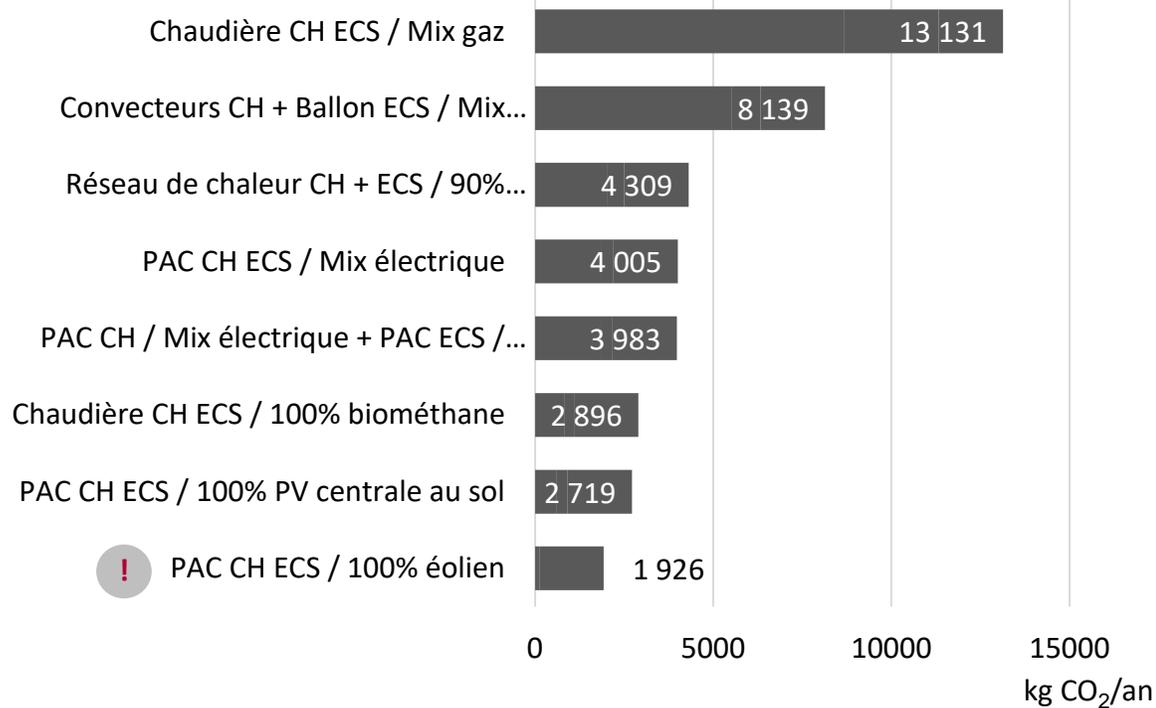
! Cas partiellement viable si adaptations

Principales conclusions

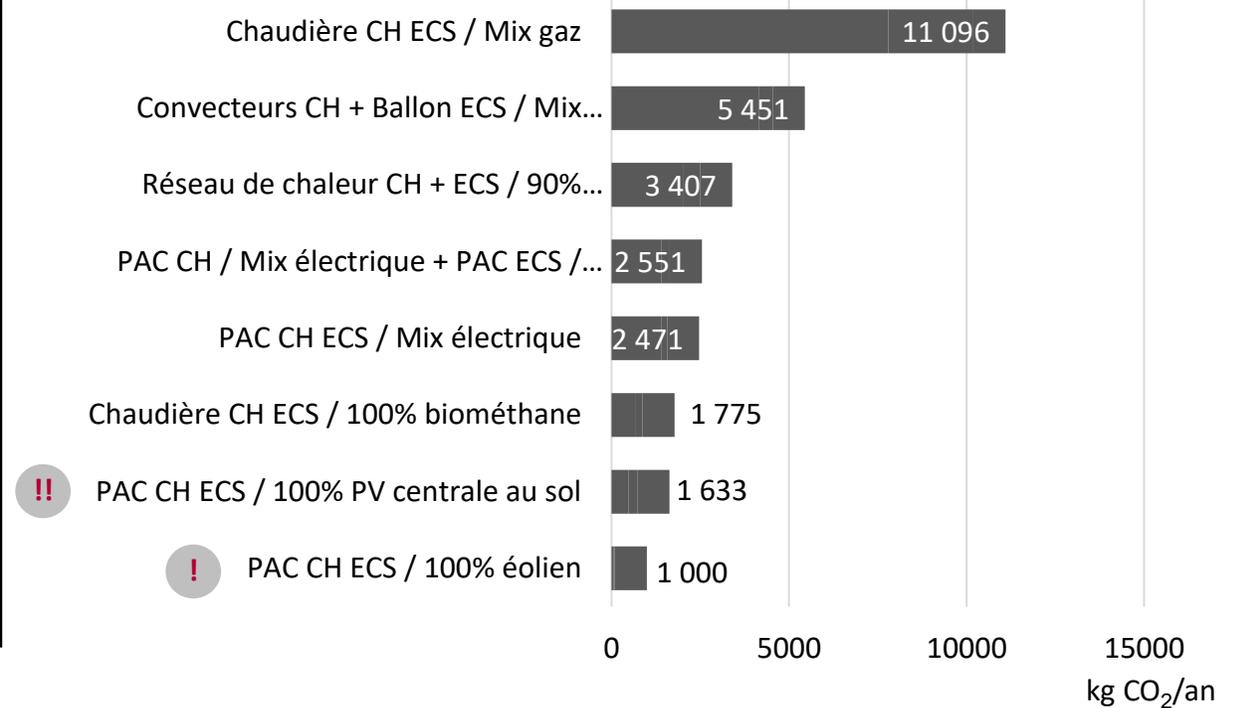
- Le 100% biométhane, la PAC avec panneaux PV en toiture et le réseau de chaleur biomasse ont quasiment les mêmes taux de renouvelable.



2017



2030



!! Cas théorique car solution non viable

! Cas partiellement viable si adaptations

Principales conclusions

- En tertiaire, le 100% biométhane est la solution qui permet les émissions les plus faibles parmi les solutions réalistes

Bâtiment tertiaire – kg de CO₂ évités et coût de la tonne de CO₂ évitée

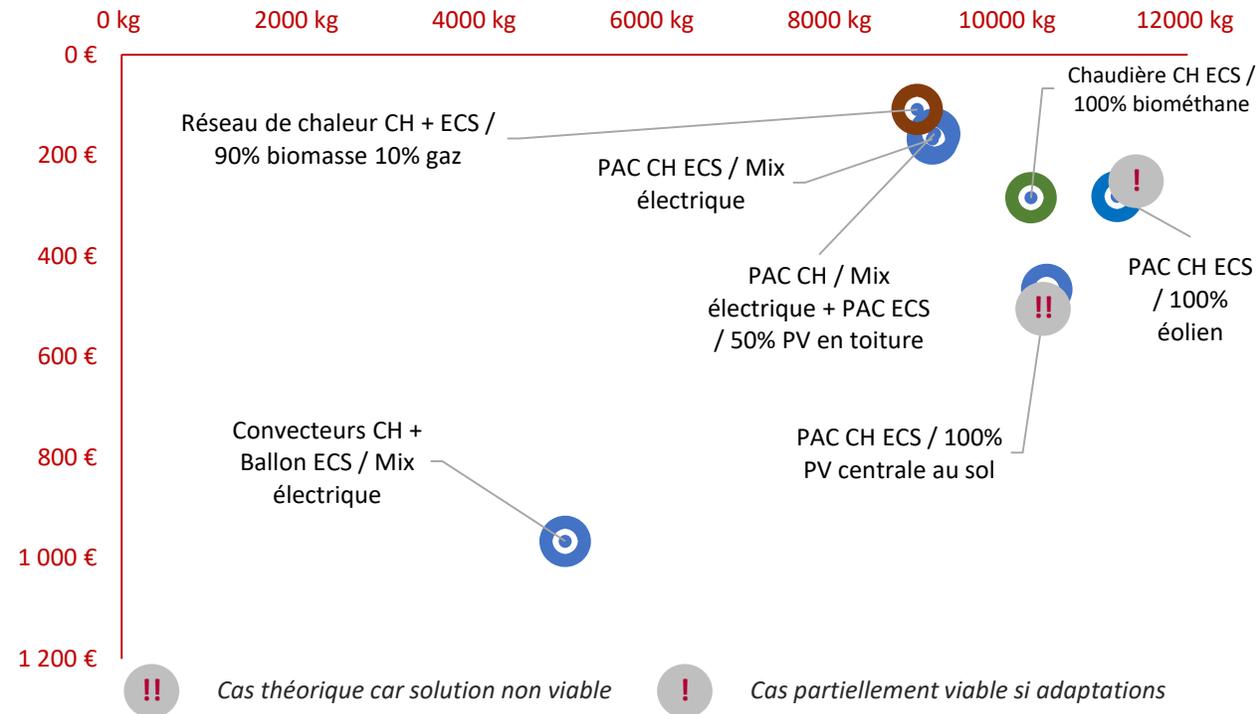


Référence* →

CH	Mix	ECS	Mix
Chaudière	gaz	Chaudière	gaz

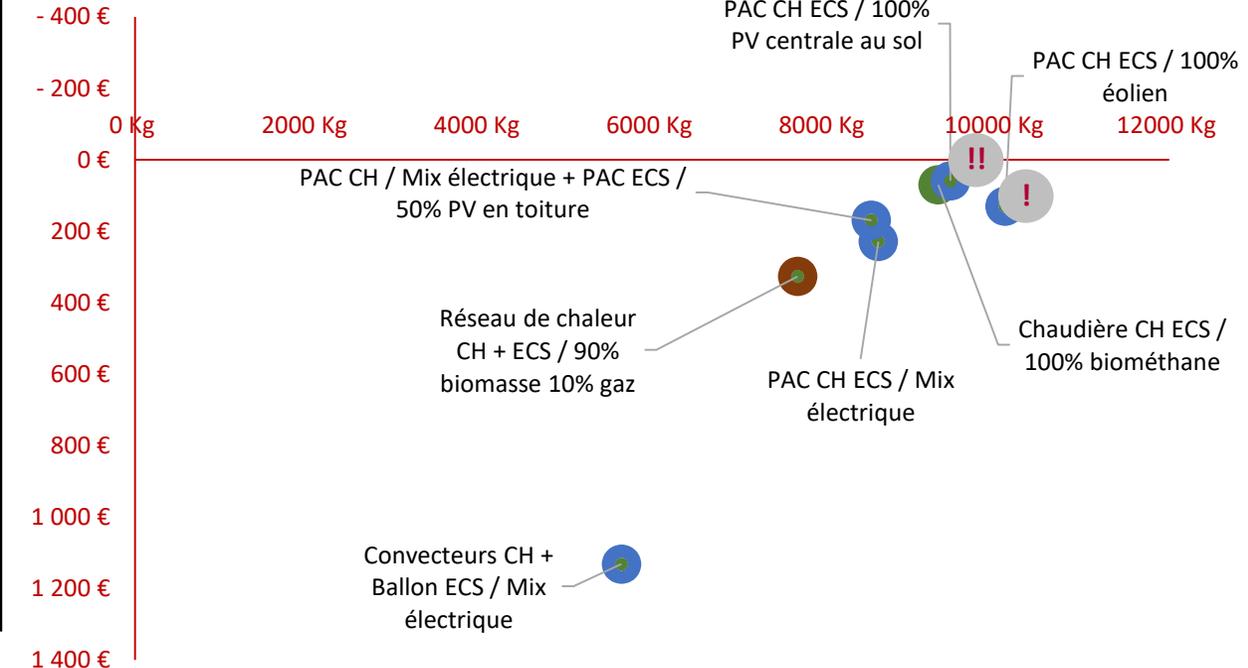
2017

€/t de CO₂ évitée



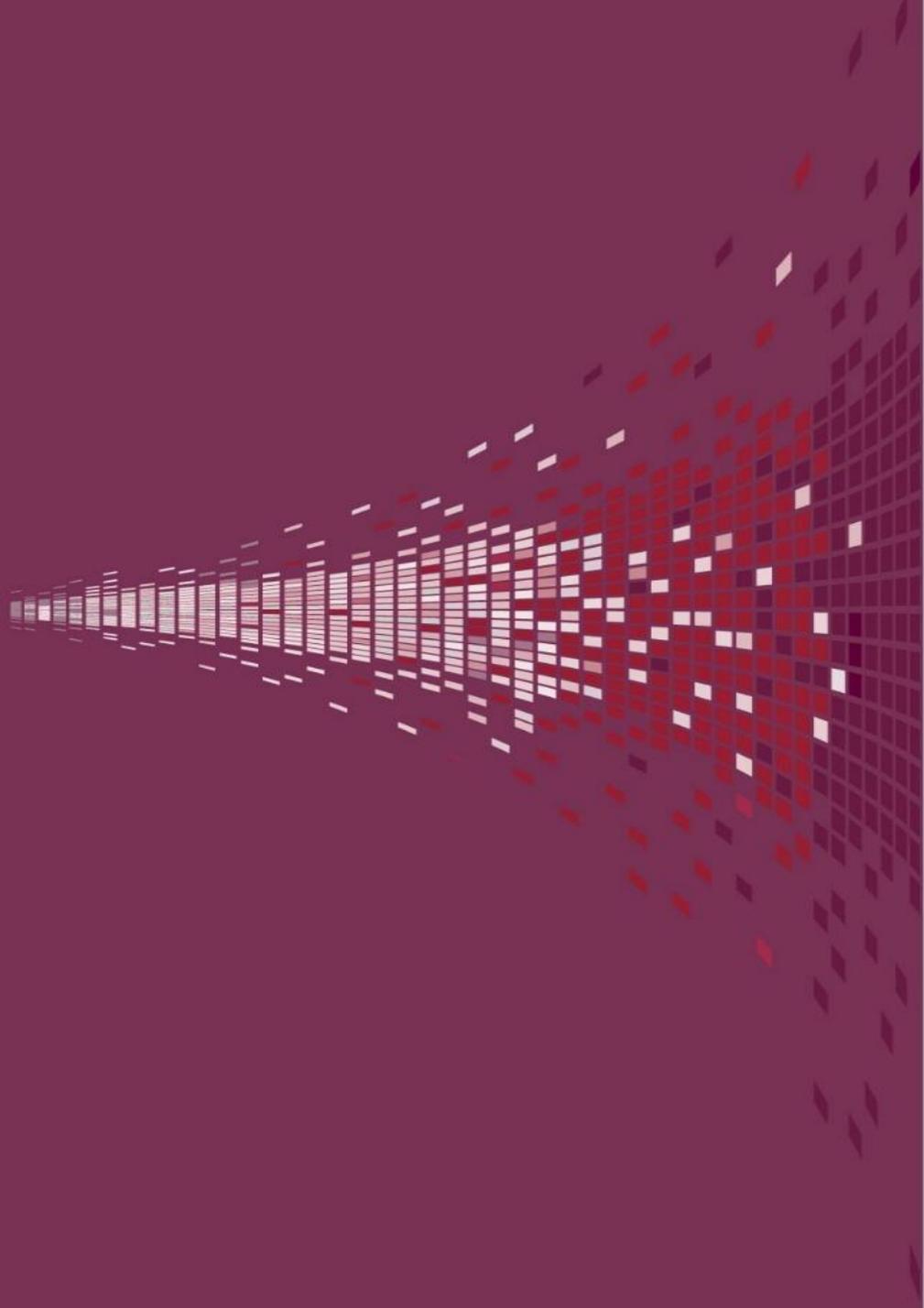
2030

€/t de CO₂ évitée



Principales conclusions

- En 2017, la solution 100% biométhane est la solution viable qui permet les plus grandes réductions de CO₂, devant le réseau de chaleur biomasse et les solutions PAC avec ou sans panneaux solaires en toiture. En revanche, la solution biométhane est moins compétitive que ces technologies.
- 2030, la solution 100% biométhane devient la plus performante des solutions viables en termes de quantités évitées et de coût d'évitement.



Annexes

Zoom sur les hypothèses : méthodologie pour les besoins en énergie utile, rendements

Principes généraux

- L'objectif premier est de comparer l'impact des types de solutions renouvelables pour le chauffage (CH) et l'eau chaude sanitaire (ECS). En autoconsommation, une partie de la production solaire est consommée les usages spécifiques (SPE). C'est pourquoi ceux-ci sont également pris en compte, ainsi que pour partager les coûts fixes d'abonnement électrique équitablement.
- Pour permettre cette comparabilité, des surfaces et des consommations en énergie utile par m² ont été prises en hypothèse pour chaque type de bâti. Elles ont été calculées par moyenne pondérée sur l'ensemble des types d'équipement de chauffe pour un type de bâti donné pour 2 zones géographiques : Nord (Département de la Meurthe et Moselle, 54), et Sud (Département du Var, 83).
- Méthode : Moyennes des consommation de chauffage et d'ECS par énergie pour les systèmes individuels (source CEREN) en énergie finale, ramenées à une énergie utile en prenant en compte des rendements moyens des systèmes de chauffage individuels, puis écart à cette moyenne à proportion des degrés-jours pour Nord (2287) et Sud (1000) par rapport à la France métropolitaine (1900). Les cas Nord et Sud ont été ensuite moyennés pour la présentation des résultats.

Hypothèses 2017

Rendement sur énergie finale (utilisés pour passer de l'énergie finale à l'énergie utile), représentatifs du parc :

Chauffage :

- Chaudière individuelle gaz : 88%
- Chaudière collective gaz : 88%
- Convecteur électriques : 96%
- PAC individuelle élec : 283%
- PAC collective élec : 283%
- Chaudière individuelle pellets : 77%
- Réseau de chaleur boucle locale : 90%

ECS :

- Chaudière individuelle gaz : 70%
- Chaudière collective gaz : 70%
- Ballon d'eau chaude : 56%
- PAC individuelle élec : 139%
- PAC collective élec : 139%
- Réseau de chaleur boucle locale : 90%

Pour le cas tertiaire notamment, les besoins en climatisation n'ont pas été pris en compte dans le périmètre de l'étude.

Hypothèses 2030

- Les consommations de chauffage, d'ECS et d'électricité spécifique restent inchangées en 2030 par rapport à 2017
- Les rendements des matériels restent inchangés

Principes généraux

- Le coût complet des énergies est basé sur les tarifs bleus pour l'électricité, B1 pour le gaz pour les énergies conventionnelles
- Pour les solutions « renouvelables », la part énergie du tarif est remplacée par le LCOE en conservant une marge de commercialisation
- Les consommations spécifiques sont soutirées du mix électrique français quel que soit le cas
- Les prix de l'énergie et équivalents CO₂ pour 2017 proviennent de différentes sources en cohérence avec le rapport « Le soutien aux énergies renouvelables » de la Cour des Comptes d'avril 2018
- Les autres sources proviennent de rapports publics : Ademe, Base Carbone, associations professionnelles, Etudes ENEA, RTE et Capgemini etc.)

Données 2017

- Prix des énergies marché / LCOE en €/MWh :
 - Électricité (prix de gros) : 42 €
 - Gaz (prix de gros) : 20 €
 - Chaleur (RCU livré client) : 107 € TTC
 - Pellets (livré client) : 57 € TTC
 - Biométhane : 87 €
 - Éolien terrestre : 72 €
 - Solaire au sol : 104 €
 - Solaire toiture INDIV (N/S) : 286/210 €
 - Solaire toiture COLL (N/S) : 151/111 €
- Intensités CO₂ (CH/ECS/Spécifique) en kg/MWh :
 - Électricité : 169/59/65
 - Gaz (gros) : 243/243
 - Chaleur (RCU livré client) : 57,7/57,7
 - Pellets (livré client) : 30
 - Biométhane : 23/23
 - Éolien terrestre : 7/7/7
 - Solaire au sol ou toiture : 55/55/55
- Part renouvelable :
 - Electricité (mix) : 20%
 - Gaz (mix) : 0%
 - Autres : 100%

Hypothèses 2030

- Prix des énergies marché / LCOE en €/MWh :
 - Électricité (prix de gros) : 63 €
 - Gaz (prix de gros) : 30 €
 - Chaleur (RCU livré client) : 147 € TTC
 - Pellets (livré client) : 63 € TTC
 - Biométhane : 61 €
 - Éolien terrestre : 51 €
 - Solaire au sol : 36 €
 - Solaire toiture INDIV (N/S) : 100/73 €
 - Solaire toiture COLL (N/S) : 53/39 €
- Intensités CO₂ (CH/ECS/Spécifique) en kg/MWh :
 - Électricité : 127/30/32
 - Gaz (gros) : 219/219
 - Chaleur (RCU livré client) : 57,7/57,7
 - Pellets (livré client) : 30
 - Biométhane : 19/19
 - Éolien terrestre : 6/6/6
 - Solaire au sol ou toiture : 44/44/44
- Part renouvelable :
 - Electricité (mix) : 40%
 - Gaz (mix) : 10%
 - Autres : 100%

Zoom sur les hypothèses : traitement de l'autoconsommation

Principes généraux

- Autoconsommation solaire : on ne prend pas en compte de stockage aval compteur, ni d'injection sur le réseau électrique
- La production autoconsommée
 - sert en premier 50% des consommations ECS (moyenne sur l'année, proche de 90% en été et 10% en hiver),
 - le reliquat couvre une partie des besoins d'électricité spécifique

Hypothèses 2017

- Dimensionnement des toits solaires en autoconsommation
- Maisons individuelle :
 - 1,5 kW
- Appartement (par appartement, 20 appartements par toit solaire collectif) :
 - 1 kW
 - 20 kW par toit
- Tertiaire (par étage de bureaux, 5 étages de bureaux par toit solaire collectif) :
 - 8 kW
 - 40 kW par toit

Hypothèses 2030

- Idem 2017

Zoom sur les hypothèses : fourniture, réseaux et taxes

Principes généraux

- Tous les coûts présentés sont TTC du point de vue du consommateur en maison individuel et HT du point de vue du consommateur tertiaire
- Les coûts réseau, stockage, abonnement, et l'ensemble des taxes afférentes (TICFE, TICGN, TCFE, CTA etc.) sont calculés en fonction de la quantité soutirée du réseau
- Pas de TICGN supportée par le consommateur dans le cas des consommations de biométhane

Données 2017

- Coûts réseau et taxes tels que décomposés dans un tarif bleu pour l'électricité, B1 pour le gaz (B2I pour les chaufferies collectives).
- Le calcul de ces coûts correspond aux tarifs en vigueur en 2017
- La TICGN est de 5,88 €/MWh de gaz

Hypothèses 2030

- Les tarifs de l'électricité et de gaz suivent, pour la part énergie, l'évolution des prix de gros
- L'évolution des coûts des réseaux d'électricité (+10%) ont été projetés en tenant compte des prévisions de coûts, de consommation et du développement de l'autoconsommation domestique (sources GRT et GRDs)
- L'évolution des coûts des réseaux de gaz (+5%) inclut les coûts additionnels de compression pour l'intégration des flux rebours dans le cadre du déploiement du biométhane (sources GRTs et GRDs)
- La TICGN augmente jusqu'à 18,40 €/MWh de gaz (proposition actuelle dans le cadre de la LTECV), équivalente à 100 €/t CO₂
- La TICFE reste inchangée
- La TVA reste inchangée

Zoom sur les hypothèses : matériels de chauffe

Principes généraux

- Le coût des matériels de chauffe comprend l'amortissement du matériel ainsi que son coût de maintenance sur sa durée de vie
- Les investissements dans les matériels individuels sont amortis sur 15 ans (20 ans pour les matériels collectifs)
- Les taux d'actualisation hors inflation sont de 1% pour les particuliers, 5% pour les bâtiments tertiaires
- Tous les coûts sont en TTC pour les particuliers (maison individuel, appartement) et HT pour le bâtiment tertiaire
- Source Ademe, pour une installation moyenne conforme à l'habitat
- Taux d'actualisation
 - B2C : 1% hors inflation
 - B2B : 5% hors inflation

Données 2017

- Coûts d'achat dans les matériels :
- MI
 - Convecteur individuel élec : 3 500 €
 - Ballon d'eau chaude : 800 €
 - Chaudière individuelle gaz : 5 000 €
 - Chaudière individuelle pellets : 10 000€
 - PAC individuelle élec : 12 500 €
 - PAC individuelle gaz : 18 000€
- APP individuel
 - Convecteur individuel élec : 2 333€
 - Ballon d'eau chaude : 650 €
 - Chaudière individuelle gaz : 3 000 €
- APP collectif / par appartement
 - Chaudière collective gaz : 1 000 € (20 appartements par équipement collectif)
- Bureau tertiaire collectif / par étage-client
 - Ballon ECS : 6 633 €
 - PAC élec : 26 420 €
 - Chaudière collective gaz : 6 400 € (5 étages-clients de 465 m² par équipement collectif)

Hypothèses 2030

- L'évolution des coûts 2030 tient compte des baisses liées à l'amélioration du rendement et de l'efficacité des appareils et des économies d'échelle et de production.
- Tous les coûts de matériels sont réputés stables hormis
 - PAC individuelle élec : -20%
 - PAC individuelle gaz : -20%
 - Chaudière individuelle pellets : -10%
 - PAC collective élec : -10%

Zoom sur les hypothèses : traitement du stockage d'énergies

Principes généraux

- Stockage gaz : le recours au biométhane plutôt qu'au gaz naturel n'influe pas sur le coût de stockage au niveau national (coûts identiques, pas de surcoûts)
- Stockage électricité : il n'a pas été pris non plus de surcoûts de stockage dans le réseau par rapport à la situation actuelle.

Données 2017

- Le coût du stockage gazier sont inclus dans les coûts de fourniture B1, et au final dans le coût complet des solutions.

Hypothèses 2030

- Idem 2017

