

Périmètre de l'utilité de l'hydrogène

Annexe

Comparaison, plus en détail, de deux hypothèses avec peu de nucléaire ou avec peu d'éolien et de photovoltaïque

A étudier : plus ou moins d'hydrogène ? Au-delà d'un seuil – lequel ? - l'hydrogène coûte et ne sert à rien.

La note « Périmètre de l'utilité de l'hydrogène » compare à grands traits six jeux d'hypothèses. Cette annexe compare avec plus de détails deux jeux d'hypothèses avec peu de nucléaire ou peu d'éolien et de photovoltaïque.

Dans la note « périmètre de l'utilité de l'hydrogène »

La capacité de biomasse est de 360 TWh.

Dans tous les cas, le service rendu par l'énergie et l'hydrogène est le même : pour l'industrie, à peu près la même quantité d'énergie qu'aujourd'hui et deux fois plus d'hydrogène "matière première" (70 TWh, produits sans CO₂) ; pour la chaleur, 26 % de moins qu'aujourd'hui ; pour la mobilité, une augmentation des distances parcourues sur route ou en aérien de 12 % (comme l'évolution de la population).

Les jeux d'hypothèses diffèrent entre eux de deux façons :

- la quantité d'hydrogène consommée par le transport est de 10 TWh ou 70 TWh ou 130 TWh par an ;
- la capacité nucléaire est limitée à 30 GW (la moitié de la capacité actuelle), ou bien la capacité éolienne et photovoltaïque est limitée à 55 GW (20 GW d'éolien sur terre, 10 GW en mer et 25 GW de photovoltaïque).

La consommation finale d'énergie, y compris l'énergie puisée dans l'environnement par les pompes à chaleur est de 1240 TWh (contre 1730 TWh aujourd'hui) à quoi s'ajoutent 70 TWh d'hydrogène « matière première ».

Voici les liens vers des tableaux qui donnent le détail des consommations d'énergie : [voir ici comment y accéder](#)

Avec 30 GW nucléaire : avec une consommation d'hydrogène pour le transport [de 10 TWh](#) ; ou [de 70 TWh](#) ; ou [de 130 TWh](#)

Avec 55 GW d'éolien et de PV : avec une consommation d'hydrogène pour le transport [de 10 TWh](#) ; ou [de 70 TWh](#) ; ou [de 130 TWh](#)

Commentaires sur le tableau qui présente 30 GW nucléaire et 70 TWh d'hydrogène dans le transport

La consommation d'hydrogène est de 70 TWh pour l'industrie et 70 TWh pour le transport, soit 140 TWh dont, ici, seulement 5 TWh à partir de biomasse. Pour produire 135 TWh d'hydrogène, il faut 190 TWh d'électricité.

Pour le transport, on suppose une légère consommation de biométhane (12 TWh). L'électricité permet de couvrir 60 % des distances parcourues. Il faut alors 60 TWh de biocarburant. Sans apport d'hydrogène le rapport entre la quantité de biocarburant et l'énergie de la biomasse consommée est de 0,4. Ici, pour produire 60 TWh de biocarburant, vu la consommation de biomasse pour produire de l'électricité, de la chaleur, du biogaz et de l'hydrogène, ce rapport doit être de 0,48. C'est possible avec un apport d'hydrogène, se traduisant par une consommation d'électricité de 12 TWh.

Le besoin de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude des bâtiments est de 450 TWh. Pour le chauffage, la biomasse peut souvent être remplacée par des pompes à chaleur individuelles, collectives ou sur un réseau de chaleur. On suppose donc que la consommation de biomasse solide pour le chauffage est seulement de 20 TWh, à quoi s'ajoutent 7 TWh provenant de cogénération, 11 TWh de biométhane et 10 TWh de biofioul pour un chauffage hybride qui permet d'arrêter les pompes à chaleur dans les périodes où le système électrique est en tension. 400 TWh seront fournis par 160 TWh d'électricité consommée par les pompes à chaleur. C'est beaucoup plus que l'hypothèse de la SNBC car celle-ci suppose que tous les bâtiments sont rendus aussi bien isolés que des logements neufs, hypothèse qui n'est pas retenue ici car elle entraînerait des dépenses beaucoup trop importantes.

Avec 30 GW de nucléaire, pour répondre à la demande finale d'électricité, ici 660 TWh, il y a 70 GW d'éolien sur terre, 92 GW en mer et 100 GW de photovoltaïque. En tout 262 GW. C'est beaucoup, mais c'est ce qu'il faut. Alors les possibilités excédentaires sont de 290 TWh. Pour équilibrer à tout moment la fourniture d'électricité et la demande, les capacités de batteries et de Steps ne suffisent évidemment pas. Il faut une production à partir de gaz. La production d'électricité à partir de gaz de synthèse lui-même produit à partir d'hydrogène d'électrolyse

est un procédé dont le rendement est inférieur à 30 %. C'est pourquoi ces simulations supposent que le gaz dont a besoin le système est du biométhane. Ici il faut 20 TWh d'électricité, avec 40 TWh de biométhane.

Des pompes à chaleur de 3 GW consomment 19 TWh de possibilités de production d'électricité excédentaires et procurent aux réseaux de chaleur, après les pertes thermiques, 50 TWh. Outre cette capacité de 3 GW, une capacité d'électrolyse de 52 GW consomme 220 TWh. Le facteur de charge est de 4000 heures. Quelques GW d'électrolyse de plus auraient un facteur de charge inférieur à 2200 h. On ajoute des résistances électriques pouvant recevoir 5 GW ; elles consomment 11 TWh ; leur facteur de charge n'est que de 2000 heures ; ce serait insuffisant pour des électrolyseurs ou des pompes à chaleur mais c'est suffisant pour des résistances électriques. Les excédents de production d'électricité apportent donc 60 TWh de chaleur, soit près de 15 % des besoins de chaleur des bâtiments.

Les possibilités de production d'électricité abandonnées sont de 38 TWh., soit 4 % du total des possibilités.

La capacité de production à partir de gaz est supérieure à 90 GW pour passer les périodes sans vent ni soleil.

En supposant que le coût LCOE du nucléaire est de 60 €/MWh, celui de l'éolien sur terre de 57 €/MWh, en mer de 80 €/MWh, celui du photovoltaïque de 56 €/MWh (moyenne sur sol et sur toiture), que l'électrolyseur et les équipements annexes coûtent 900 €/kW, les dépenses de production d'électricité et d'hydrogène sont de 68,9 milliards d'euros par an.

Commentaires sur le tableau qui présente 55 GW d'éolien et de photovoltaïque et 70 TWh d'hydrogène dans le transport

Ici il y a 20 GW d'éoliennes sur terre, 10 GW en mer et 25 GW de photovoltaïque.

Comme plus haut, les excédents de production d'électricité donnent 20 TWh à des pompes à chaleur et 10 TWh à des résistances électriques pour fournir 60 TWh de chaleur à des réseaux de chaleur.

L'énergie consommée pour l'industrie et pour le transport est la même que plus haut. Pour produire du biocarburant, on dispose d'un peu plus de biomasse (car il en faut moins pour produire de l'électricité, comme dit *infra*). Il n'est donc pas nécessaire d'apporter de l'hydrogène.

Avec peu d'éolien et de photovoltaïque, les possibilités excédentaires de production sont **très inférieures** à celles que l'on voit avec peu de nucléaire. Elles sont très insuffisantes pour fournir l'hydrogène dont on a besoin pour l'industrie et le transport. Il faut donc une capacité nucléaire supérieure à ce qu'elle serait sans cette demande d'hydrogène. Pour délivrer 234 TWh (avant les pertes en ligne) servant à la production d'hydrogène et de chaleur, la simulation montre une solution possible : une capacité nucléaire de 107 GW, une production à partir de biomasse de 10 TWh ; au total, avec éolien et photovoltaïque et hydraulique, une possibilité de production de 986 TWh. Pour la consommation finale, 660 TWh ; pour les électrolyseurs 150 TWh pris sur le réseau par 18 GW et 55 TWh pris sur les excédents par 13 GW d'électrolyse., soit 31 GW d'électrolyse en tout.

La capacité de production à partir de gaz est de 45 GW.

Avec les mêmes hypothèses que plus haut, les dépenses sont de 60,6 milliards d'euros par an.

Comparaison entre les deux jeux d'hypothèses

Le service rendu à l'industrie, à la mobilité, au secteur industriel et tertiaire et à l'agriculture est le même avec 30 GW ou avec 107 GW nucléaire.

Les dépenses, les consommations de matière et d'espace ne sont certes pas les mêmes.

| | | |
|---|-------------|-----------|
| Capacité nucléaire | 30 GW | 107 GW |
| Dépenses, en plus, en millions d'euros par an | 8 300 M€/an | 0 |
| Total des capacités nucléaire, éolienne, photovoltaïque, gaz, électrolyse | 209 GW | 107 GW |
| Nombre d'éoliennes | 83 000 | 59 000 |
| Surface occupée par le photovoltaïque | 280 000 ha | 71 000 ha |

A venir : une comparaison avec plus ou moins d'hydrogène : au-dessus d'un certain seuil, pour le même service rendu, avec plus d'hydrogène les dépenses de production d'électricité et d'hydrogène augmentent. Il faut en plus tenir compte des dépenses de consommation (les piles à combustible, les batteries, les pompes à chaleur, la double motorisation des VHR) et de distribution (les recharges rapides, la distribution d'hydrogène, etc.).