



Energies nouvelles – Gaz – Mix pluriel

ANALYSE DE SCÉNARIOS ALTERNATIFS A LA SNBC  
CONCERNANT LA STRUCTURE  
DU MIX DE CHAUFFAGE RÉSIDENTIEL  
ET DU MIX DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE  
A HORIZON 2050



Une étude réalisée par SOLUTIONS EN OPTIMISATION

## **Quelle politique énergétique pour la France pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050 ?**

*Question cruciale, réponse pas si évidente, n'en déplaise aux tenants d'une affirmation simpliste qui se contente de faire rimer décarbonation avec électrification des usages, en particulier dans le bâtiment.... Au motif que l'électricité consommée en France est majoritairement décarbonée :*

- on oublie la nécessaire sécurité d'approvisionnement électrique à tout moment et en tout lieu du territoire, notamment en période hivernale,*
- on ignore les aléas de disponibilité du parc nucléaire français vieillissant et les doutes qu'on peut légitimement avoir sur la sortie en temps, en heure et en coûts des futurs EPR, compte tenu des précédents finlandais ou normand ,*
- on occulte les impossibilités de mise en œuvre dans nombre de bâtiments des pompes à chaleur électriques, présentées un peu hâtivement comme la huitième merveille du monde,*
- Et surtout, on balaye d'un revers de main la capacité des autres énergies, en particulier le gaz, à se verdir et la volonté farouche de toute une filière pour y parvenir rapidement.*

**Depuis sa création en 2014, Coénove défend l'idée que seule une approche fondée sur une véritable complémentarité des énergies, un mix énergétique pluriel et diversifié dans lequel le gaz progressivement renouvelable, a toute sa place, permettra d'atteindre la neutralité carbone en 2050**

*De plus, dans le contexte international tendu que nous vivons, la production de gaz renouvelables dans les territoires est à la fois un facteur de développement économique local et de souveraineté énergétique.*

*Concernant le bâtiment, Coénove est convaincue que le gaz jouera un rôle déterminant dans l'atteinte de la neutralité carbone si l'on conduit trois actions conjointes :*

- Efficacité énergétique et sobriété pour une consommation de gaz réduite à 100 TWh pour le bâtiment et 80 TWh pour le seul secteur du résidentiel*
- Verdissement total de cette consommation avec les gisements avérés de gaz renouvelables (420 TWh) sous leurs différentes technologies de production ;*
- Développement accéléré de la pompe à chaleur hybride gaz, exemple concret de la complémentarité électricité-gaz qui permet de soulager le réseau électrique en période de pointe liée au chauffage des logements.*

**Coénove** rassemble les acteurs majeurs de l'efficacité énergétique de la filière gaz dans le bâtiment : énergéticiens, industriels et organisations professionnelles.

Ses membres partagent la conviction que la réussite de la transition énergétique passera par la reconnaissance de la complémentarité entre les vecteurs énergétiques. Sur la base des travaux conduits au sein de son Comité Scientifique et Technique, Coénove apporte sa contribution aux débats publics à travers ses analyses, ses études et ses propositions conciliant faisabilité technologique, coûts maîtrisés et résilience renforcée face aux risques entravant la neutralité carbone à 2050.

**Artelys** est une entreprise spécialisée en optimisation, prévision et aide à la décision. A travers la réalisation d'une centaine d'études et de projets logiciels dans le domaine de l'énergie, Artelys est devenu un acteur de référence en optimisation et analyse technico-économique de grands systèmes énergétiques. Artelys a notamment développé une suite logicielle, Artelys Crystal, dédiée à l'optimisation économique de la gestion et des investissements sur les systèmes énergétiques.

*Les travaux ont été réalisés par : Maxime Chammas (direction de projet), Rébecca Aron (direction de projet), Claire Lucas (cheffe de projet), Olivier Beaussant (modélisation des systèmes énergétiques, analyses économiques), Luc Humberstet (expertise technique).*

# CONTEXTE ET OBJECTIFS

## LA SNBC OU LE CHOIX D'UNE ÉLECTRIFICATION MASSIVE, UN SCENARIO CONTESTABLE ...

Depuis les accords de Paris, la décarbonation du secteur du bâtiment est au centre de nombreuses réflexions.

Les orientations de la Stratégie Nationale Bas Carbone proposent une trajectoire de rénovation ambitieuse avec l'objectif d'un parc basse consommation en 2050 et une électrification importante du chauffage en s'appuyant sur les pompes à chaleur et des convecteurs électriques.

Dès 2019, l'association Coénove, convaincue qu'un mix énergétique s'appuyant sur toutes les énergies renouvelables était nécessaire pour atteindre la neutralité carbone et décarboner le secteur résidentiel, publiait une première étude<sup>1</sup> proposant des voies alternatives au scénario de la SNBC.

Cette étude avait mis en avant les avantages à intégrer des pompes à chaleur hybrides qui permettent de modérer les appels de puissance en diminuant les soutirages électriques dans les périodes hivernales de tension sur le réseau électrique.

Depuis d'ailleurs, d'autres études prospectives menées notamment par RTE ou l'Ademe ont également montré l'intérêt d'un mix de solutions intégrant des pompes à chaleur hybrides. D'autres pays, comme les Pays Bas, ont d'ailleurs revu leurs trajectoires de décarbonation en intégrant la PAC hybride dans leurs scénarios.

Alors que les travaux de la future Stratégie Française Energie Climat ont démarré en octobre 2021, le contexte actuel (crise ukrainienne, manque de disponibilité du parc nucléaire français, ...) confirme la nécessité de bâtir une trajectoire à 2050 qui allie sécurité d'approvisionnement, souveraineté énergétique du pays et flexibilité notamment avec un mix électricité/gaz renouvelables comme le défend Coénove depuis sa création.

Parce que les gisements des gaz renouvelables sont suffisants pour décarboner tous les secteurs qui auront réduit leur consommation, dont le bâtiment, avec les actions de rénovation soutenues par les pouvoirs publics, cette nouvelle étude permet d'explorer un scénario alternatif qui maintient le socle de ménages se chauffant au gaz avec un mix d'équipements intégrant une part significative de pompes à chaleur hybrides dans le résidentiel à l'horizon 2050.

L'analyse permet d'évaluer l'impact de cette alternative sur les consommations d'énergie, la pointe électrique, la fourniture de gaz renouvelable et sur les coûts complets pour la collectivité par différence au scénario SNBC.

<sup>1</sup> « Quelles alternatives en 2050 pour une neutralité carbone dans le résidentiel ? », Artelys/Coénove, 2019

# POSTULAT : LES GISEMENTS POTENTIELS DES GAZ RENOUVELABLES



Les gisements de gaz renouvelables retenus pour les différents scénarios de cette étude sont cohérents avec les gisements de gaz renouvelables en 2050 estimés par de nombreuses sources publiques et scientifiques<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Source « Perspectives gaz 2022 » de GRTgaz avec GRDF et Teréga en coordination avec le SPEGNN

**420 TWh** avec la répartition suivante :

- Méthanisation : 135 TWh
- Pyrogazéification : 90 TWh
- Gazéification hydrothermale : 45 TWh
- Power-to-méthane : 50 TWh
  
- Hydrogène : 100 TWh  
Sur un potentiel de 220 TWh d'H2 renouvelable et bas carbone (électrolyse et autres...)  
Source : AFHYPAC et McKinsey, « Développons l'hydrogène pour l'économie française », 2018



En retenant des hypothèses mesurées de concrétisation de ces potentiels et en intégrant une concurrence entre vecteurs pour la valorisation de certains types de biomasse utilisés, une **trajectoire de production réaliste** atteint **320 TWh** de méthane renouvelable injectés dans les réseaux en 2050.

# NOTRE DÉMARCHE :

## EXPLORER UN SCENARIO INTÉGRANT L'HYBRIDATION ÉLECTRICITÉ-GAZ EN RAPPORT AVEC LES GISEMENTS DE GAZ RENOUVELABLES : DEUX TEMPS

☑ **CORRIGER L'ANOMALIE** QUE REPRÉSENTE L'ABSENCE DE PRISE EN COMPTE DE LA POMPE À CHALEUR HYBRIDE (PAC HYBRIDE) ET **CONFIRMER LA PERTINENCE D'UN MIX DE SOLUTIONS PLUS ÉQUILIBRÉ** AVEC UN SCÉNARIO DIT « SNBC HYBRIDE » GARDANT LES MÊMES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE QUE LA SNBC-2 PUBLIÉE EN 2020.

Avec un déploiement accéléré de PAC hybrides gaz dans le chauffage résidentiel dans le cadre des principales hypothèses de la SNBC, ce scénario propose de déformer le mix d'équipements de la SNBC en intégrant **2,5 millions<sup>(1)</sup> de PAC hybrides gaz dans le résidentiel en remplacement de PAC électriques, de systèmes à effet joule mais aussi de PAC gaz.**

<sup>1</sup> *Volume d'équipements pris en compte par RTE dans ses scénarios « Futurs énergétiques 2050 »*

# NOTRE DÉMARCHE :

## EXPLORER UN SCENARIO INTÉGRANT L'HYBRIDATION ÉLECTRICITÉ-GAZ EN RAPPORT AVEC LES GISEMENTS DE GAZ RENOUVELABLES

### EXPLORER LE SCÉNARIO DIT « COENOVE 80 » : NOTRE SCÉNARIO

Sur la base de ses travaux et des données disponibles, COENOVE a bâti le scénario « **COENOVE 80** » basé sur un corpus d'hypothèses différents de celui de la SNBC et notamment :

- une utilisation plus importante des gaz renouvelables dans le chauffage résidentiel, cohérente avec les gisements en 2050 soit 80 TWh<sup>(1)</sup>**, pour alimenter un nombre de systèmes gaz ou hybrides en 2050 équivalent à la situation actuelle ;
- Le déploiement de **4 millions<sup>(2)</sup> de PAC hybrides gaz.**

<sup>1</sup> 80 TWh de gaz renouvelables est aussi cohérent avec différents scénarios prospectifs d'autres acteurs.

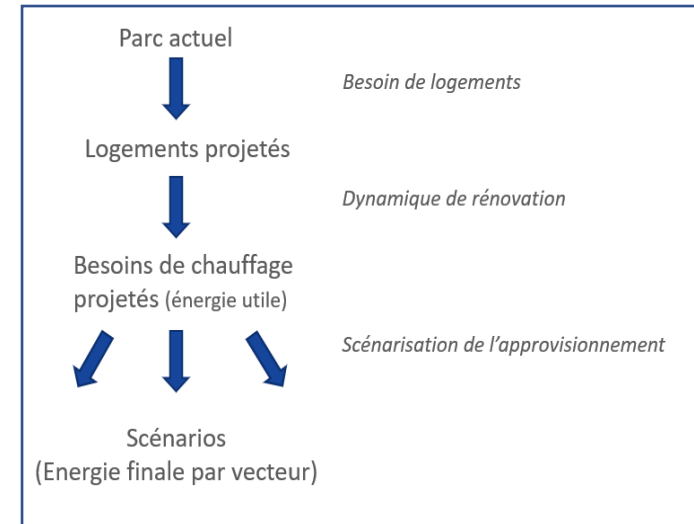
<sup>2</sup> Dans « Transitions Energétiques - Choisir maintenant, agir pour le climat », l'ADEME en retient jusqu'à 5,7 millions.

# QUELLE MÉTHODOLOGIE ?

➡ PREMIÈRE PHASE : SIMULATION DU MIX DE CONSOMMATIONS RÉSULTANT DE LA DÉFORMATION DU PARC RÉSIDENTIEL ENTRE 2016 ET 2050

La méthodologie suivie consiste à :

- ❑ **reconstituer le parc de logements résidentiels correspondant au scénario de la SNBC qui sert de point de départ pour les deux scénarios alternatifs ;**
  - ❑ **et d'en simuler la déformation avec les PAC hybrides pour en déduire les consommations par vecteur énergétique, les courbes horaires de demande électrique...**
- ✓ *Le nombre de logements à 2050 est déduit à partir du nombre actuel de logements, du nombre de constructions neuves et de démolitions*
  - ✓ *Les hypothèses de dynamique de rénovations, de constructions neuves et de démolitions sont communes à l'ensemble des 3 scénarios*
  - ✓ *La scénarisation de l'approvisionnement (choix du vecteur de chauffage et d'ECS et du mix d'équipements) est quant à elle spécifique à chaque scénario, ce qui les différencie*



*Note : Il convient de préciser que la reconstitution de la SNBC (parc de logements, mix de chauffage) décrite dans la présente étude relève d'une interprétation d'Artelys des chiffres rendus disponibles par le MTES.*



# QUELLE MÉTHODOLOGIE ?

## → DEUXIÈME PHASE : ÉVALUATION DE L'IMPACT DES SCÉNARIOS SUR LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Le mix de production électrique de chaque scénario est :

- ❑ Redimensionné pour répondre aux demandes électriques des scénarios calculées en phase 1 et assurer à moindre coût l'équilibre offre-demande d'électricité
- ❑ Puis optimisé. L'optimisation permet d'évaluer l'impact des niveaux et des profils de demande de chacun des scénarios sur les coûts complets de production et sur la sécurité de l'approvisionnement. Elle contribue à minimiser les surplus d'électricité renouvelable ou nucléaire non utilisés, mais aussi l'appel à des technologies de production à fort coût variable.

*Note : Le parc de production obtenu pour la SNBC représente un mix possible pour satisfaire la demande énergétique recomposée à partir des éléments publics de la SNBC. Il ne présage en rien de l'avis d'Artelys et de Coénove sur un mix souhaitable en 2050.*

# QUELLE MÉTHODOLOGIE ?

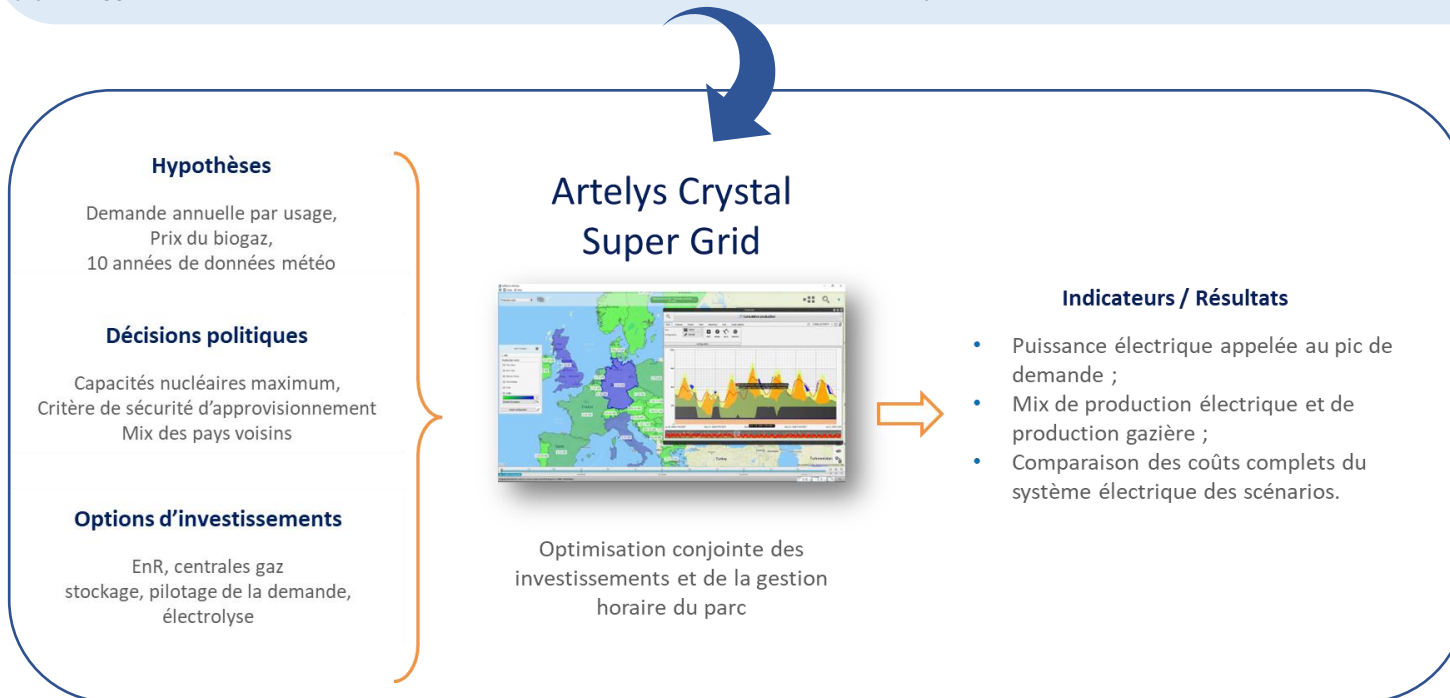
Pour le scénario Coénove 80, un **calcul des coûts complets du parc résidentiel par différence avec le scénario SNBC est effectué**. Il comprend la somme des postes de coûts suivants :

- ✓ *Coût des rénovations*
- ✓ *Coût des équipements de chauffage*
- ✓ *Coût du système électrique (investissement et gestion dont investissements pour production de gaz de synthèse)*
- ✓ *Coût des combustibles autres que l'électricité (incl. biométhane)*

# FOCUS SUR L'ÉVALUATION DE L'IMPACT DES SCÉNARIOS SUR LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE ET L'OPTIMISATION DU MIX ÉLECTRIQUE

⚠ Pour le cas SNBC et pour les deux scénarios alternatifs, composés de niveaux et de profils différents de consommation d'électricité et de gaz dans le résidentiel, l'étude analyse l'impact de la structure de la consommation sur le mix de production électrique, la pointe électrique et le mix de production de gaz renouvelable en optimisant le mix de production.

Cette optimisation est réalisée à l'aide de [l'outil Artelys Crystal Super Grid](#). Il permet d'optimiser conjointement les investissements de production et leur utilisation afin d'assurer l'équilibre offre-demande au pas de temps horaire, pour 10 années de données météo (qui affectent la consommation thermosensible et les productions éoliennes et solaires).



→ En particulier, les capacités de production optimisées sont :

- Les productions renouvelables : éoliennes (terrestres et marines), panneaux solaires PV
- Les centrales fonctionnant au gaz (cycles combinés, turbines à gaz)
- Les batteries
- L'électrolyse à partir d'électricité renouvelable et la méthanation pour la fourniture de gaz de synthèse

→ Ces optimisations permettent d'évaluer l'impact des scénarios de consommations sur :

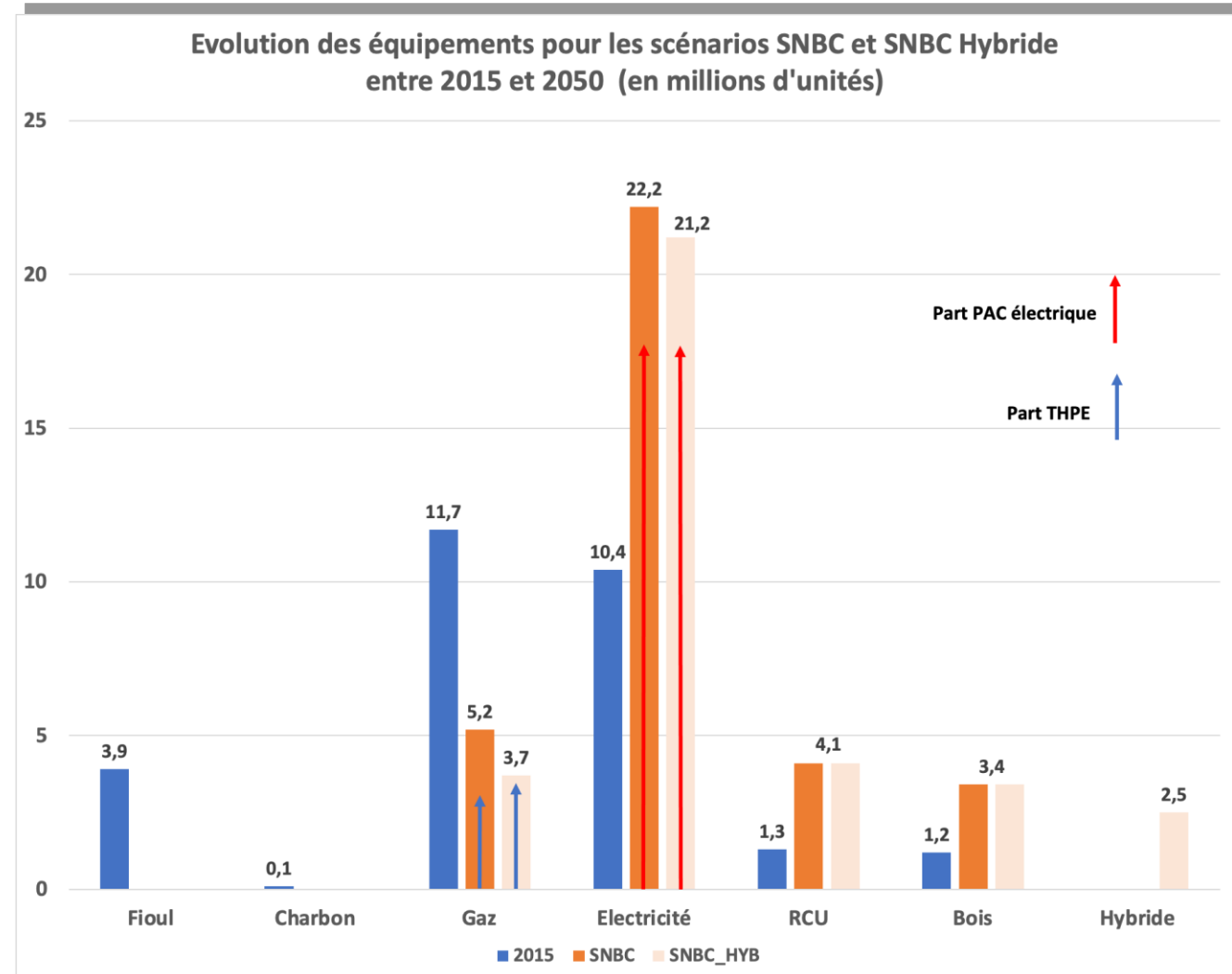
- Les mix de capacité et de production pour couvrir la demande d'électricité et de gaz
- Le niveau du pic de demande électrique nette,
- La contribution de l'électrolyse et de la méthanation pour l'approvisionnement de la demande de gaz renouvelable
- Les imports/exports d'électricité
- Les coûts du système

# SCÉNARIO SNBC HYBRIDE

# L'ÉVOLUTION DU PARC D'ÉQUIPEMENTS DE CHAUFFAGE

Le parc de résidences principales passe de 28,6 à 34,9 millions entre 2015 et 2050

- Dans le scénario SNBC, le nombre de logements chauffés à l'électricité (x2,1), au RCU (x3) ou au bois (x2,8) progresse significativement alors que les logements chauffés au gaz sont divisés par 2,2
- Le scénario SNBC hybride augmente dans les mêmes proportions les logements chauffés à l'électricité, au RCU et au bois et divise par plus de 3 le nombre de logements chauffés au gaz seul.
- Le nombre de logements chauffés par PAC hybride peut être associé aux logements électriques pour 80% de leur consommation et aux logements gaz pour 20% de leur consommation

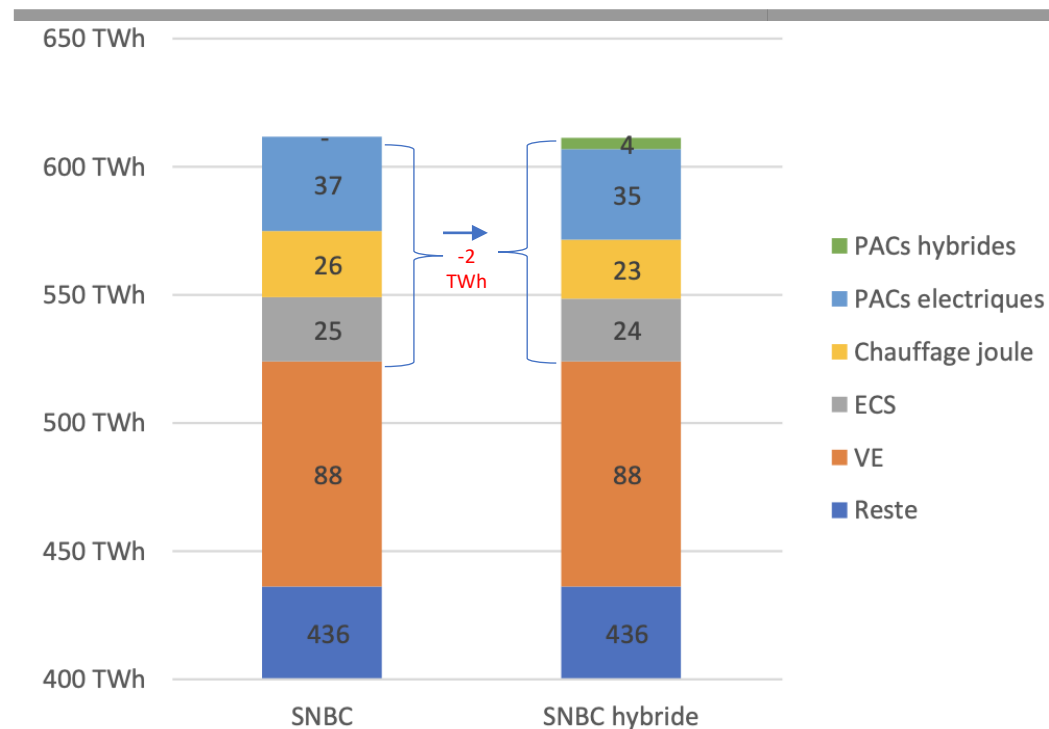


# PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU SCENARIO SNBC HYBRIDE

1

- Le parc résidentiel de SNBC et SNBC Hybride présente une performance énergétique moyenne cohérente avec les objectifs de la SNBC de 80 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.an
- Les 2 scénarios conduisent en 2050 à :
  - Une demande totale d'électricité comparable : 612 et 610 TWh (à comparer aux 460 TWh en 2020, soit +32%) ;
  - Une demande résidentielle de gaz identique de 35 TWh<sup>1</sup> (à comparer aux 166 TWh<sup>1</sup> en 2020) ;
  - Mais une répartition différente.

Décomposition de la demande totale annuelle électrique (TWh) France en 2050



(1) TWh PCS

# PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU SCENARIO SNBC HYBRIDE

# 2

- Le scénario SNBC conduit à un pic hivernal de **118 GW**
- L'introduction de PAC hybrides au détriment des PAC électriques et de l'effet joule hybride permet de **diminuer de 2 GW** l'appel de puissance électrique au moment du pic de demande hivernal
- Les 2 scénarios nécessitent le recours à l'effacement industriel de **5 GW**

<b>Puissance appelée au moment du pic</b>		
<b>Technologie</b>	<b>SNBC</b>	<b>SNBC Hybride</b>
<b>Demande totale</b>	<b>118 GW</b>	<b>116 GW</b>
<b>Mix de production au moment du pic</b>		
<b>Effacement industriel</b>	<b>5 GW</b>	<b>5 GW</b>
<b>Production</b>	<b>113 GW</b>	<b>111 GW</b>

# EN RÉSUMÉ ... QUELS AVANTAGES POUR LE SCENARIO SNBC HYBRIDE ?

 **La PAC Hybride a toute sa place dans la SNBC pour réduire la pointe électrique et renforcer la résilience du système électrique**

Pour des volumes de consommations par énergie identiques à la SNBC, l'introduction de 2,5 millions de PAC hybrides gaz au détriment d'équipements purement électriques permet au moment du pic hivernal de demande de diminuer la pointe électrique de 2 GW et limite les besoins d'investissement dans les capacités de production électrique.

 **Le système électrique reste cependant contraint**

Pour satisfaire la pointe hivernale nette, le système électrique ne peut se passer d'effacements industriels à hauteur de 5GW (hors implantation de nouvelles unités industrielles relevant d'un plan de réindustrialisation de la France).

**Dans le cadre des travaux de révision de la SFEC en cours ,  
la PAC hybride constitue une voie incontournable de la future SNBC**

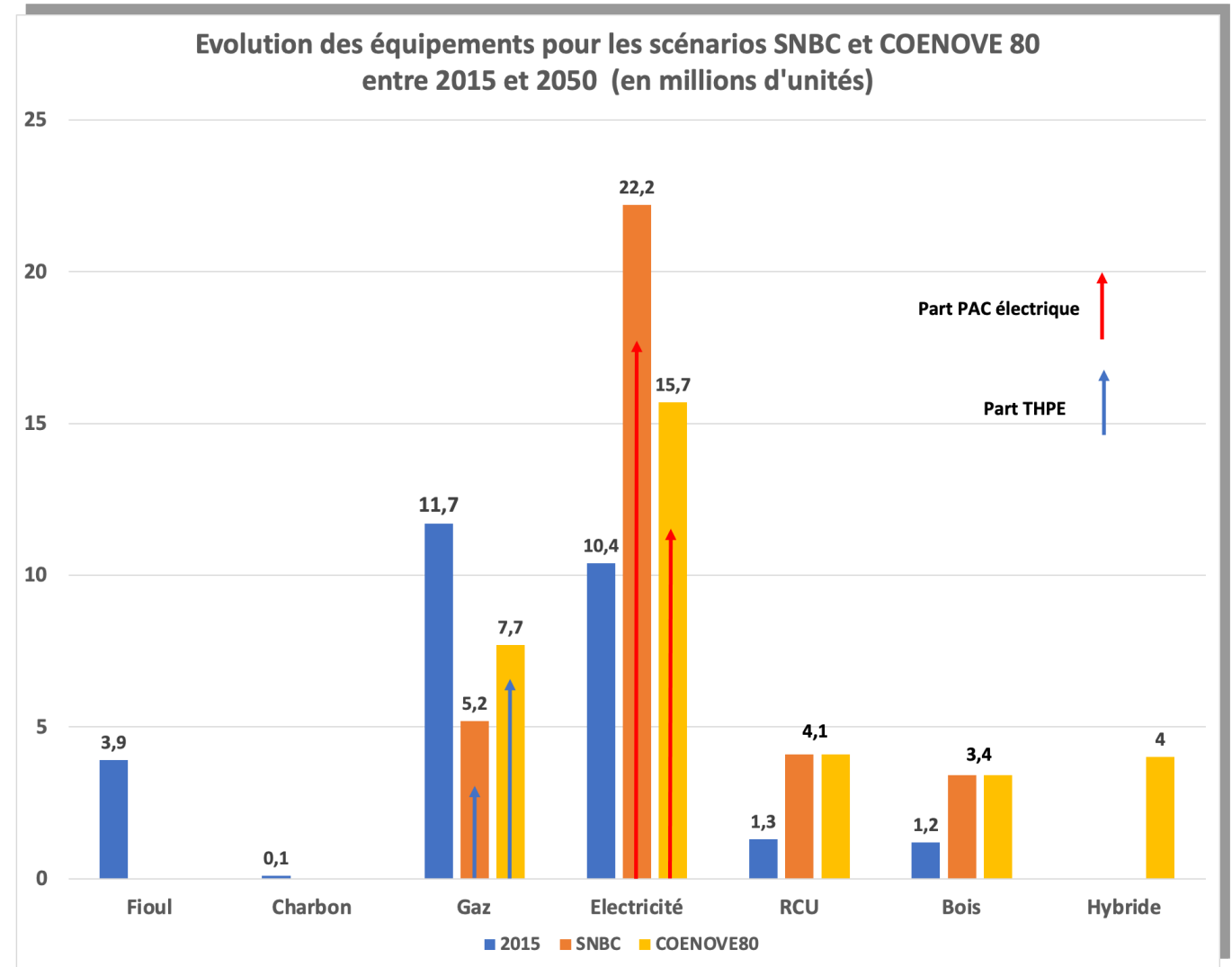


# SCÉNARIO COENOVE 80

# L'ÉVOLUTION DU PARC D'ÉQUIPEMENTS DE CHAUFFAGE

Le parc de résidences principales passe de 28,6 à 34,9 millions entre 2015 et 2050

- Dans le scénario SNBC, le nombre de logements chauffés à l'électricité (x2,1), au RCU (x3) ou au bois (x2,8) progresse significativement alors que les logements chauffés au gaz sont divisés par 2,2
- Dans le scénario COENOVE 80, le nombre de logements chauffés à l'électricité (x1,5), au RCU (x3) ou au bois (x2,8) progresse significativement alors que les logements chauffés au gaz sont divisés par 1,5
- Les 4 millions de logements chauffés par PAC hybride peut être associé aux logements électriques pour 80% de leur consommation et aux logements gaz pour 20% de leur consommation

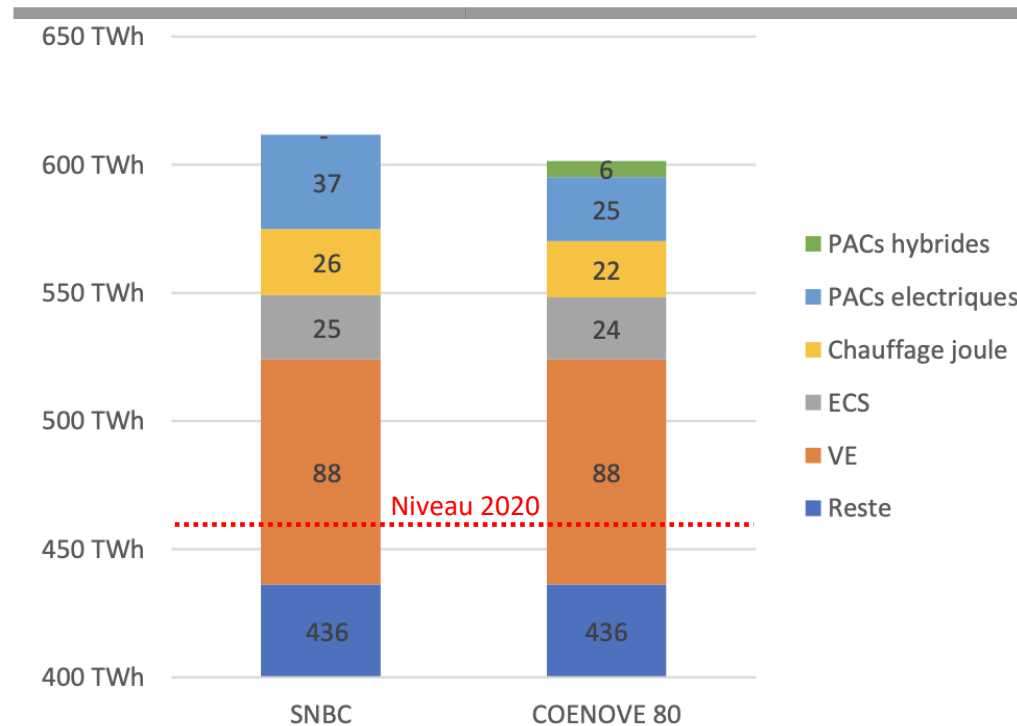


# PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU SCÉNARIO COENOVE 80

1

- Le parc résidentiel issu des 2 scénarios présente une performance énergétique moyenne en 2050 cohérente avec les objectifs de la SNBC : 80 et 85 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.an
- Les 2 scénarios conduisent à une demande totale d'électricité en 2050 de 612 TWh et 601 TWh à comparer aux 460 TWh en 2020 (+30%), soit une réduction de 11TWh pour le scénario COENOVE 80

Décomposition de la demande totale annuelle électrique (TWh) France en 2050



# PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU SCÉNARIO COENOVE 80

# 2

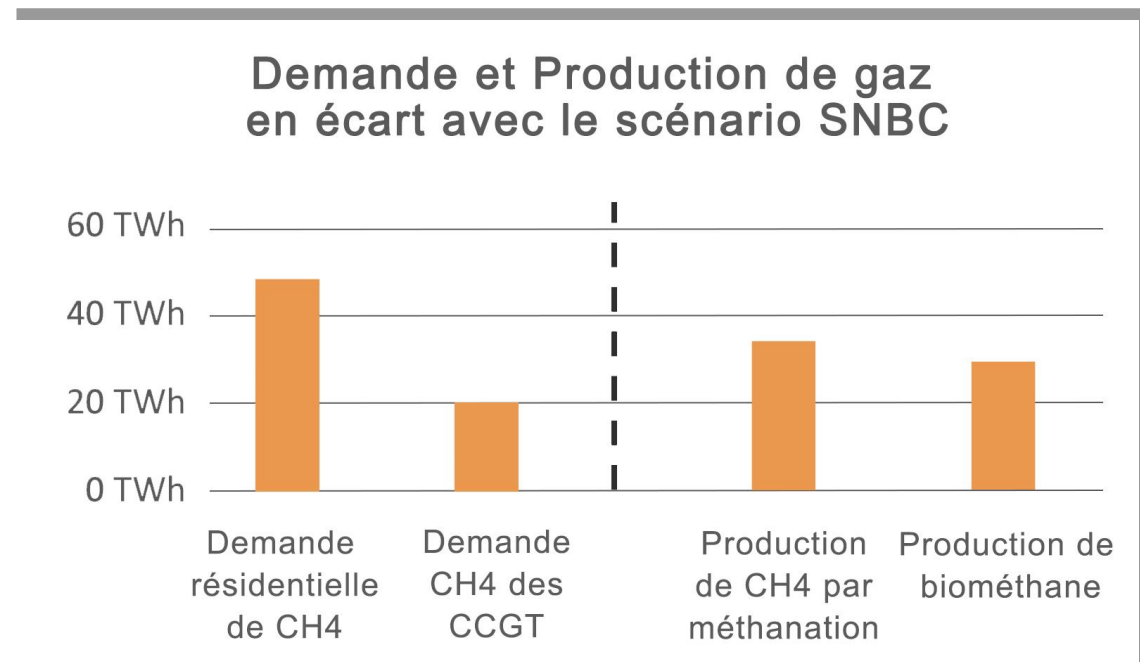
- L'introduction de PAC hybrides au détriment des PAC électriques et de l'effet joule dans le scénario COENOVE 80 permet de **diminuer de 8 GW** l'appel de puissance électrique au moment du pic de demande hivernal **sans solliciter l'effacement industriel**
- Le scénario COENOVE 80 réduit la contrainte sur le système électrique en période de grands froids, sécurise mieux l'approvisionnement en électricité du secteur industriel et constitue un atout en vue de sa réindustrialisation

Puissance appelée au moment du pic			Mix de production au moment du pic		
Technologie	SNBC	COENOVE 80	Technologie	SNBC	COENOVE 80
<b>Demande totale</b>	<b>118 GW</b>	<b>110 GW</b>	<b>Production</b>	<b>113 GW</b>	<b>110 GW</b>
			<b>Efacement industriel</b>	<b>5 GW</b>	<b>non sollicité</b>
dont PACs électriques	21,6	14,6	dont production éolienne	12,7	12,6
dont PACs hybrides	-	1,3	dont production hydraulique	9,6	9,6
dont Joule	12	9,5	dont production nucléaire	13,4	13,4
dont ECS	1,1	1,2	dont autres renouvelables	0,9	0,9
dont Véhicules élec.	7,2	7,2	dont production de gaz	18,9	23,1
dont reste	75,8	75,8	dont batteries et STEP	18,1	10,6
			dont imports nets	39,2	39,4

# PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU SCÉNARIO COENOVE 80

## 3

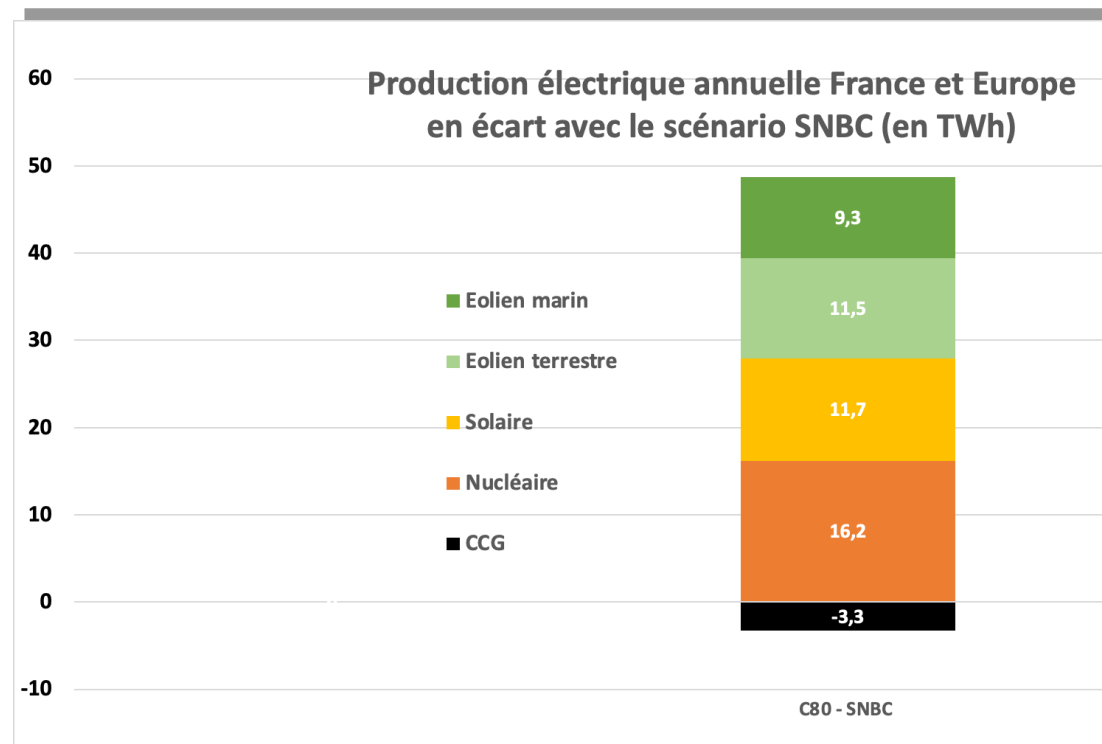
- Le scénario COENOVE 80 utilise du gaz 100% renouvelable (biogaz ou gaz de synthèse)
- Le scénario COENOVE 80 conduit à une consommation de gaz supérieure à celle de la SNBC de l'ordre de 70 TWh PCI :
  - 50 TWh pour couvrir les besoins supplémentaires en résidentiel et 20 TWh pour la production d'électricité tous usages par des Cycles Combinés à Gaz (CCGT)
  - assurés environ à parts égales par les gisements de biométhane disponibles en 2050 et par méthanation



# PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU SCÉNARIO COENOVE 80

# 4

- L'introduction de PAC hybrides gaz au détriment des PAC électriques permet au scénario COENOVE 80 d'exploiter davantage en France et en Europe, les capacités de production électrique décarbonées
- Pour une demande électrique plus faible et une demande de gaz plus élevée, le scénario COENOVE 80 permet de mieux utiliser les capacités électriques renouvelables et montre la pertinence de développer en 2050 les installations de Power-to-Gas, parallèlement à la production de biométhane



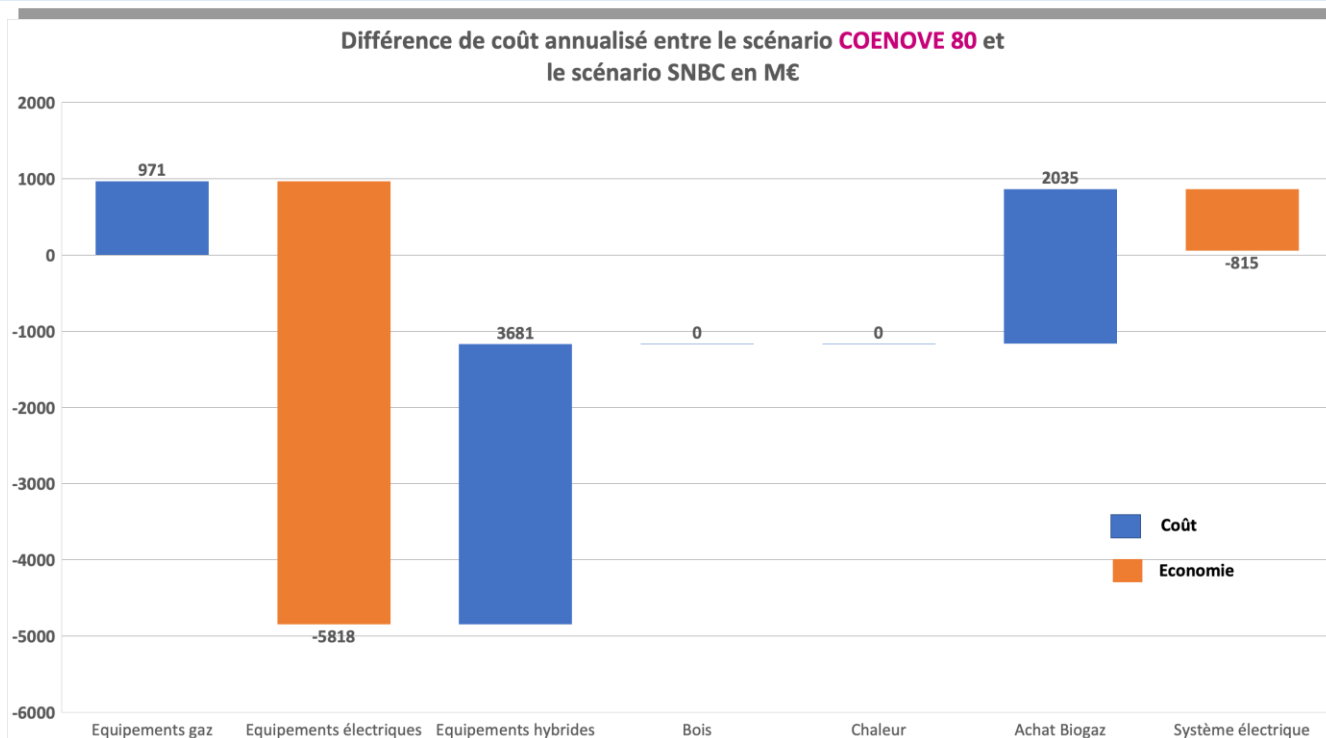
# PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU SCÉNARIO COENOVE 80

# 5

Tout compris, les coûts complets annualisés des scénarios COENOVE 80 et SNBC sont sensiblement égaux.

Le scénario COENOVE 80 se traduit par :

- une économie annuelle nette en matière d'investissement sur les équipements de chauffage pour les consommateurs supérieure à 1,1 milliard d'euros par rapport au scénario SNBC
- une économie de 815 millions d'euros sur le système électrique
- un surcoût lié à l'achat de gaz renouvelable



# EN RÉSUMÉ ... QUELS AVANTAGES POUR LE SCÉNARIO COENOVE 80 ?



## LE SCENARIO COENOVE 80, AVEC UN MIX ENERGETIQUE PLUS DIVERSIFIE REPOND AUX BESOINS DE FLEXIBILITE DU SYSTEME ELECTRIQUE

L'introduction de 4 millions de PAC hybrides gaz principalement au détriment de PAC électriques permet de diminuer les contraintes sur le système électrique : **la pointe liée au chauffage électrique est ainsi diminuée de 8 GW dans ce scénario.**

Par ailleurs, COENOVE 80 apporte une sécurité supplémentaire dans la mesure où il dispose d'un potentiel de **flexibilité supplémentaire de 5 GW liée à l'effacement industriel**, dans le cas éventuel d'un déficit de production lié à un aléa quelconque (climatique, sanitaire, maintenance et entretien ...).

**Tout compris, les coûts complets du scénario COENOVE 80 sont comparables à ceux de la SNBC**

**Dans le contexte de la future SFEC,  
le scénario COENOVE 80 basé sur le déploiement de 4 millions de PAC hybrides gaz est  
une alternative incontournable au service de la résilience du système électrique,  
économiquement comparable à la SNBC**





Energies nouvelles – Gaz – Mix pluriel

- Contacts -

**Bernard AULAGNE,**

Président

[bernard.aulagne@coenove.fr](mailto:bernard.aulagne@coenove.fr)

**Isabelle CLAVEL,**

Déléguée Générale

[isabelle.clavel@coenove.fr](mailto:isabelle.clavel@coenove.fr)