

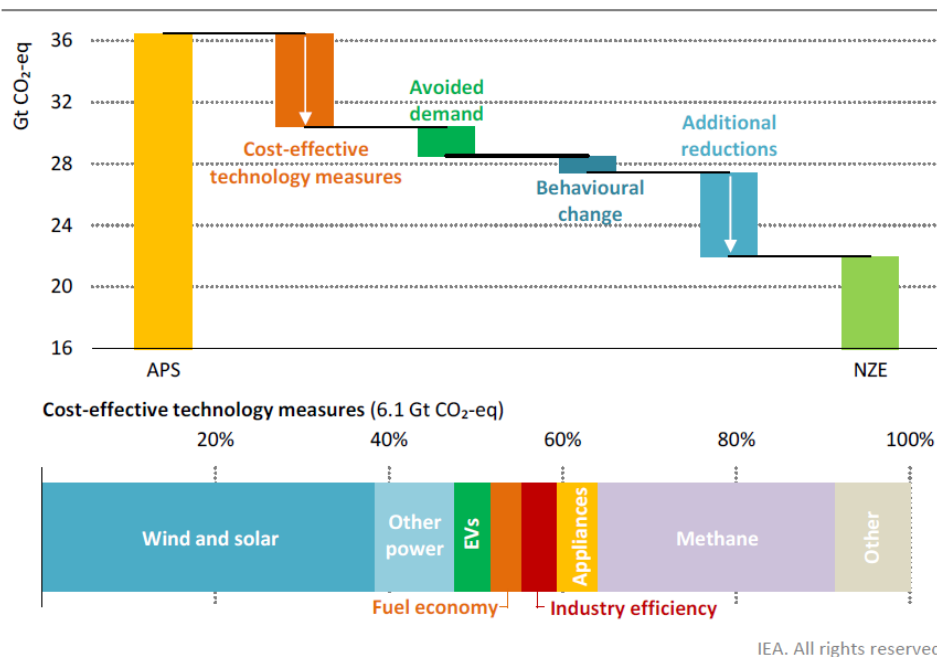
## Groupe de travail Stratégie nationale de recherche énergétique

### *Game changers, offre et demande, pour la transition énergétique d'ici 2050*

#### Note de cadrage des travaux 2022/2023

La neutralité carbone de la France et de l'UE d'ici 2050 est un objectif ambitieux au regard des tendances passées qui nécessite la mise en place d'instruments économiques pour orienter les comportements et les investissements. Cependant ces instruments ne peuvent pas prédire les nouvelles technologies qui deviendront matures à cet horizon de sorte qu'ils sont bâtis sur la base d'études d'impact, de type « sagesse conventionnelle », ne tenant pas compte des game changers plus ou moins inattendus qui interviendront notamment sur les technologies.

Le graphique suivant de l'AIE indique qu'au niveau mondial il existe un déficit d'ambition à l'horizon 2030 d'environ 14 Gt CO<sub>2</sub> d'émissions entre les promesses annoncées par les pays qui ont ratifié l'Accord de Paris et les émissions compatibles avec un scénario de type « neutralité carbone ».



#### **Répartition des mesures permettant de combler l'écart à l'horizon 2030 entre les scénarios NZE<sup>1</sup> et APS<sup>2</sup> de l'AIE (source : World Energy Outlook, page 107, AIE, octobre 2021).**

<sup>1</sup> The Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE). This is a normative IEA scenario that shows a narrow but achievable pathway for the global energy sector to achieve net zero CO<sub>2</sub> emissions by 2050, with advanced economies reaching net zero emissions in advance of others. This scenario also meets key energy-related United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), in particular by achieving universal energy access by 2030 and major improvements in air quality. The NZE does not rely on emissions reductions from outside the energy sector to achieve its goals, but assumes that non-energy emissions will be reduced in the same proportion as energy emissions. It is consistent with limiting the global temperature rise to 1.5 °C without a temperature overshoot (with a 50% probability).

<sup>2</sup> The Announced Pledges Scenario (APS) appears for the first time in this WEO. It takes account of all of the climate commitments made by governments around the world, including NDCs as well as longer term net zero targets, and assumes

40% de ce déficit peut être comblé par des mesures favorisant le développement de technologies « coût-efficaces » et 25% par des mesures d'efficacité et sobriété énergétique, y compris en efficacité d'usage des matériaux et en numérique.

L'AIE estime que l'écart résiduel pourrait être comblé par des progrès relevant des domaines tels que l'électrification, les combustibles à base d'hydrogène, le CCUS et les émissions négatives.

Afin d'éclairer dans quelle mesure ces attentes pourraient être satisfaites par des mesures à fort contenu technologique où la France pourrait disposer d'une compétence technologique et industrielle et qu'on pourrait qualifier de « game changers », le groupe de travail investiguera, sur la base d'une démarche de type SWOT, diverses ruptures potentielles **à l'horizon 2030-2040**, qu'on peut classer en deux catégories :

1. Les ruptures qui peuvent changer le paysage mondial :
  - celles qui se présentent comme des solutions annoncées avec un changement qui peut prendre deux visages : soit il se produit, mais dans quelles conditions ?, soit il n'arrive pas, alors qu'on comptait dessus ;
  - celles qu'on ne connaît pas aujourd'hui mais qui apporteront enfin une solution à un problème majeur qui n'en a pas actuellement.
2. Ce qui pourrait modifier la position française (européenne), positivement ou négativement :
  - en positif, grâce au développement de nos atouts ;
  - en négatif, grâce à la conquête possible par d'autres pays de nos approvisionnements ou de notre production, ce qui justifie d'émettre une alerte.

Une telle étude se justifie d'autant plus que des exercices apparentés ou comportant un volet lié à la transition énergétique (Technologies clés de la DGE, Energy Technology Perspectives de l'AIE, etc.) n'ont pas été publiés récemment. Il conviendra donc d'auditionner des experts sectoriels ainsi que des experts de la DGRI, de la DGE, de l'AIE, de l'Académie des technologies, de l'ADEME, de la Commission européenne (JRC, SET-Plan), d'ANCRE, etc., qui ont eu à connaître ou qui participent à des travaux de prospective technologique dans le domaine de l'énergie. Les SWOT à réaliser devront prendre en compte les enjeux nationaux, européens et internationaux et aboutir à des recommandations de priorités en matière de R&D.

\*  
\*   \*  
\*

## *Liste non exhaustive de technologies à investiguer :*

### **1. Hydrogène**

Des sommes considérables sont mises, notamment par les pouvoirs publics, sur le développement et l'expérimentation de solutions énergétiques à base d'hydrogène alors qu'elles ne seront peut-être pas

---

that they will be met in full and on time. The global trends in this scenario represent the cumulative extent of the world's ambition to tackle climate change as of mid-2021. The remaining difference in global emissions between the outcome in the APS and the normative goals in the NZE or the Sustainable Development Scenario shows the "ambition gap" that needs to be closed to achieve the goals agreed at Paris in 2015.

au rendez-vous. On peut quand même envisager des applications « sans regret » car elles seront incontournables pour certains usages ou dans certains pays :

- la motorisation des véhicules,
- le stockage d'énergie,
- le transport d'électricité par double conversion.

La France a des atouts (ses labos, L'Air Liquide, EDF, McPhy, etc.), l'Allemagne aussi, et ce peut être le thème d'une coopération européenne fructueuse.

## **2. CCUS et BECCS**

Le CCUS (captage et transport du CO<sub>2</sub>, suivis de son stockage ou de son utilisation) constitue une option technologique mature, retenue dans la plupart des scénarios visant à limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C. En le combinant avec la bioénergie (BECCS) ou en le mettant en œuvre directement dans l'air (DACCS), le captage du CO<sub>2</sub> peut aboutir à des émissions négatives compensant les émissions inévitables ou techniquement difficiles à réduire.

## **3. SMR**

L'attrait pour les SMR (petits réacteurs nucléaires modulaires) ne cesse de croître au niveau mondial, même si les marchés correspondants n'existent pas encore vraiment. Les attentes, qui restent à confirmer, sont nombreuses : sûreté, compétitivité (cibles affichées de 2 250 €/kW à 6 000 €/kW), réduction du besoin d'investissement initial et des risques financiers associés (chantier simplifié, produit standardisé en série, pièces forgées plus petites), adaptation aux réseaux de taille moyenne, polyvalence pour de multiples besoins industriels, etc.

## **4. Stockage d'électricité**

Dans une perspective de pénétration croissante des EnRi (énergies renouvelables intermittentes), le stockage de l'électricité fait l'objet de nombreux espoirs, avec une panoplie de technologies (batteries, STEP, air comprimé, volants d'inertie, hydrogène, chaleur, etc.) qui ont chacune des usages très spécifiques (mobilité, usage nomade, énergie stationnaire sur quelques secondes à quelques jours, intersaisonnier, faible ou forte puissance, etc.).

## **5. Biocarburants**

Les carburants issus de la biomasse et les carburants de synthèse bas-carbone peuvent être des solutions plus appropriées que l'électricité dans des usages de mobilité tels que les transports lourds (camions, bateaux,...) ou l'aviation. Or la biomasse disponible est limitée et fait l'objet de nombreux conflits d'usage (utilisation des sols pour l'alimentation, ou l'énergie ; concurrences entre les utilisations possibles de biocarburants).

## **6. Gestion de la demande, numérique et électrification des usages**

### **6.1. Consommation d'énergie des bâtiments**

Il s'agit de développer et de mettre en œuvre à grande échelle des techniques permettant d'industrialiser la rénovation énergétique des bâtiments ou de construire des bâtiments à énergie positive, dans des conditions économiques et pratiques acceptables.

### **6.2. Gestion de l'offre et pilotage d'un réseau décentralisé**

Les systèmes électriques comportant des parts importantes d'EnRi nécessitent de mettre en œuvre des solutions encore au stade de développement (logiciels, équipements) de « *grid forming* » et d'électronique de puissance afin d'assurer la sécurité d'approvisionnement et une qualité de courant acceptable. Cela inclut également les conditions d'injection et d'écrêtement des EnRi, la coexistence AC/DC et le maintien de positions industrielles françaises.

### **6.3. Mécanismes de prix et marché**

La crise des prix de l'électricité lors de l'hiver 2021/2022 a montré à quel point le système électrique européen, et français en particulier, étaient mal adaptés aux règles actuelles du marché de l'électricité. Le coût marginal de l'électricité n'est visiblement pas un bon signal pour orienter correctement les investissements de long terme, particulièrement vers des centrales pilotables ou des services de flexibilité.

### **6.4. Numérique, électrification des usages, objets intelligents**

Plusieurs secteurs industriels sont à considérer : le numérique lui-même (avec des atouts français à développer), l'industrie utilisatrice en général, la mobilité, le bâtiment, la santé,...

## **7. Agriculture et forêt**

Les émissions de CO<sub>2</sub> de l'agriculture peuvent être réduites grâce à de nouvelles pratiques et de nouvelles technologies mais l'agriculture et la forêt apportent aussi des solutions de réduction des émissions pour les autres secteurs, comme la production de biocarburants ou le stockage du CO<sub>2</sub>.