

EVALUATION

PRIORISATION DES BESOINS DE L'HYDROGENE DANS L'INDUSTRIE

Hydrogène renouvelable en 2050 :
la place prioritaire des secteurs
industriels de l'acier primaire,
de l'ammoniac et des oléfines

SYNTHESE

**Fév.
2023**



EXPERTISES

REMERCIEMENTS

Ont participé à la relecture de ce rapport :

Loïc ANTOINE (ADEME), Luc BODINEAU (ADEME), Stéphane CHATELIN (Association négaWatt), Antoine DESWAZIERE (ADEME), Romain DEWEZ (ADEME), Charline DUFOURNET (Association négaWatt), Michelle HOUNGBE (ADEME), Elliot MARI (ADEME), Eva RENAUD (Association négaWatt).

Sont aussi remerciées les entités qui ont pu participer à un échange avec l'Association négaWatt et l'ADEME avant la finalisation de ce rapport : Arcelor Mittal, ATEE (Club Pyrogazéification et Club Power-to-gas), Borealis, EDF, Fives Stein, France Chimie, France Hydrogène, RTE, Vicat, Yara.

CITATION DE CE RAPPORT

Association négaWatt, 2023. Priorisation des besoins de l'hydrogène dans l'industrie, Synthèse, 13 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://bibliothèque.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2297D0063

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Association négaWatt

Coordination technique - ADEME : DEWEZ Romain, ingénieur Hydrogène, Service Industrie

Étude réalisée par Simon MÉTIVIER (Solagro) et Stéphane SIGNORET (Association négaWatt) pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Coordination technique - ADEME : Romain DEWEZ, ingénieur Hydrogène
Service : Industrie

Priorisation des besoins de l'hydrogène dans l'industrie

Tous les pays, en particulier les plus développés, sont confrontés à un défi inédit : décarboner entièrement l'économie en moins de 30 ans, afin que le réchauffement planétaire moyen ne dépasse pas 1,5°C par rapport à la moyenne de 1850-1900, période durant laquelle les forces de l'industrie ont commencé à se découpler. Les émissions mondiales directes et indirectes de gaz à effet de serre du secteur industriel sont estimées à 20 GtCO₂eq en 2019, soit 34 % des émissions totales. Mis à part l'épisode de ralentissement économique dû à la crise sanitaire du Covid-19, ces émissions n'ont fait qu'augmenter depuis 2000, et plus vite que tout autre secteur d'activité. Il y a urgence à les réduire.

En France, les émissions de gaz à effet de serre de l'industrie s'élèvent à un peu plus de 75 MtCO₂eq dont 75 % sont la responsabilité de trois activités : la métallurgie, la chimie et la fabrication de minéraux non-métalliques (ciment, chaux, verre, etc.). La consommation d'énergie dans l'industrie (de l'ordre de 310 TWh), encore à moitié d'origine fossile, est responsable de ces émissions, auxquelles s'ajoutent celles des usages non énergétiques des énergies fossiles (environ 180 TWh), dues principalement :

- au charbon pour la production d'acier primaire (10 TWh) ;
- au gaz d'origine fossile pour la production d'hydrogène et d'ammoniac (33 TWh) ;
- au pétrole (coproduits du raffinage) pour la filière pétrochimique (140 TWh) qui fabrique des molécules de base de la chimie organique (oléfines principalement).

Sur la base de son scénario de transition énergétique, l'Association négaWatt a analysé la façon dont le vecteur hydrogène peut répondre au fort enjeu de décarbonation de l'industrie, en se focalisant sur trois secteurs très structurants : la production d'ammoniac (NH₃), la production d'acier primaire de la sidérurgie intégrée (hauts-fourneaux), et la production d'oléfines (éthylène, propylène, benzène, toluène, xylène) pour la chimie. L'objectif est de répondre à deux enjeux :

- comprendre le rôle que l'hydrogène renouvelable peut jouer dans la transition énergétique d'ici 2050, en l'intégrant au sein d'un ensemble de plusieurs vecteurs d'énergie et de matière, et de plusieurs usages ;
- identifier les mesures à prendre pour que le développement de l'hydrogène renouvelable se fasse à un rythme cohérent avec ce qu'il représentera en 2050, en particulier dans les trois secteurs industriels étudiés qui peuvent – et doivent – décarboner la majorité de leur production d'ici 2040.

Place de l'hydrogène dans la transition

Le scénario négaWatt¹ offre une vision systémique de la transition et donc du poids relatif des différents vecteurs et de leur vitesse de déploiement pour atteindre la neutralité carbone. Il repose avant tout sur des mesures de sobriété et d'efficacité se traduisant par la baisse régulière de la consommation d'énergie jusqu'en 2050. En énergie finale, du fait d'un important potentiel de sobriété et d'efficacité dans les transports, cette réduction est plus forte dans ce secteur (-70 %) que dans celui du bâtiment (-50 %) ou de l'industrie (-41 %). Pour satisfaire la demande d'énergie finale globalement divisée par deux, le scénario fait monter en puissance les énergies renouvelables thermiques et électriques pour progressivement voir disparaître les énergies fossiles et fissiles. Avec une meilleure utilisation des sols et des changements de pratique agricole, les émissions territoriales françaises de l'ensemble des gaz à effet de serre sont divisées par près de 9 d'ici à 2050, passant de 450 à 50 MtCO₂eq. Les puits de carbone naturels sont plus importants que ces émissions, ce qui permet à la France d'atteindre la neutralité carbone avant 2050 sans recourir à des technologies de captage et stockage de CO₂.

L'hydrogène devient entièrement renouvelable – via l'électrolyse de l'eau – puisque l'électricité évolue vers le 100% EnR ; et il tient une place modérée en 2050 par rapport aux deux géants que sont l'électricité et le gaz renouvelables. Il joue néanmoins un rôle crucial pour :

- soutenir le réseau électrique en modulant la production des électrolyseurs, selon les besoins d'équilibrage, en particulier lorsque les productions éoliennes et photovoltaïques dépassent les pointes de consommation ;
- permettre des usages directs dans l'industrie soit en tant que ressource pour la production d'acier (4,5 TWh PCS) soit en tant que matière première dans la chimie (47 TWh PCS) ;
- alimenter le réseau de gaz soit après méthanation (26 TWh PCS) pour injecter du méthane de synthèse (*power-to-gas*), soit en injection directe de la molécule d'hydrogène (4 TWh PCS) ;
- servir de carburant dans une petite partie du transport (10 TWh PCS) ;

¹ Synthèse, webinaires et rapport détaillé du scénario sont disponibles sur <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022>

La figure 1 montre ces différentes répartitions et l'intrication avec les sources nécessaires en méthane renouvelable. La production d'hydrogène nécessite une capacité de 33 GW d'électrolyseurs en 2050 pour 115 TWh d'électricité utilisée. A titre de comparaison, les moyens de stockage prévus dans le scénario négaWatt sont de bien moindre ampleur, avec des batteries à hauteur de 2 GW / 4 TWh, et des stations de transfert d'énergie par pompage (Step) à un niveau légèrement supérieur à aujourd'hui (6,2 GW / 13 TWh).

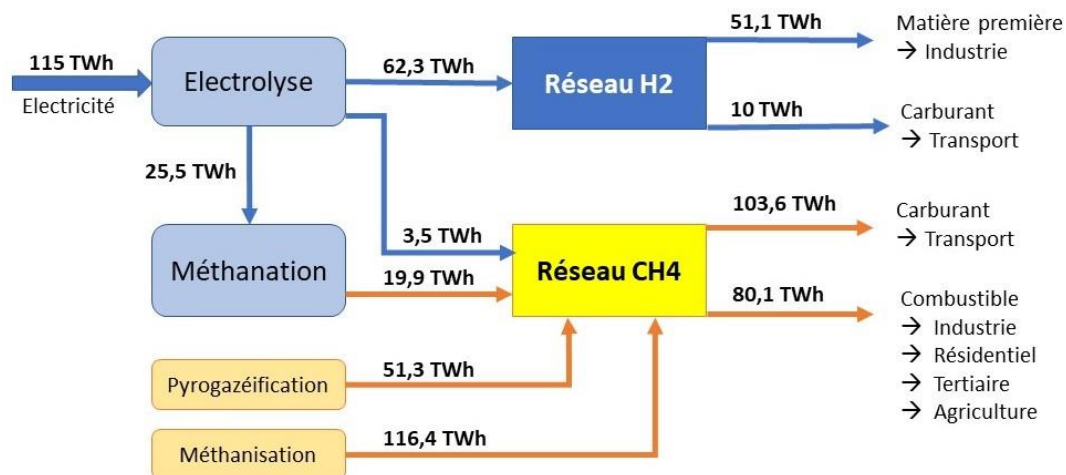


Figure 1. Diagramme de Sankey pour les réseaux H2 et CH4 en 2050 (en TWh PCS) dans le scénario négaWatt

N.B : Le schéma n'indique pas les pertes qui sont de 23,7 TWh pour l'électrolyse, de 5,6 TWh pour la méthanation, de 1,2 TWh sur le réseau H2 et de 3,8 TWh sur le réseau CH4, ainsi que de 1,4 TWh pour la méthanisation et 28,6 TWh pour la pyrogazéification.

Dans le scénario négaWatt, il est nécessaire de disposer d'une capacité d'électrolyse de 4000 MW en 2030, de 26 000 MW en 2040 et de 33 000 MW en 2050. Du point de vue des quantités, 494 kt d'hydrogène renouvelable sont à produire en 2030, puis 1533 kt en 2040 et 2323 kt en 2050 (voir la répartition par usages dans la figure 2). Ces volumes sont cohérents avec ceux des travaux prospectifs de l'ADEME et de RTE. Atteindre ces niveaux est un défi car il faut dépasser les quantités d'hydrogène actuellement fabriquées avec des énergies fossiles (de l'ordre de 920 kt en France) mais également car de nouveaux moyens de production sont à mettre en œuvre. Or, selon France Hydrogène², le pays dispose d'une capacité d'électrolyse de 13 MW fin 2022 ; et le dernier bilan de l'Ademe³ fait état de 8,4 kt d'hydrogène décarbonés produits en 2022, dont seulement 1 % dans l'industrie. Même si les projections de France Hydrogène laissent entendre que l'objectif national de 6500 MW sera atteint voire dépassé en 2030, la marche à franchir pour la filière hydrogène renouvelable est très haute.

² Voir le rapport publié sur <https://www.france-hydrogene.org/publication/trajectoire-pour-une-grande-ambition-hydrogene-a-2030-industriels-et-territoires-concretisent-les-ambitions/>

³ Les premiers écosystèmes hydrogène, ADEME, 2023, disponible sur <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/6057-les-premiers-ecosystemes-hydrogene-9791029720895.html>

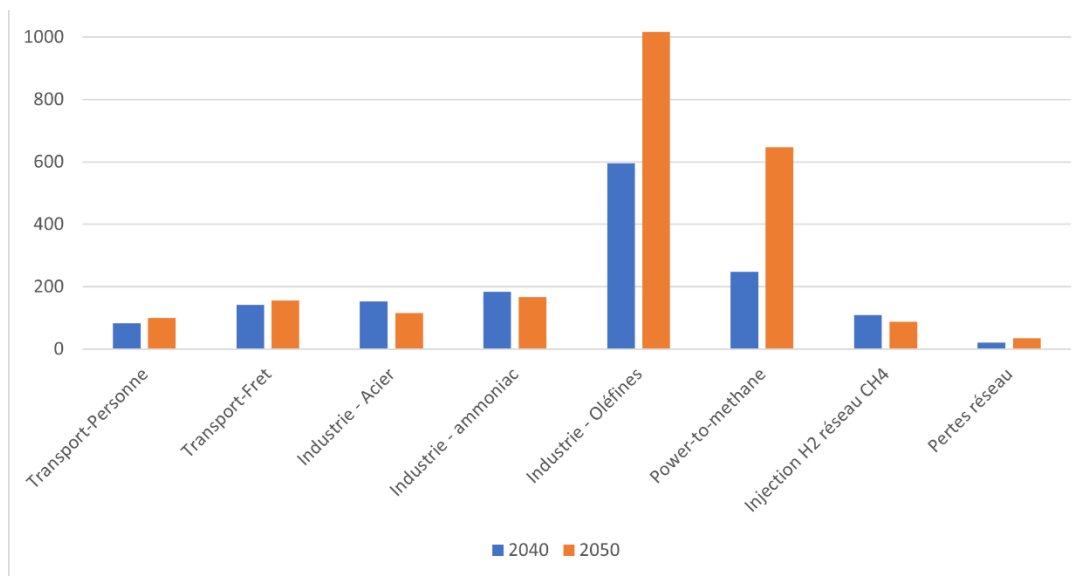


Figure 2 – Demande en hydrogène renouvelable dans le scénario négaWatt, répartie par usages (en kt)

Rééquilibrer les soutiens vers l'industrie

L'enjeu du développement de l'hydrogène est technique, mais il est aussi politique. Des soutiens financiers publics massifs ont été mis en place depuis 2020 pour le développement de l'hydrogène décarboné et de ses usages, tant au niveau français qu'europpéen. Ils visent à aider la création et le renforcement de tous les maillons de la chaîne de l'hydrogène, par de l'innovation et des démonstrateurs, depuis les technologies d'électrolyse jusqu'aux réseaux de distribution/transport, en passant par les piles à combustible, les systèmes de stockage, les véhicules à hydrogène, les hubs portuaires, les stations d'avitaillement, les dispositifs de méthanation, etc. Il apparaît logique, à première vue, que les politiques publiques veuillent renforcer la filière hydrogène dans un maximum de domaines. L'objectif de cette approche est de consolider rapidement la filière de toutes parts, en vue de :

- faire baisser ses coûts et trouver ainsi des débouchés commerciaux sans subventions dès que possible ;
- placer l'écosystème industriel européen de l'hydrogène en situation de force concurrentielle par rapport aux autres grands pôles géostratégiques mondiaux (Asie et Amérique du Nord) ;
- orienter très vite certains usages sur le chemin de la décarbonation.

Mais, comme l'ont déjà fait remarquer d'autres travaux⁴, certains usages n'ayant pas d'autres alternatives comme l'industrie et la mobilité lourde (transports maritimes et aériens en particulier), ils doivent être privilégiés dans la planification, en France comme dans l'Union européenne. L'étude réalisée par l'Association négaWatt confirme que, pour arriver au fort développement escompté de l'hydrogène, une impulsion doit être particulièrement donnée aux projets industriels. En effet, vu les volumes importants d'hydrogène renouvelable et bas-carbone dont l'industrie va avoir besoin pour faire sa transition, et vu qu'elle dispose déjà d'une ingénierie capable de mettre en œuvre les nouvelles solutions propres à abattre d'importantes émissions de CO₂, il est crucial que l'effort de soutien public se renforce sur les secteurs industriels les plus concernés. A l'heure actuelle, les futurs projets dans l'industrie sont en cours de négociation d'un soutien public et donc, de fait, n'apparaissent pas encore dans les chiffres officiels. S'ils se concrétisent, leurs montants seront bien plus importants que ceux dédiés à la mobilité hydrogène. Il y a donc besoin de consolider le redimensionnement à la hausse des montants d'investissement des systèmes d'aides public afin de donner un coup d'accélérateur aux projets industriels, en particulier dans les trois filières étudiées : l'ammoniac, l'acier primaire et les oléfines dans la chimie.

Néanmoins, notons que le vecteur hydrogène dans le transport n'est pas négligé dans le scénario négaWatt : il se développe dans une vision cohérente où l'équipement des véhicules lourds prime sur ceux de la mobilité individuelle, et où d'autres solutions technologiques sont préférées pour leur vitesse de déploiement plus grande (véhicules électriques, véhicules hybrides électricité-bioGNV, transport lourd en bio-GNV). On remarque également que le *power-to-methane* prend une place importante dans le système énergétique français dès 2040, en soutien au développement des énergies renouvelables électriques. Il permet en effet de transformer la production excédentaire d'électricité en méthane de synthèse stockable dans les réseaux et sites de stockage de gaz naturel. Toute progression de la solution hydrogène dans le secteur de l'industrie

⁴ Notamment celui de Carbone 4 en 2022 : <https://www.carbone4.com/publication-hydrogene-bas-carbone>

et des transports à court terme, spécialement pour diminuer les coûts de l'électrolyse, sera un tremplin assurant que le *power-to-methane* sera au rendez-vous à moyen terme.

Principales recommandations

Plusieurs recommandations sont listées dans le rapport complet de cette étude (voir annexe). Certaines concernent spécifiquement les activités industrielles de la production d'ammoniac, la production d'acier primaire et la production d'oléfines pour la chimie :

- reconfigurer les aides publiques actuelles à l'hydrogène pour accélérer les projets de ces trois secteurs ;
- soutenir spécifiquement le secteur de l'acier (pousser le développement du DRI, faciliter l'achat d'acier décarboné, déployer un plus grand recyclage des ferrailles) ;
- identifier l'accès à des sources de CO₂ qui seront utiles au secteur de la chimie et à la méthanation.

D'autres recommandations ciblent un appui au système global de production d'hydrogène renouvelable :

- établir des objectifs nationaux de développement de l'hydrogène en phase avec les besoins de l'industrie et du transport lourd, afin de viser une possible autonomie de production ;
- sécuriser la fourniture d'électricité d'origine renouvelable (en quantité et en niveau de prix), par exemple via les contrats de gré à gré (power purchase agreement – PPA) ;
- intégrer à terme la flexibilité des électrolyseurs dans les outils de régulation de l'équilibre offre/demande sur le réseau électrique.

Plus globalement, la décarbonation de l'économie et particulièrement de l'industrie ne peut se faire sans repenser la façon dont les produits sont conçus, dimensionnés, vendus, utilisés, réutilisés, collectés en fin de vie, et recyclés ; ni sans baisser les incitations à la surconsommation. Quelques recommandations supplémentaires visent ainsi à ce que les politiques publiques françaises et européennes soient favorables à des modes de consommations plus sobres et plus efficaces :

- développer plus fortement l'éco-conception et le recyclage, et imposer des critères d'éco-conditionnalité aux entreprises bénéficiant de soutiens publics ;
- donner priorité au développement de l'éolien et du photovoltaïque pour disposer de la puissance additionnelle d'électricité renouvelable nécessaire à l'électrolyse de l'eau ;
- informer les consommateurs par la mise en place un affichage environnemental obligatoire sur les biens de consommation.

Spécificités des trois filières industrielles étudiées

Chacune à leur manière, les filières de l'ammoniac, de l'acier primaire et des oléfines pour la chimie ont intérêt à utiliser dès que possible de l'hydrogène renouvelable pour décarboner leurs activités. La première car l'hydrogène est un composant majeur et essentiel de son process de fabrication : comme il faut 180 kg d'hydrogène pour faire une tonne d'ammoniac, ce sont un peu moins de 200 kt d'H₂ qui doivent être décarbonés pour maintenir la production actuelle. L'enjeu principal est, comme pour les autres secteurs, d'avoir accès à un hydrogène renouvelable compétitif économiquement avec celui aujourd'hui produit par vaporeformage du gaz d'origine fossile. Mais également – comme ce vaporeformage est actuellement intégré dans les process de production d'ammoniac – de s'assurer que sa future suppression peut se faire sans préjudice pour l'exploitation des installations industrielles.

Le secteur de la sidérurgie intégré, dont les hauts-fourneaux sont grands émetteurs de CO₂, peut décarboner sa production d'acier primaire grâce à la technologie DRI (*direct reduced iron*) : déjà utilisée avec du méthane, elle est au stade expérimental avec de l'hydrogène. Les industriels ont l'intention d'avancer rapidement sur cette solution. Mais pour arriver au remplacement des hauts-fourneaux avant 2040, comme le scénario négaWatt l'imagine, il est nécessaire de rendre le DRI hydrogène compétitif, tout en réglant quelques contraintes déjà identifiées : accès à un minerai à haute teneur en fer, post-traitement du produit issu de la réduction du fer par l'hydrogène pour arriver aux qualités d'acier attendues.

En ce qui concerne la chimie, le remplacement de produits (notamment plastiques) issus de sources fossiles peut se faire en développant le *power-to-olefins*. L'hydrogène renouvelable, comme pour l'ammoniac et l'acier, est utilisé ici en tant que matière première (en le combinant avec du CO₂) pour synthétiser du méthanol. Ce méthanol de synthèse est une première brique permettant de produire ensuite de l'éthylène, du propylène, etc. Des projets commencent à émerger, faisant de cette solution technologique un des piliers de la "chimie verte".

Trois aspects complémentaires sont à considérer dans l'analyse des trois secteurs industriels ce cahier d'acteur :

- les solutions envisagées dans le scénario négaWatt pour décarboner l'industrie ne font pas appel au captage et au stockage du CO₂. Non pas tant qu'il ne faille pas étudier cette option car elle sera peut-être nécessaire en 2050 si

les puits naturels de carbone venaient à manquer. Mais pour l'instant, les mesures de sobriété, d'efficacité et d'utilisation des sources renouvelables semblent préférables pour stopper l'utilisation des énergies fossiles ;

- les ressources en eau ne sont pas un frein au développement de l'électrolyse. L'examen, au cas par cas, de l'approvisionnement en eau selon les contraintes territoriales sera nécessaire. Mais au niveau national, les volumes nécessaires (20 millions de m³ en 2050) représentent moins de 1 % de la consommation actuelle d'eau par l'industrie ;
- la ressource en CO₂ doit être considérée comme un nouveau point d'attention. L'arrêt du vaporeformage du méthane va supprimer une source de CO₂ à usage industriel ; et inversement le développement du *power-to-olefins* va engendrer un besoin de ce type de CO₂. L'accès à de nouvelles ressources de CO₂ biogénique (fermentation, méthanisation, pyrogazéification) doit être étudié.

Points d'amélioration / discussion

La vision complète apportée par le scénario négaWatt est chiffrée grâce à la modélisation réalisée avec négaMat⁵ : les principaux flux de matières premières et de matériaux sont pris en compte, tant pour leur production, leur importation, leur exportation et leur recyclage. Dans les trois filières considérées ici, des hypothèses de sobriété conduisent à modifier plus ou moins substantiellement les consommations. On voit ainsi une stabilisation de la consommation d'ammoniac : la consommation d'engrais azotés, principal débouché de l'ammoniac, est certes divisée par deux en France, mais cela permet de moins importer d'engrais d'origine fossile et de maintenir l'entière production d'ammoniac sur le territoire national. Il y a une faible baisse de la consommation d'acier, ce matériau étant utile à plusieurs filières de la transition (énergies renouvelables, transport ferroviaire) alors même que son usage diminue dans le bâtiment. La baisse de consommation des oléfines est, elle, conséquente (-30%) par une diminution importante de l'usage des plastiques. Les figures suivantes montrent comment l'équilibre exportation-consommation / importation-production évolue entre 2020 et 2050 pour chaque filière.

Les résultats de négaMat, qui se basaient sur des données de référence de 2014, sont en cours d'actualisation, ce qui permettra d'affiner ces évaluations, le cas échéant.

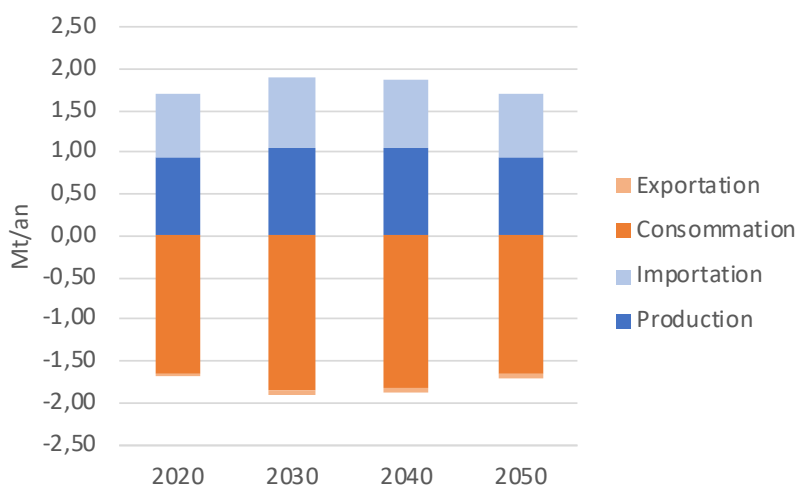


Figure 3. Bilan de production, consommation, import, export d'ammoniac en France entre 2020 et 2050 dans le scénario négaWatt (en Mt/an)

⁵ Une partie de négaMat est présentée dans ce webinaire de mai 2022 : <https://www.negawatt.org/Replay-Transition-energetique-quel-impact-sur-les-ressources-en-matériaux>

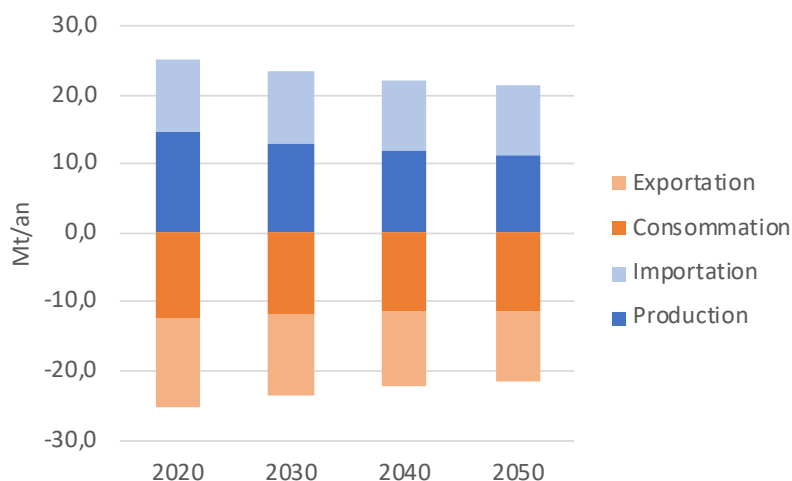


Figure 4. Acier - Bilan de production, consommation, import, export de l'acier en France entre 2020 et 2050 dans le scénario négaWatt (en Mt/an)

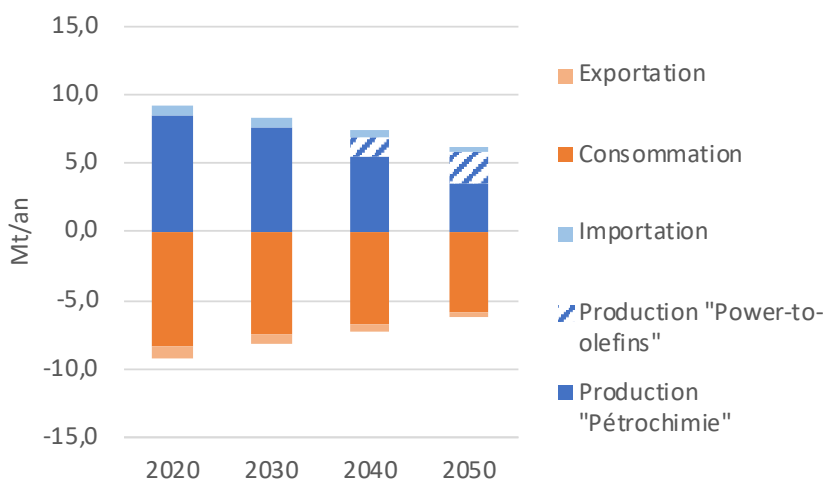


Figure 5. Bilan Production, consommation, import, export d'oléfines en France entre 2020 et 2050 dans le scénario négaWatt (en Mt/an)

Certains aspects de l'analyse faite dans ce rapport méritent néanmoins d'être discutés ou approfondies lors de prochaines études.

Par exemple, ce cahier d'acteur a estimé les investissements nécessaires pour que l'hydrogène renouvelable prenne pleinement sa place dans les trois secteurs industriels étudiés d'ici 2050 : ils sont de l'ordre de 4 milliards d'euros pour l'ammoniac, 2,7 milliards d'euros pour l'acier primaire et 5,7 milliards d'euros pour la seule brique "méthanol" du *power-to-olefins*. Vu l'enjeu crucial de maintenir la production de ces produits sur le territoire national, ce niveau d'investissement oblige à combiner les politiques industrielles privées de long terme avec un soutien public pérenne de ces filières ; soutien qui doit néanmoins être exigeant envers les acteurs privés au regard du bon usage des fonds publics, de l'efficacité des technologies utilisées, du respect absolu des enjeux environnementaux, et de la mise en œuvre concrète de choix de sobriété (pour eux, pour leurs prestataires et leurs clients). Tous ces points pourraient être analysés plus précisément.

Les niveaux d'investissement estimés sont très dépendants de ceux de l'électrolyse. Ainsi, sur les 2,7 milliards d'euros considérés pour la sidérurgie, l'électrolyse représente 1,5 milliard d'euros. Le périmètre d'analyse de ce cahier d'acteur n'a pas permis de détailler cet aspect. Là aussi, il conviendrait d'étudier plus finement l'évolution des coûts de l'électrolyse en fonction des technologies existantes, des économies d'échelle que va générer la réalisation des premiers projets d'envergure, de l'amélioration de l'efficacité énergétique des électrolyseurs (potentiel de chaleur fatale à récupérer), etc.

Autre aspect faisant débat, celui des importations. Les dynamiques européennes et mondiales sur l'hydrogène bas-carbone font que d'autres pays vont se positionner comme producteurs et exportateurs d'hydrogène (en particulier renouvelable pour les pays bénéficiant d'un potentiel solaire très élevé, et à bas coût). Inversement, si la France n'arrive pas à mettre en

place assez vite un écosystème industriel national, elle risque de se retrouver en situation d'importer de l'hydrogène renouvelable (ou seulement bas-carbone), créant ainsi une nouvelle dépendance. La taille critique de cet écosystème, les différences de coûts de l'hydrogène importé par rapport à une production domestique, les exigences sur le caractère renouvelable du produit importé, etc. seront autant de paramètres à analyser.

On peut également ajouter que, intégrés dans le système électrique, les électrolyseurs ont un fonctionnement flexible dans le scénario négaWatt et fonctionnent en moyenne 3400 h/an en 2050 en équivalent pleine puissance. Ceci suppose que les procédés industriels en aval soient flexibles en termes de production (de fer, d'ammoniac, d'engrais, de méthanol, etc.) ou que l'on dispose de stockage d'hydrogène. Cette flexibilité aval rendrait possible le report des capacités de stockage sur l'ammoniac et le méthanol, vecteurs énergétiques plus denses que l'hydrogène. Dans l'hypothèse où il serait trop difficile ou trop coûteux de flexibiliser ces procédés, il serait nécessaire de disposer de stockages d'hydrogène correspondant à 6 TWh en 2050. Les industriels restent bien sûr sensibles à cette notion de flexibilité car certains process nécessitent une part de fonctionnement en base très importante (comme pour les sites sidérurgiques intégrés par exemple) : cette dimension doit donc être prise en compte dans la planification de l'écosystème hydrogène.

Enfin, la dynamique industrielle élaborée dans le scénario négaWatt repose sur un équilibre entre baisse de consommation, maintien (voire relocalisation) de la production industrielle, hausse des niveaux de collecte, recyclage et réutilisation des matériaux, et ajustement des niveaux d'exports et d'imports. La sobriété et l'évolution de certaines pratiques (agricoles notamment) jouent un rôle prépondérant pour que le niveau de la demande s'abaisse à un niveau où il est possible de le satisfaire avec des ressources renouvelables, en substitution des ressources fossiles. Si l'hydrogène veut tenir ses promesses, en tant que nouveau vecteur produit par électrolyse de l'eau avec de l'électricité d'origine renouvelable, il doit être pensé sur toute sa chaîne de valeur et dans ce cadre d'une société sobre.

ANNEXES : recommandations et points d'attention

Recommandation n°1 – Le soutien public à la filière hydrogène renouvelable doit consolider une approche nationale d'autonomie de production à l'horizon 2035-2040. Sans fermer totalement la porte à l'importation, il doit être dimensionné pour que les acteurs français et européens de l'hydrogène renouvelable aient une bonne visibilité sur les besoins de production et de consommation envisagés pour 2040-2050.

↳ Point d'attention ↳

Les premières ambitions du Gouvernement français d'intégrer 10 % d'hydrogène décarboné (soit environ 100 000 tonnes) dans l'industrie en 2023, ambitions officialisées dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie, sont encore loin d'être atteintes. Un effort conséquent doit être fait sur les cibles industrielles. Ceci est d'autant plus vrai que dans le scénario négaWatt, le passage à l'hydrogène se fait d'un seul coup et totalement en 2035 pour la production d'acier primaire et d'ammoniac. Il reste donc une grosse dizaine d'années pour faire le saut technologique.

Recommandation n°2 – A court terme, la priorité doit être donnée à la décarbonation rapide des besoins en hydrogène de l'industrie. A ce titre, les dispositifs de soutien français doivent être redimensionnés à la hausse pour que les montants d'investissement public permettent de soutenir réellement les projets des secteurs prioritaires des oléfines, de l'ammoniac et de l'acier primaire, afin que ces derniers puissent œuvrer facilement à la mise en place de nouveaux procédés. De manière plus globale, la Stratégie Française Energie Climat doit élargir son champ à l'empreinte carbone et à l'empreinte matière, en déclinant des « budgets carbone et matière » par filière industrielle.

Recommandation n°3 – Concomitamment aux nouveaux procédés utilisant de l'hydrogène décarboné (et puis rapidement renouvelable), les démarches de sobriété et d'efficacité doivent prévaloir dans l'industrie comme dans le reste de la société. L'éco conception des produits visant à ce qu'ils soient plus durables, plus facilement réutilisables, réparables et recyclables doit devenir la norme. Le recyclage, en particulier, doit être augmenté dans toutes les filières. En ce sens, des clauses obligatoires d'éco-conditionnalité doivent être incluses dans toute forme de soutien public à des acteurs privés. Plus largement, les feuilles de route prévues par le titre 7 de la loi Climat et Résilience doivent intégrer la logique de sobriété et devenir un cadre engageant pour les filières industrielles et commerciales, ainsi que pour l'action publique.

↳ Point d'attention ↳

La transition énergétique, telle que l'approche systémique de négaWatt la conçoit, oblige à mener de front plusieurs développements mais celui des énergies renouvelables est prioritaire. Si celui du stockage l'est moins, il doit cependant être anticipé sous toutes ses formes (gravitaire, électrochimique, inertiel, etc.) y compris en ce qui concerne le stockage souterrain d'hydrogène.

Recommandation n°4 – Les démarches de planification des moyens de production d'énergie (SFEC, PPE) doivent entériner la priorité aux ressources renouvelables. Le fort développement des filières éolienne et solaire photovoltaïque sera d'autant plus pertinent si les productions excédentaires sur le réseau national sont dédiées à l'électrolyse de l'eau.

Recommandation n°4bis – Au niveau européen, les actes délégués publiés par la Commission européenne en février 2023 doivent concourir à bien synchroniser le développement des solutions hydrogène/électrolyse et le développement des énergies renouvelables. Face à la dynamique engagée par les Etats-Unis, la mise en œuvre des soutiens européens et français doit privilégier la simplicité et la rapidité.

↳ Point d'attention ↳

Puisque les industries de l'ammoniac, de l'acier primaire et des oléfines concentrent à elles seules 56 % de la consommation d'hydrogène renouvelable à l'horizon 2050 dans le SnW2022, elles doivent pouvoir progressivement s'équiper en électrolyseurs en quantité suffisante, notamment à partir de 2035. Vu du côté des fournisseurs d'électrolyseurs, ces trois secteurs industriels représentent un marché porteur : les fabricants français doivent y trouver une place conséquente.

Recommandation n°5 – Afin de sécuriser une électricité à coût raisonnable qui permettra de produire un hydrogène renouvelable compétitif, les pouvoirs publics doivent continuer de sécuriser les contrats d’approvisionnement de long terme de type PPA ou envisager d’autres approches similaires. Ils doivent également démarrer une réflexion avec les acteurs concernés pour que la régulation du système électrique permette à moyen-long terme de favoriser l’usage des électrolyseurs comme outil de flexibilité du réseau.

Recommandation n°6 – La décarbonation de la production d’acier passe par la voie hydrogène pour laquelle les acteurs privés doivent encore consolider la technologie et le modèle économique. Simultanément, trois actions doivent être menées :

- permettre le déploiement du DRI au méthane pour consolider cette technologie puis progressivement le remplacer par de l’hydrogène ;
- soutenir les entreprises consommant de l’acier, notamment les PME, afin qu’elles puissent acheter à moindre coût l’acier décarboné, si possible produit en France ;
- faciliter et augmenter le recyclage des ferrailles (collecte, tri, amélioration des qualités des aciers recyclés) afin d’augmenter le taux d’incorporation de matières premières recyclées dans la production d’acier.

↳ Point d’attention ↳

La production d’acier primaire par DRI avec 100 % d’hydrogène nécessite encore d’importants ajustements des process industriels pour que sa compétitivité économique soit assurée, au-delà du coût de l’hydrogène et des taxations du CO₂ pour les productions émettrices de gaz à effet de serre.

Recommandation n°7 – Le CO₂ reste une matière première liée à l’usage de l’hydrogène. Pouvoirs publics et acteurs privés doivent anticiper une évolution importante dans ce domaine pour certains secteurs industriels qui le produisent et d’autres qui l’utilisent, et s’assurer que les nouvelles sources (méthanisation, pyrogazéification) soient développées à un niveau suffisant. La fiscalité pourrait être allégée pour la vente du CO₂ produit par ces nouvelles sources (par rapport à celui issu du vaporeformage du gaz d’origine fossile), afin de les privilégier.

↳ Point d’attention ↳

L’approvisionnement en eau (douce ou de mer) des électrolyseurs ne semble pas être un critère bloquant pour le développement de la filière hydrogène renouvelable. Les secteurs industriels qui en auront la plus grande consommation nette (acier primaire et ammoniac) doivent néanmoins s’assurer des enjeux locaux d’accès à l’eau sur leurs sites.

↳ Point d’attention ↳

La localisation des sites industriels de production d’ammoniac, d’acier et d’oléfines peut rester en France sous couvert d’avoir accès à de l’hydrogène et/ou de l’électricité renouvelables bon marché. D’autres critères pourront être pris en compte (accès à du CO₂ pour le méthanol des oléfines, distance entre les sites de DRI et les aciéries électriques pour l’acier). En plus des conditions techniques de réussite de ces transformations industrielles vers l’hydrogène, les acteurs privés, en lien avec les pouvoirs publics, doivent préparer les mutations professionnelles des salariés concernés dans les bassins d’emplois déjà existants.

↳ Point d’attention ↳

Un prix élevé du gaz d’origine fossile (à cause de crise géopolitique ou de l’application d’une taxation) doit rester un signal économique majeur pour inciter les grands acteurs industriels à la décarbonation. Les soutiens apportés par l’État pour la mise en place de nouvelles solutions, en particulier celle de l’hydrogène renouvelable, doivent permettre d’avantager les acteurs qui s’engagent dans la décarbonation.

Recommandation n°8 – Dans une vision globale de l’économie circulaire et de l’incitation à la décarbonation, l’Association négaWatt propose que soit mis en place un affichage environnemental obligatoire des biens de consommation. Cet affichage inclurait un bilan des émissions de gaz à effet de serre en analyse de cycle de vie du produit, une estimation de sa durée de

vie et une note “matériaux” fondée sur le contenu du produit en matières critiques, sur l’empreinte énergétique et sur le taux d’incorporation de matériaux recyclés⁶.

⁶ Pour le détail de cette proposition, voir le rapport du scénario négaWatt 2022, partie 3, pages 16 à 18 (<https://www.negawatt.org/IMG/pdf/scenario-negawatt-2022-rapport-complet-partie3.pdf>)



Priorisation des besoins de l'hydrogène dans l'industrie

L'Association négaWatt, en lien avec Solagro, et avec le soutien de l'ADEME, analyse la place que l'hydrogène renouvelable peut prendre dans la transition énergétique. Sur la base de son scénario, le vecteur hydrogène est intégré à la fois en tant que vecteur énergétique et en tant que matière nécessaire pour l'industrie.

A ce titre, trois secteurs industriels sont étudiés, car ils représentent plus de la moitié de la consommation d'hydrogène renouvelable en 2050 : la production d'ammoniac, la production d'acier primaire et la production d'oléfines pour la chimie.

Parmi les aspects abordés dans cette étude, on trouve notamment :

- L'évolution des besoins en électrolyse ;
- La répartition des volumes d'hydrogène renouvelable en fonction des différents usages ;
- Une analyse de certains critères (besoin en eau, en CO₂, etc.) ;
- Un comparatif avec les scénarios de l'ADEME ;
- Une synthèse des ambitions européennes et françaises ;

Enfin, plusieurs recommandations sont faites en vue d'assurer le développement rapide et pérenne de l'hydrogène renouvelable, parmi lesquelles le soutien aux projets industriels concernés est incontournable.

Étant donné leur process et besoins spécifiques, les trois secteurs industriels de la production d'acier primaire, d'ammoniac et des oléfines de la chimie ont un rôle important à jouer dans la mise en place d'une nouvelle économie de l'hydrogène.

Partie prenante de la transition énergétique, la production d'hydrogène à partir d'une électricité d'origine renouvelable conditionne l'avenir de ces filières industrielles. Parce qu'elles ont dès maintenant un fort impératif de se décarboner, elles doivent pouvoir mettre en place les solutions hydrogène rapidement. Elles favoriseront ainsi l'émergence d'acteurs-clés, en particulier les fabricants d'électrolyseurs.

