

# TRAJECTOIRES DE DÉCARBONATION DE L'EUROPE LE SCÉNARIO D'ENGIE

The ENGIE logo is positioned at the bottom center of the page. It features a white, curved line above the word "ENGIE" in a bold, white, sans-serif font. The background of the entire page is a high-angle, aerial photograph of a large offshore wind farm. The sea is a deep, vibrant blue, and the sky is a clear, bright blue. In the foreground, the white tower and nacelle of a wind turbine are visible, with its three blades extending outwards. Another wind turbine is seen in the middle ground, and a small boat is visible on the horizon. The overall scene conveys a sense of clean, renewable energy.



# UN SCÉNARIO POUR ÉCLAIRER L'AVENIR

Le monde est confronté aux crises climatiques et écologiques. S'y ajoute désormais la crise géopolitique qui a rendu encore plus sensibles les enjeux de sécurité d'approvisionnement, de souveraineté de l'Europe et de fiabilité du système énergétique. La baisse des émissions de gaz à effet de serre est au cœur de ces enjeux.

Les émissions de CO<sub>2</sub> ont déjà diminué à un rythme annuel de 1 % par an dans les 15 pays européens étudiés par ENGIE pour élaborer son scénario. Mais il est impératif d'aller plus vite, en portant le rythme à - 4 % par an, pour atteindre les objectifs fixés par l'Union européenne pour 2030 ("Fit for 55"). Cette accélération sera possible grâce à l'électrification des usages, aux économies d'énergie, au développement des énergies renouvelables et des gaz décarbonés (biométhane, hydrogène, molécules de synthèse). Après 2030, le rythme devra être maintenu jusqu'en 2050 afin d'arriver à la neutralité carbone.

Plusieurs incertitudes peuvent compromettre la trajectoire de décarbonation souhaitée. Le rythme de développement des solutions sera-t-il le bon ? Comment s'assurer de l'adhésion des populations dans les territoires ? Le modèle de transition choisi sera-t-il économiquement soutenable ? Disposera-t-on des infrastructures et forces industrielles nécessaires ?

Face à ces incertitudes et alors que les enjeux de décarbonation sont plus que jamais au cœur du débat public, ENGIE publie son scénario de transition à l'échelle européenne. Forts de notre expérience et de notre rôle d'acteur énergétique engagé depuis de nombreuses années dans une trajectoire de décarbonation ambitieuse, notre analyse montre l'intérêt d'un mix équilibré, garant d'un système énergétique fiable et résilient. Face à l'urgence climatique, chaque jour compte : les entreprises, main dans la main avec les pouvoirs publics, doivent jouer un rôle central dans l'accélération de la transition énergétique.

## OUVRIR UNE NOUVELLE VOIE

Notre scénario est construit sur le respect de trois critères : être aligné avec l'ambition climat européenne, optimiser les coûts pour la collectivité et garantir la sécurité du système énergétique. En passant toutes les solutions possibles au filtre de ces trois critères, la nouvelle voie que nous traçons capitalise sur les leviers de décarbonation existants les plus pertinents, tout en laissant une place aux technologies émergentes. C'est une approche à la fois pragmatique et systémique.

### NOTRE MÉTHODOLOGIE POUR UNE TRAJECTOIRE DE DÉCARBONATION OPTIMISÉE EN MATIÈRE DE COÛTS

Ce scénario s'appuie sur une méthode robuste permettant de modéliser les systèmes énergétiques de 15 pays européens (Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, France, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie et Suisse) jusqu'en 2050.

Un large panel de solutions technologiques, bas-carbone et matures, est mobilisé : l'objectif étant de s'appuyer sur les interactions entre l'électricité, le méthane, l'hydrogène, les e-molécules et la chaleur. La modélisation a été réalisée avec une granularité horaire pour garantir les critères de fiabilité et de résilience.

Avec une hausse de 1,8% de la population et une hausse annuelle du PIB de 1,3 %, le scénario aboutit à une diminution des consommations d'énergie de 34 % entre aujourd'hui et 2050. Nous sommes en effet convaincus que l'efficacité énergétique, couplée à un changement des comportements de consommation, est totalement conciliable avec la croissance économique.

# NOS CONVICTIONS

Il ressort de notre scénario cinq enseignements principaux qui forgent nos convictions pour une transition réussie.

- 1 La décarbonation est notre objectif principal** et, pour cela, une approche sans dogmatisme est nécessaire : tous les leviers existants ou en cours de développement doivent être actionnés pour concrétiser le “zéro émission nette” en moins de 30 ans. Nous prôtons une pluralité technologique pour guider les choix de transition.
- 2 La baisse des consommations d'énergie, tous secteurs confondus, est un prérequis à la transition.** Les efforts d'efficacité énergétique doivent être renforcés, en particulier pour massifier la rénovation performante des bâtiments. Le changement dans les comportements de consommation aura aussi un rôle important à jouer dans l'atteinte des objectifs de sobriété.
- 3 Les énergies renouvelables électriques (solaire et éolien) joueront un rôle considérable** dans la trajectoire de décarbonation. Leur large développement dans tous les pays doit être soutenu, car elles seules peuvent sécuriser rapidement et aux meilleurs coûts les besoins grandissants d'électrification des usages.
- 4 De plus grandes capacités de flexibilité vont être nécessaires dans le futur système énergétique** puisqu'il s'appuiera sur une production d'électricité largement renouvelable et décentralisée. Le déploiement de toutes les solutions de flexibilité qui seront nécessaires dans 10 ans doit être anticipé dès maintenant.
- 5 Coupler les vecteurs de l'électricité et du gaz est l'unique réponse** à des objectifs ambitieux de transition énergétique. Nous appelons de nos vœux cette alliance de l'électron et de la molécule. En complément de la biomasse, et du biométhane en particulier, les atouts des molécules de synthèse (hydrogène, méthane, etc.) doivent être valorisés. Le renforcement de l'expertise dans ces technologies et l'utilisation des infrastructures gazières pour de nouveaux usages entraîneront une réduction des coûts pour la collectivité et garantiront la résilience du système.

**CHIFFRES CLÉS  
DU SCÉNARIO  
EN EUROPE  
ENTRE 2023  
ET 2050**

**- 34 %**

consommation  
d'énergie

**x 1,8**

consommation  
d'électricité

**x 6**

production  
d'électricité du  
solaire  
photovoltaïque et  
de l'éolien

**+ 600<sub>GW</sub>**

besoins de flexibilité

**÷ 2**

consommation de  
méthane

**x 8**

demande  
d'hydrogène

**x 4,6**

production de  
biométhane et  
biogaz

# LES DÉFIS D'UNE ÉLECTRIFICATION MASSIVE

Le scénario optimisé d'ENGIE prend en compte une très importante **électrification des usages à l'horizon 2030/2050**. Dans un scénario de mix équilibré, cette augmentation des besoins en électricité conduit à une hausse de la demande qui atteint, en 2050, 4879 TWh en Europe, et 664 TWh en France. Si les usages électriques s'intensifient dans le bâtiment pour le chauffage (pompes à chaleur) et dans l'industrie, leur consommation est relativement stable grâce aux gains d'efficacité énergétique. Cependant, la mobilité (développement des transports en commun et des véhicules électriques) et la production d'hydrogène par électrolyse représentent de nouveaux postes de consommation d'électricité qui augmentent beaucoup.

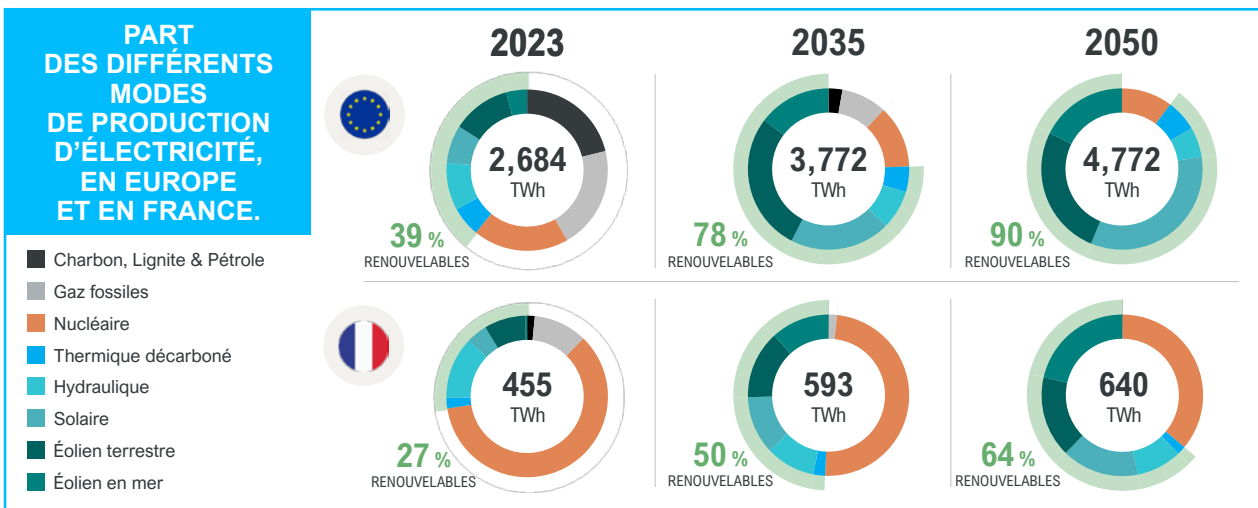
Pour satisfaire au besoin lié à l'électrification dès la prochaine décennie, **le développement massif des énergies renouvelables est indispensable dans toute l'Europe**. La baisse des coûts du solaire photovoltaïque et de l'éolien depuis quelques années rend ces technologies incontournables pour l'avenir, d'autant plus qu'elles renforcent la souveraineté énergétique du continent.

## ZOOM SUR LE MIX FRANÇAIS

En France, dans notre scénario, les technologies renouvelables seront les premières sources d'électricité en 2050 avec une capacité installée entre 103 GW de solaire photovoltaïque, 57 GW d'éolien terrestre et 40 GW d'éolien en mer. L'hydroélectricité restera proche de ces niveaux actuels (26 GW). Nous intégrons le nucléaire en phase avec les orientations gouvernementales : 16 GW de réacteurs existants toujours en fonctionnement en 2050 et 14 nouveaux EPR (22,4 GW). Cette complémentarité « renouvelables et nucléaire » permettra ainsi à la France d'être exportatrice nette d'électricité en Europe dès 2035.

## L'ÉOLIEN ET LE SOLAIRE X 6 D'ICI 2050

Selon le scénario d'ENGIE, **la production d'électricité de l'éolien et du photovoltaïque en Europe devrait plus que tripler d'ici 2035 et être multipliée par 6 d'ici 2050**. Toutes les sources renouvelables électriques (éolien, solaire, hydroélectricité, hydrogène renouvelable, biométhane et biomasse) fourniront ainsi 78 % des électrons en 2035 et 90 % en 2050. Grâce à ce déploiement des renouvelables, le secteur électrique européen sera beaucoup moins dépendant des énergies fossiles à l'horizon 2035.



# PAS DE TRANSITION SANS FLEXIBILITÉ

Un système énergétique reposant sur plus d'énergies renouvelables oblige à gérer une plus grande variabilité de la production, en raison des variations du vent et du soleil. L'ajout de moyens de flexibilité est alors indispensable pour sécuriser le pilotage du système électrique.

Les moyens classiques de stockage, comme les stations de transfert d'énergie par pompage, sont nécessaires pour apporter cette flexibilité, mais doivent être complétés par d'autres solutions.

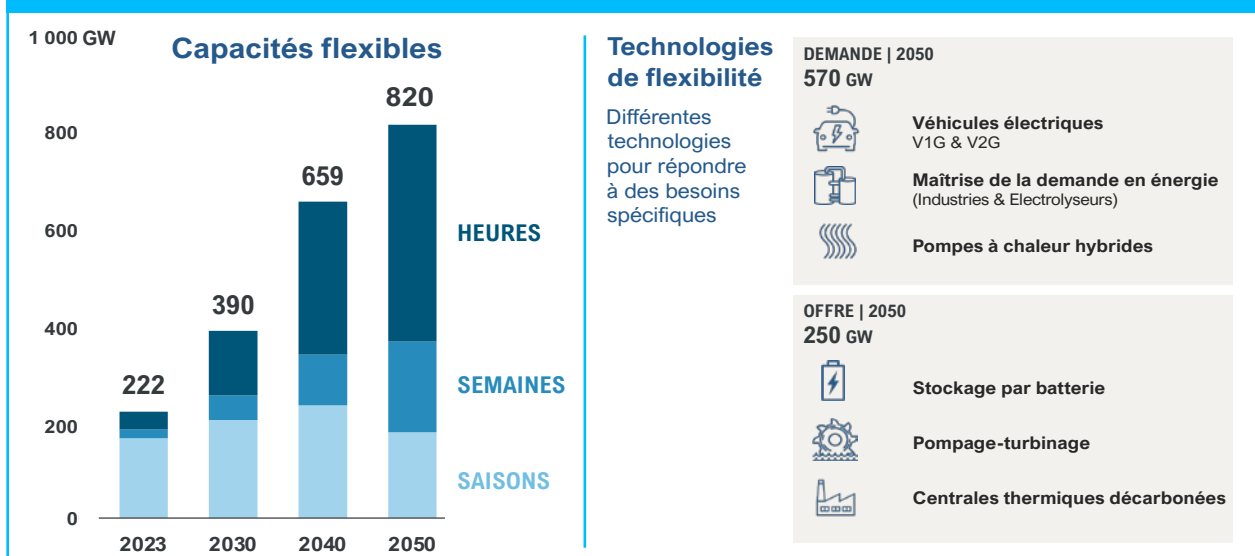
Dans notre scénario, nous prenons en compte les besoins en capacités flexibles au niveau européen d'ici 2050. Les différentes technologies sont évaluées en fonction de l'impact positif qu'elles ont sur la sécurité d'approvisionnement, à plusieurs échelles de temps. Elles se divisent en deux grandes familles :

- la flexibilité de la demande à hauteur de 570 GW, via les batteries des véhicules électriques, la maîtrise de la demande en énergie (industrie et électrolyse) et les pompes à chaleur hybride ;
- la flexibilité en production, pour un total de 250 GW, en utilisant du stockage par batteries stationnaires, du pompage-turbinage hydroélectrique et des centrales thermiques décarbonées.

## ACCÉLÉRER LE RYTHME DES INSTALLATIONS

En Europe, actuellement, le niveau moyen d'installation de nouvelles capacités est de 14,5 GW/an pour le solaire photovoltaïque, de 9,5 GW/an pour l'éolien terrestre et de 1,2 GW/an pour l'éolien en mer. Si l'on veut s'aligner sur les ambitions affichées dans REPowerEU, ces chiffres devraient être portés respectivement à 65 GW/an, 29 GW/an et 11 GW/an à l'horizon 2030. Selon notre scénario, ces ambitions sont atteignables pour l'éolien en mer mais pas pour le solaire ni l'éolien terrestre, sauf à débloquer les freins au développement des énergies renouvelables.

## CAPACITÉS DE FLEXIBILITÉ EN EUROPE ENTRE AUJOURD'HUI ET 2050



TROIS QUESTIONS À...

NICOLAS LEFEVRE-MARTON  
DIRECTEUR DE  
LA STRATÉGIE D'ENGIE



# « LES ÉNERGIES RENOUVELABLES JOUENT UN RÔLE D'ASSURANCE »

**Comment va évoluer le parc de production d'électricité en France ?**

**Nicolas Lefevre-Martion** : La France a une tradition et un modèle industriel fortement ancrés autour de l'énergie nucléaire. Il faut bien sûr maintenir cet avantage pour notre trajectoire de décarbonation : dans notre scénario, le nucléaire assure 35 % de la production en 2050. Néanmoins, la filière nucléaire française est confrontée à des défis importants, principalement liés au rythme de développement des nouvelles capacités ou à la disponibilité du parc. Nous devons en être conscients et dans ce contexte, nous pensons que les énergies renouvelables et notamment le photovoltaïque, l'éolien terrestre et en mer, sont les mieux placés pour jouer un rôle d'assurance, compte tenu de leur compétitivité économique et de leur rapidité d'installation. En créant de l'emploi sur tout le territoire et en générant de l'électricité décarbonée à bas coût, elles sont une option sans regret.

**Comment arriver à piloter ces nouvelles productions renouvelables, plus variables ?**

La production d'énergie solaire et éolienne est effectivement variable, soumise aux facteurs météorologiques. Cela ne nous

empêche pas de piloter le système électrique avec fiabilité grâce aux prédictions météo. De plus, on peut prévoir une modulation de la consommation d'électricité, par exemple en demandant à un industriel d'arrêter temporairement sa production lors d'un pic de consommation. Enfin, on peut développer des moyens de flexibilité dont la fonction est justement de gérer les variations de production d'électricité sur l'heure, la journée, la semaine ou la saison.

**Aurons-nous vraiment besoin de centrales thermiques jusqu'en 2050 ?**

C'est ce que nous pensons, en effet, mais nous n'utiliserons plus ces centrales de la même manière qu'avant. Les centrales à gaz peuvent produire de l'électricité très vite et en très grande quantité. En utilisant des gaz décarbonés, elles auront la capacité de répondre aux besoins de pointe, en particulier l'hiver. Si on ne disposait pas de ce thermique décarboné en Europe, il faudrait surdimensionner le parc renouvelable et investir dans d'autres moyens de flexibilité : dans ce cas, le surcoût serait de plusieurs dizaines de milliards d'euros par an à l'horizon 2050. La collectivité gagnera donc à valoriser le thermique décarboné !

# VERS DES GAZ 100 % DECARBONÉS EN 2050

L'industrie gazière doit relever un double défi pour la transition énergétique : faire évoluer son modèle économique avec une consommation divisée par deux, et passer du méthane d'origine naturel à des gaz entièrement décarbonés.

**La palette de ces gaz est très large :**

- le biométhane de première génération, produit à partir de méthanisation (digestion anaérobie de matières organiques comme les déchets agricoles) ;
- le biométhane de deuxième génération, produit par des procédés comme la pyrogazéification de déchets ;
- l'hydrogène renouvelable, produit par électrolyse de l'eau grâce à de l'électricité renouvelable ;
- les molécules de synthèse (méthane, méthanol, ammoniac, etc.), produites à partir de l'hydrogène ;
- le gaz naturel associé au captage et stockage de CO<sub>2</sub> (CCS).

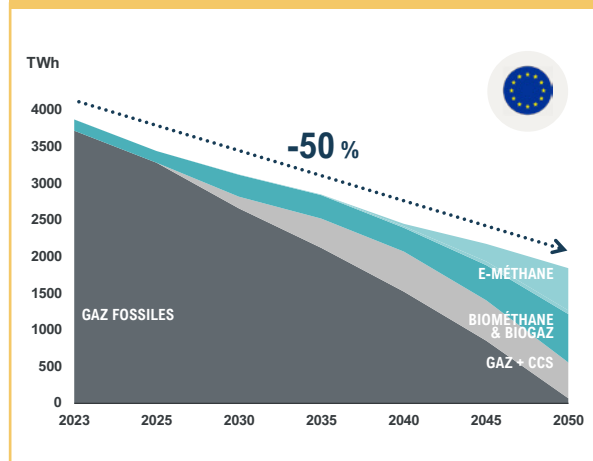
Les potentiels de ces différentes solutions permettent de décarboner entièrement la consommation de gaz en Europe en 2050. Pour atteindre les objectifs européens "Fit for 55", il est nécessaire de mobiliser 450 TWh de ces gaz décarbonés d'ici 2030.

Les infrastructures existantes de transport, distribution et stockage de méthane peuvent faire circuler les gaz décarbonés. À l'échelle européenne, elles permettront l'acheminement de 600 TWh de biométhane, auxquels peuvent s'ajouter 300 TWh de méthane de synthèse importés via les terminaux méthaniers.

## BAISSE STRUCTURELLE DE LA CONSOMMATION DE GAZ

La consommation de gaz va diminuer environ de moitié à l'avenir. L'électrification des usages, en particulier pour le chauffage, et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments expliquent cette baisse importante. Dans le scénario d'ENGIE, la consommation européenne de méthane passe ainsi de 3880 TWh en 2023 à 1750 TWh en 2050. En France, l'évolution conduit la demande de 470 à moins de 245 TWh.

## CONSOMMATION DE MÉTHANE EN EUROPE



## ASSOCIER L'ÉLECTRON ET LA MOLÉCULE

**L'alliance de l'électron et de la molécule permet d'assurer la fiabilité du système énergétique ainsi que sa compétitivité**

La molécule a de nombreuses vertus puisqu'elle est transformable, stockable, exportable et importable. Les gaz décarbonés sont ainsi complémentaires des solutions électriques. En permettant la mise en place d'un mix énergétique équilibré, ils apportent des avantages : une réduction des besoins de pointe d'électricité, en particulier l'hiver, et des coûts globaux moindres pour la collectivité.



TROIS QUESTIONS À...

**PIERRE-LAURENT LUCILLE**  
CHEF ÉCONOMISTE  
D'ENGIE



## « LA FRANCE A L'UN DES PLUS GROS POTENTIELS DE BIOMÉTHANE D'EUROPE »

### Quelle sera la place de la biomasse dans la transition énergétique ?

La biomasse est une ressource clé pour atteindre les ambitions de décarbonation de l'Europe et de la France. Elle prend trois formes principales : le bois-énergie qui est au cœur du verdissement des réseaux de chaleur urbains ; les biocarburants dont les volumes doivent être maîtrisés pour éviter d'être en concurrence avec les besoins alimentaires ; et le biogaz qui va permettre de maintenir des usages gaz indispensables à un mix équilibré. En ce sens, la biomasse est un bien commun essentiel qu'il faut préserver sur le long terme.

### Justement, le biogaz peut-il se développer au niveau attendu ?

Notre scénario montre que le potentiel de biogaz/biométhane en Europe est suffisant pour couvrir presque la moitié de la demande européenne de gaz d'ici 2050. Il peut déjà fournir plus de 300 TWh de gaz vert d'ici 2030. Ce potentiel prend en compte les effets du changement climatique, l'évolution des pratiques agricoles et il évite d'avoir recours à des cultures dédiées pour ne pas être en concurrence avec la production de nourriture. La France dispose d'un potentiel de biométhane exceptionnel de l'ordre de 300 TWh par an, toutes filières confondues : pour le récupérer, la filière méthanisation va

devoir être soutenue. C'est une opportunité qui doit être utilisée comme levier de développement économique des territoires.

### Les gaz décarbonés vont-ils utiliser les infrastructures existantes de gaz ?

Oui, pour minimiser les coûts, il est essentiel de capitaliser sur les infrastructures gazières existantes que sont les réseaux de transport et de distribution ainsi que les sites de stockage : ils seront les relais naturels pour faire circuler les molécules de biométhane et de méthane de synthèse. Simultanément, on a intérêt à maintenir les structures comme les terminaux méthaniers pour se réserver des capacités d'importation, et à développer des structures ad hoc pour l'hydrogène.

### LES INFRASTRUCTURES, UN LEVIER INDISPENSABLE

Les investissements sont nécessaires pour maintenir et développer des infrastructures énergétiques. Jusqu'en 2040, ceux dans les infrastructures électriques sont les plus importants, afin de permettre le déploiement des énergies renouvelables : 39 Mds € par an pour les réseaux de transport et de distribution, les interconnexions transfrontalières ainsi que les infrastructures de recharge dans le transport. Les infrastructures gazières (méthane, hydrogène), quant à elles, jouent un rôle essentiel de fourniture de pointe et de flexibilité, avec un investissement moindre, à hauteur de 6 Mds € par an.



# L'INDISPENSABLE RÔLE PIVOT DE L'HYDROGÈNE

## FORT DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTROLYSE

De tous les gaz décarbonés, l'hydrogène a une place à part dans la transition énergétique. Cette molécule a en effet une fonction pivot permettant d'articuler l'électricité et les molécules de synthèse. Notre scénario prévoit ainsi :

- une très forte croissance des moyens européens de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, jusqu'à 270 GW d'électrolyseurs en 2050. Cette capacité offre aussi une source de flexibilité électrique ;
- la combinaison de l'hydrogène avec du CO<sub>2</sub>, par méthanation, pour produire du méthane de synthèse, à hauteur de 200 TWh en Europe en 2050.

L'hydrogène sera donc bien à l'interface des systèmes électriques et gaziers. Par ailleurs, il permettra de décarboner certains secteurs industriels tels que l'industrie sidérurgique ou la mobilité lourde (aérien et maritime). Dans une moindre mesure, on aura un usage direct de l'hydrogène en injection dans les réseaux de méthane ou dans la mobilité terrestre.

## SÉCURISER D'AUTRES SOURCES D'HYDROGÈNE

La moitié de l'hydrogène nécessaire à l'Europe en 2050 sera produite localement. Le défi industriel de développement de l'hydrogène par électrolyse est immense. Même si des économies d'échelle vont engendrer une baisse des coûts de production d'hydrogène vert en Europe, la prudence doit conduire à envisager d'autres sources d'approvisionnement, notamment les pays à fort ensoleillement qui pourront en produire à bas coût.

L'importation de l'hydrogène décarboné entre pays européens et depuis des pays voisins reposera sur la conversion des réseaux de transport existants ou la construction de nouveaux pipelines dédiés à cette molécule. La création d'une dorsale européenne d'hydrogène ouvrirait ainsi la voie à une mutualisation des moyens et permettrait le transit de plus de 100 TWh d'hydrogène à un coût compétitif depuis le sud de l'Europe (Espagne, France, Italie) vers le nord (Allemagne, Pologne). L'hydrogène jouera aussi un rôle crucial pour remplacer le gaz russe et le recours au charbon.

# x 8

consommation d'hydrogène entre aujourd'hui et 2050

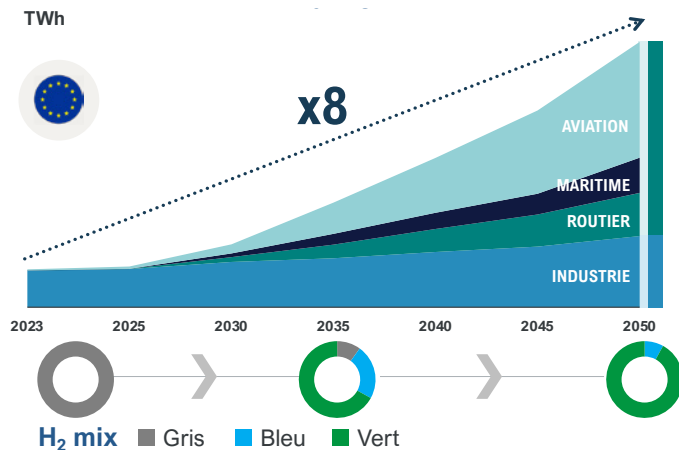
# 75 %

de l'hydrogène sera transformé en d'autres molécules de synthèse

# 80 %

de l'hydrogène sera bas-carbone d'ici 2030

## USAGES DE L'HYDROGÈNE EN EUROPE PAR SECTEUR



# UN SECTEUR EN PREMIÈRE LIGNE

## PRIORITÉ : RÉNOVER

Responsables de 40 % des consommations d'énergie en Europe, les bâtiments résidentiels et tertiaires n'ont d'autre choix que de vivre une transformation profonde. Pour participer aux objectifs de décarbonation, la réduction de leurs besoins énergétiques est essentielle. À cet effet, la rénovation performante des bâtiments est une priorité, appuyée par le développement de solutions d'efficacité énergétique et de pilotage des consommations.

Le rythme annuel des rénovations qui devrait être multiplié par 5 étant difficile à atteindre, le choix des modes de chauffage doit alors prendre en compte l'ensemble des enjeux : réduction des émissions, coût pour les ménages, etc.

## DIVERSIFIER LES SOLUTIONS DE CHAUFFAGE

Dans notre scénario, la demande de chaleur baisse de 67 %. L'électricité sera un mode de chauffage important des bâtiments résidentiels. Le maintien d'une part de chauffage électrique direct et le développement attendu des pompes à chaleur expliquent cette place prépondérante. Néanmoins, pour atteindre les objectifs de décarbonation et réduire les besoins d'électricité lors des pointes de consommation hivernales, il nous paraît important de s'appuyer sur l'ensemble des solutions disponibles, comme :

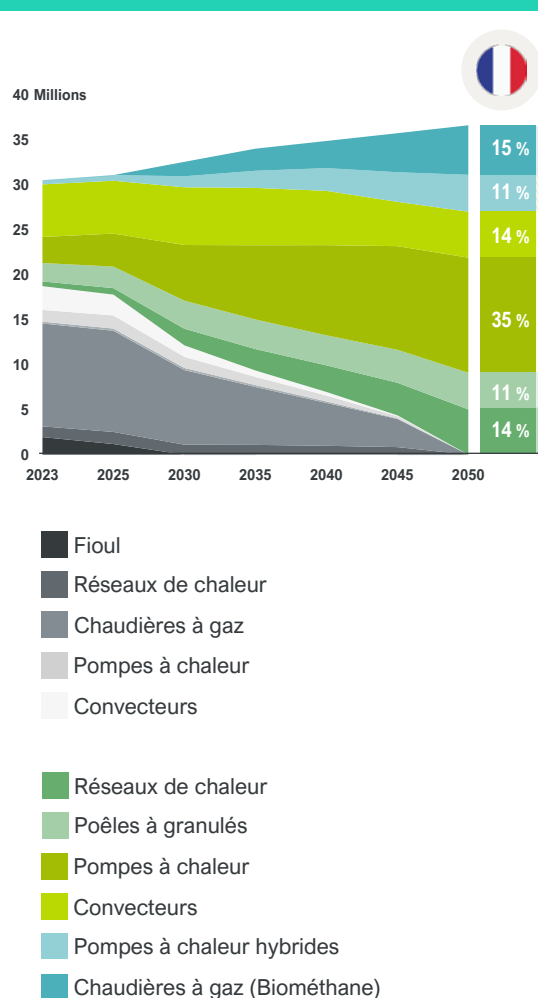
- les pompes à chaleur hybrides qui, grâce à leur couplage avec une chaudière gaz, peuvent éviter le recours à l'électricité lors des moments de tension sur le réseau électrique ;
- les chaudières à gaz fonctionnant au biométhane ;
- les inserts / chaudières à bois ;
- les réseaux de chaleur urbains qui doivent être doublés et qui permettent, dans les zones à forte densité d'habitation, une maîtrise des coûts du chauffage. Ils doivent aussi valoriser plus d'énergies renouvelables (géothermie, biométhane, bois-énergie, etc.).

## GAINS ÉCONOMIQUES GRÂCE AUX POMPES À CHALEUR HYBRIDES

Comme le prévoit notre scénario, l'impact de l'installation de pompes à chaleur hybrides d'ici à 2050 est très positif. Pour s'en rendre compte, il suffit d'imaginer l'inverse.

Si elles étaient remplacées par des pompes à chaleur et des convecteurs électriques (respectivement à 80 % et 20 %), alors le besoin de capacité de pointe durant l'hiver augmenterait de 12 GW et le surcoût serait de 2,7 milliards d'euros par an.

## RÉPARTITION DES MOYENS DE CHAUFFAGE DANS LES MÉNAGES FRANÇAIS, ENTRE 2023 ET 2050



# DEUX APPROCHES MULTI-ÉNERGIES

## INDUSTRIE : PLUSIEURS LEVIERS À MOBILISER

Sur la lancée des années passées, le secteur industriel européen peut continuer d'améliorer son efficacité énergétique et ainsi réduire sa consommation d'énergie de 27 % entre aujourd'hui et 2050. Comme dans les autres secteurs, l'électrification des procédés industriels est à la hausse : sur la même période, la part de l'électricité passe de 20 % à 40 %.

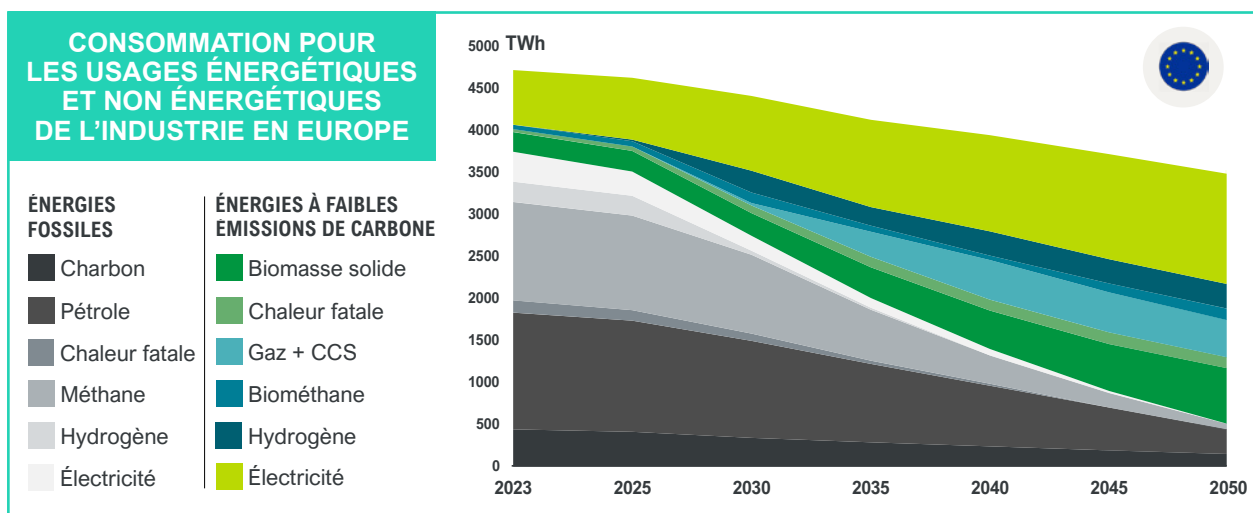
Malgré la baisse de consommation, l'industrie est confrontée à deux enjeux : trouver des solutions pour certains process ne pouvant pas passer efficacement à l'électricité ; et disposer de nouvelles molécules ou technologies en remplacement des ressources fossiles actuellement utilisées. Le scénario d'ENGIE envisage plusieurs leviers :

- le maintien de solutions au gaz pour les procédés industriels exigeant des hautes températures. Les gaz décarbonés (biométhane, hydrogène, gaz avec capture et stockage de carbone) deviennent prépondérants par rapport aux énergies fossiles ;
- la valorisation de biomasse dans des chaudières, ainsi que de la chaleur fatale ;
- l'utilisation de l'hydrogène pour la fabrication de nouvelles molécules (ammoniac, méthanol) ou pour la sidérurgie.

## DE NOUVELLES MOLÉCULES POUR LA MOBILITÉ LOURDE

L'électrification de la mobilité est pertinente pour les véhicules les plus légers. Mais dans le cas des mobilités lourdes (camions, bus, bateaux, avions), le volume des batteries pour avoir de l'autonomie est un frein. Des solutions alternatives existent. Les moteurs thermiques peuvent facilement être adaptés pour fonctionner avec d'autres molécules : bioGNV pour les camions ou bus ; biodiesel, ammoniac, bioGNL et méthanol de synthèse pour le transport maritime ; bio-kérosène, hydrogène décarboné ou kérosène de synthèse pour le transport aérien. Ainsi, les deux secteurs maritime et aérien peuvent réduire de 80 % leurs émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Dans notre scénario, près de 75 % de la demande en hydrogène en Europe émane des transports lourds routier, maritime et aérien.

Pour les productions industrielles dont les ressources en matières sous forme d'énergies fossiles (pétrole et charbon) ne seront pas substituables, les émissions de CO<sub>2</sub> associées devront être compensées.





# DEUX RISQUES MAJEURS À ÉVITER

Deux simulations de type “stress test” ont été réalisées afin d’analyser les conséquences des situations en écart par rapport à la situation “centrale” du scénario d’ENGIE. Elles permettent de faire apparaître encore plus clairement l’avantage de certaines solutions (énergies renouvelables et thermique décarboné).

## SIMULATION N° 1 EUROPE

Surcoût en cas de non-développement de l’éolien et du photovoltaïque

**Hypothèses** : il y a un retard de 5 ans dans le développement de l’éolien et du solaire photovoltaïque, et du réseau électrique associé.

**Conséquences** : dans ce cas, les objectifs européens “Fit for 55” ne sont pas atteints (+ 3 Gt CO<sub>2</sub>) et les coûts sont plus élevés (+ 4 Mds € par an jusqu’en 2050).

**Qu’en déduire ?** L’accélération des énergies renouvelables est incontournable et les politiques publiques doivent lever tous les freins à leur déploiement.

## SIMULATION N° 2 EUROPE

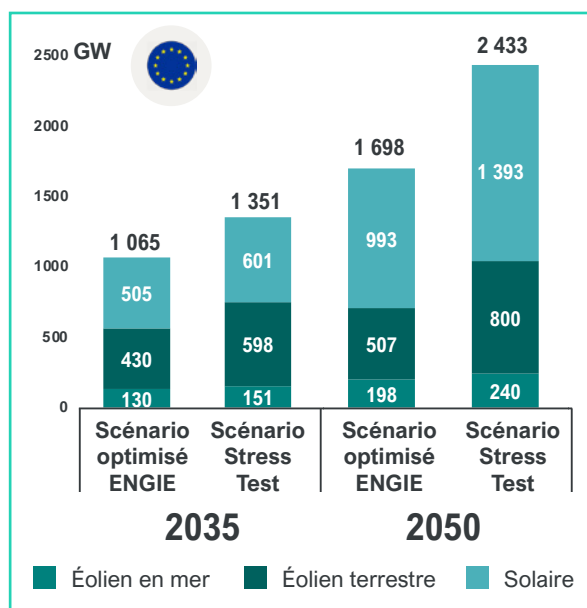
Surcoût en cas de non-recours au thermique décarboné

**Hypothèse** : les pouvoirs publics des différents pays européens n’autorisent pas le développement additionnel de 105 GW de centrales thermiques décarbonées (tel que le prévoit le scénario d’ENGIE).

**Conséquences** : dans ce cas, pour compenser le service qui n’est plus apporté par ces centrales lors des consommations de pointe d’électricité, il y a besoin de développer beaucoup plus d’énergies renouvelables (+ 700 GW en 2050 par rapport au scénario optimisé d’ENGIE) et de batteries (+ 200 GW).

**Qu’en déduire ?** Pour gérer la pointe de consommation d’électricité, le surdimensionnement des énergies renouvelables n’a pas de sens économique, même s’il conduit de fait à de moindres émissions de CO<sub>2</sub> (80 Mt). Le thermique décarboné assure à moindre coût la sécurité du système électrique et sa résilience.

## SIMULATION N° 2 DU NON-RECOURS AUX CENTRALES DÉCARBONÉES



# NOS RECOMMANDATIONS : LES VERROUS À LEVER

- **Pour les énergies renouvelables électriques et gazières** : stabiliser le **cadre d'investissement**, faciliter et accélérer le **raccordement** (réseaux électriques) et la délivrance des permis nécessaires aux projets ;
- **Pour faciliter le développement de la filière hydrogène, en agissant sur toute la chaîne de valeur** : finaliser le **cadre réglementaire européen** en prévoyant des clauses de revoyure rapide ; assurer la rapidité d'octroi de **financements publics adaptés** et le financement de la **reconversion des infrastructures gazières** ;
- **Pour développer les capacités flexibles** : mettre en place des **modèles de rémunération adaptés** (effacement, batteries, CCGT décarbonées, etc.), accélérer la délivrance des permis nécessaires aux projets ;
- **Pour maximiser le potentiel du biométhane en mobilisant tous les leviers** : garantir l'existence de mécanismes efficaces de **soutien à la production** en France et en Europe ;
- **Pour la décarbonation du bâtiment en soutenant l'ensemble des solutions** : développer fortement le raccordement à des **réseaux de chaleur vertueux**, dont la géothermie ; **prioriser l'usage du biométhane** pour le bâtiment et les **solutions hybrides** (PAC, PAC hybrides, relèves de chaudières...) ; simplifier l'accès **des aides pour le logement** avec un guichet unique regroupant les dispositifs actuels ;
- **Pour la décarbonation de l'industrie** : **accélérer l'utilisation de l'énergie fatale perdue** ; pérenniser le **financement** ; continuer à mobiliser de la **biomasse locale** comme énergie renouvelable.





The logo for ENGIE, featuring a white curved line above the word "ENGIE" in a bold, white, sans-serif font.