

# POLICY BRIEF

Juin 2021

## Introuvable Hydrogène

### L'hydrogène, nouvelle commodité, vecteur énergétique 'magique', ou prescripteur de politiques publiques exigeantes ?

Antoine Goutaland & Joël Ruet

"L'hydrogène", élément de la table de Mendeleïev unique mais composé physico-chimique protéiforme, voit ses utilisations industrielles, ses usages énergétiques différer, ses filières de synthèse foisonner ; il y a des hydrogènes ; leurs promoteurs constituent donc un club encore hétéroclite aux intérêts plus ou moins convergents, à différentes mailles géographiques, sectorielles et temporelles, plus qu'un écosystème unifié et stabilisé à ce stade.

Outre la capacité de l'hydrogène vert à mieux stocker, utiliser ou valoriser les énergies renouvelables, l'hydrogène en général offre une option de flexibilité supplémentaire à la grande refonte systémique énergétique nécessaire à la transition énergétique.

En arrière-plan se joueront des batailles industrielles, même si, aujourd'hui, le Conseil mondial de l'hydrogène a intérêt à faire front commun auprès des décideurs politiques afin d'élargir l'assiette de ce qui n'est pas vraiment jusqu'ici un « secteur ».

Derrière ce "narratif" homogène, se jouent des intérêts industriels, de politique industrielle, de politique tout court. L'hydrogène contribuera au lent changement de perspective de l'écologie: en parallèle de la question systémique des transitions-trajectoires, émergera non pas le retour de la question micro-économique (formation de prix sur des marchés), mais celle de la politique macro-économique des ressources naturelles, problématique englobante, allant d'une comptabilité nationale des ressources à une géostratégie des ressources.

## POINTS CLES

- ▶ L'hydrogène n'est pas une commodité et ne le deviendra probablement pas. Ce sous-produit peut toutefois jouer un rôle clé dans la décarbonation de certaines industries lourdes ou usages énergétiques.
- ▶ Les hydrogènes n'étant pas le pétrole, le précédent modèle économique de ce secteur n'est pas nécessairement l'avenir de l'hydrogène, et il faut dès lors interroger les hypothèses et habitudes cognitives acquises, ainsi qu'analyser objectivement les accélérateurs en présence, et notamment les territoires qui sont déterminants.
- ▶ L'hydrogène ouvre la boîte de Pandore de l'économie industrielle : des oligopoles technologiques forcés s'annoncent-ils ? Recouperont-ils ou bien transcenderont-ils les concurrences géopolitiques ? Certains bassins charbonniers s'imposeront-ils par une sorte de retour de l'histoire ? Les parcs industriels tireront-ils la demande à leur avantage ?
- ▶ L'électrification du monde, mobilisant l'hydrogène, et associée à des usages « naturels » de l'hydrogène là où l'électrification est peu pertinente, est compatible avec une explosion des transformations énergétiques assortie d'une diminution des émissions de CO<sub>2</sub>.

Antoine Goutaland, doctorant à l'école des mines de Paris, est analyste junior associé au Bridge Tank

Joël Ruet, économiste au CNRS, préside The Bridge Tank

Ce rapport résulte d'une enquête au long cours. The Bridge Tank était l'unique think tank invité lors du lancement du Conseil Mondial de l'Hydrogène (Hydrogen Council) lors du Forum de Davos de 2017.

Dès 2017, une série d'entretiens avec les opérateurs du secteur, en marge de la première plénière du CMH à New York lors de l'Assemblée Générale des Nations Unies et aux Etats-Unis, ainsi qu'au Japon, puis en Europe et en Chine en 2018, continuées par une veille mensuelle sur 2019-20, ont été soutenues par l'Institut de la Mobilité Durable Renault-Paristech, et des échanges avec Hydrogen Europe (HE) en amont des COPs 23 et 26.

The Bridge Tank remercie pour d'utiles échanges Raphaël Schoentgen alors président d'HE, Jorgo Chatzimarkakis, Secrétaire Général d'HE, Sam Muraki, conseiller hydrogène du Premier Ministre du Japon, le Général de l'US Air Force Stan Osserman, les organisateurs du Forum hydrogène de Foshan, Ding Yifan du Conseil d'Etat chinois, Bill Elrick de la California Fuel Cell Association, et Dan Kammen, ancien envoyé pour la Science de John Kerry. Les auteurs remercient leurs collègues du Bridge Tank, Wang Xieshu, Baudouin Becker, Florian Dommergues, ainsi que Mathias Guéineau, post-doctorant à l'Ecole Polytechnique. Les analyses de ce rapport n'engagent pas les organismes de rattachement de ses auteurs ni les personnes ou institutions mentionnées.

## INTRODUCTION : Hydrogène ou hydrogènes ? « L'économie hydrogène » n'existe pas

L'hydrogène, dernier sujet à la mode, ou ossature des systèmes énergétiques durables du 21<sup>ème</sup> siècle ? Subitement, tout le monde en parle.

Dès le forum de Davos de 2017, pourtant, Bertrand Picard, de *Solar Impulse*, annonçait en ces termes son avènement : « l'hydrogène, c'est comme la sexualité chez les adolescents : on en parle beaucoup, mais peu la pratiquent ». Et d'annoncer que, justement cela allait changer. Il faut dire que son intervention était inaugurale à celles de seize PDG ou dirigeants de poids lourds mondiaux de l'énergie, des gaz industriels, des technologies de production de l'hydrogène, ou des transports. **Ils formaient le 17 janvier 2017 à Davos le Conseil mondial de l'hydrogène.**

Depuis, et avec des relais continentaux tel que l'association Hydrogen Europe regroupant plus de 100 industriels, c'est peu dire qu'on a changé d'échelle. Rien qu'en **France, le Plan Hulo pour l'hydrogène de 2018, alors limité par Bercy à 80 millions d'euros, puis rogné, émietté en 2019, a finalement fait place, en 2020, à 7 milliards d'euros dans le cadre du plan de relance. Presque « fois cent » en deux ans...**

Derrière les chiffres, l'hydrogène constitue-t-il une nouvelle économie ? une nouvelle industrie ? une nouvelle écologie ?

Soyons clairs. L'« économie hydrogène » n'existe pas ; des industries s'ébauchent. Il reste sur ces bases un vrai et bon débat écologique à mener. Tout cela implique en effet que, subitement, on parle d'hydrogène. Néanmoins il faut éviter l'écueil qui en ferait un nouveau pétrole vert, qui recouvrirait en tout point du globe la même réalité. Il y aura durablement des hydrogènes, dans des écosystèmes industriels relativement distincts, recoupant pour partie la transformation d'anciens secteurs énergétiques, chimiques ou industriels, et pour partie accompagnant le déploiement d'acteurs, de procédés ou de modèles d'affaires nouveaux. La manière de produire ces hydrogènes sera très diverse, les combinaisons varieront d'un territoire à l'autre mais, dans tous les cas, la manière de les utiliser concerne d'ores et déjà les sociétés dans lesquels ils s'inscrivent.

\*\*\*

### Focus 1 - Vade-mecum physico-historique

*Le dihydrogène-H<sub>2</sub> du nom de la molécule qui réunit les atomes d'hydrogène, composé qui fait l'objet principal des discussions, présente de nombreuses caractéristiques physico-thermo-chimiques avantageuses, justifiant sa synthèse dans les sociétés industrialisées.*

*1. Sa capacité thermique massique élevée - quantité que le composé peut libérer pour un*

*service énergétique lors de sa combustion par quantité de masse - en fait un carburant prisé notamment dans les industries optimisant l'espace disponible.*

*Historiquement, le dihydrogène était un composé prisé des secteurs aéronaval et aérospatial pour ces caractéristiques. Les États-Unis d'après-guerre mirent un temps sur le dihydrogène pour la propulsion de leurs avions à turboréacteurs avant de se ranger vers des carburants dérivés du pétrole. Il propulse les fusées spatiales américaines et se trouve être le carburant des missions Apollo.*

*Mais son utilisation la plus large a été d'être un carburant des dirigeables dans le premier 20<sup>ème</sup> siècle, stoppée nette par le tristement célèbre par l'accident du zeppelin Hindenburg en 1937.*

*2. En effet, une deuxième caractéristique du dihydrogène, plus ou moins liées à son inflammabilité, est son explosivité. Couplé avec une masse volumique très faible - qui en fait un gaz léger, il devient un composé risqué et nécessitant des moyens et des équipements de transport et de stockage dédiés. Il est en effet, neuf fois plus léger que le gaz naturel. Maintenir la même quantité de dihydrogène et de gaz naturel dans une même cuve nécessite que la cuve, les joints et les vannes résistent à une pression neuf fois supérieure, en lien aujourd'hui avec une industrie de brevets et de processus tout à fait spécifiques et de pointe, enjeu de rivalités technologiques et de recherche.*

*3. Or, on remarque, après quantification des deux premiers effets, que le dihydrogène dispose d'une capacité thermique volumique plus faible que d'autres carburants gazeux comme le gaz naturel, sauf à recourir à de très fortes pressions et des systèmes complexes de valves. Cette dernière caractéristique permet de saisir une limite de l'utilisation du dihydrogène comme carburant universel. Il faut de grands volumes pour assurer un service énergétique de même intensité. Nous verrons que cette caractéristique limitera l'utilisation du dihydrogène pour des usages diffus comme la mobilité individuelle afin de le réserver à des usages dédiés : mobilités collectives ou pondéreuses (fret ferroviaire, navires, poids lourds, bus et à terme, aviation). Enfin, le dihydrogène peut être transporté sous forme liquide. Le coût énergétique est a priori prohibitif mais nous verrons que des assemblages fins avec d'autres vecteurs chimiques sont envisagés pour certains développements de l'hydrogène.*

*C'est notamment la diversité des combinaisons entre formes physico-chimiques et usages, liée à la diversité des dispositifs technologiques, qui dispose à la variété industrielle de « l'hydrogène », qui, en tant que composé industriel standard... pour ainsi dire, n'existe pas.*

### Plutôt qu'une économie hydrogène, un club d'industriels

De même que « L' » industrie hydrogène n'existe pas de manière unifiée, l'« économie hydrogène » n'existe pas plus, en tout cas pas au sens de l'économie du pétrole ou des matières premières, c'est-à-dire de l'économie dite des « commodités » que manient les

marchés et les traders. Dans le cas de l'hydrogène, il n'existe pas de marché-prix mondiaux (le prix de revient mais aussi la valeur d'usage dépend de projets spécifiques et locaux), pas de marchés physiques offre-demande (l'hydrogène à ce stade voyage mal à l'échelle du globe, à l'exception de le transformer en ammoniac). A l'inverse, il se développe plutôt des silos de production au niveau local, où l'hydrogène peut être un produit dérivé ou faire l'objet d'une production dédiée. Dans ce deuxième cas, il s'agit bien souvent d'un usage captif ou pré-empté par des industries particulières. En somme, il n'existe pas de marché ouvert à l'horizon 10 à 15 ans. Il n'existe pas non plus de technologie unifiée, non pas uniquement parce que la technologie ne serait pas mûre (par exemple l'hydrolyse de l'eau par de l'électricité renouvelable ne semble rentable en termes de comparaison avec l'hydrogène résultant de la pétrochimie qu'à l'horizon 2030-2035 selon les prospectives), mais bien plus parce que l'hydrogène repose sur plusieurs technologies, et qu'il y a diverses manières de le produire.

De même que l'électricité est issue de divers procédés, allant du charbon, au gaz ou à l'hydro-électricité, en passant par l'éolien, le solaire, le nucléaire, etc., qui constituent autant de filières électriques, il y a également plusieurs filières hydrogène. D'ailleurs les industriels de ce secteur naissant assument sa diversité puisque l'on parle d'hydrogène vert lorsqu'il est produit à partir d'énergies renouvelables, gris s'il provient d'hydrocarbures fossiles émettant alors du CO<sub>2</sub> lors de sa production, et bleu quand, lors ce dernier cas, le CO<sub>2</sub> est alors stocké dans des cavités géologiques. Certains analystes vont même jusqu'à parler d'hydrogène turquoise quand son sous-produit est du carbone solide, rose quand l'hydrogène, sans carbone cette fois mais avec une consommation d'uranium, provient de l'électricité nucléaire, jaune enfin quand il résulte d'une électricité elle-même issue d'un mix de ces sources, voire blanc pour l'hydrogène existant à l'état naturel dans des gisements de type gazier, même si les hydrogènes blanc et turquoise restent à ce jour à l'état de prototypes.

### Focus 2 – Usages, synthèses et pré-filières

Avant d'entrer dans le détail des récents investissements en capacité de production d'hydrogène, il convient de rappeler les usages actuels et prospectifs ainsi que les méthodes de synthèse de ce composé industriel.

#### Nouveaux usages

##### Combustible.

L'hydrogène peut être utilisé comme combustible pour de nombreux usages dont des combustions domestiques. Les chaudières à gaz européennes permettent une utilisation avec une teneur de 10% de dihydrogène.

##### Carburant électrique

En sus des voitures électriques à batterie, l'hydrogène peut également être envisagé comme carburant vert pour la mobilité. Il s'agit de véhicules électriques (FCEV) qui transforment l'hydrogène en électricité en émettant de la vapeur d'eau par le biais d'une pile à combustible. Ils ont l'avantage d'avoir davantage d'autonomie et d'être rechargés deux fois plus rapidement qu'un véhicule à batterie.

##### Stockage d'énergie

Dans le cadre de la transition énergétique, l'hydrogène apparaît également comme un moyen de stocker les excédents d'électricité des énergies renouvelables intermittentes. Ceux-ci sont utilisés pour la production d'H<sub>2</sub> via électrolyse, qui est ensuite stocké et peut être reconverti en électricité si besoin.

##### Composé industriel

Enfin, l'hydrogène, est c'est son principal usage à l'heure actuelle, est un composé industriel principalement utilisé pour la production de ciment, d'ammoniac (pour l'agriculture) et comme composant chimique pour le raffinage du pétrole. En 2018, la demande mondiale d'hydrogène était de 73,9 Mt, 52% à des fins de raffinage et 43% pour la production d'ammoniac (IEA).

La production de dihydrogène à partir d'hydrocarbure utilise le procédé de vapoformage, et émet du CO<sub>2</sub> ; les technologues, mais aussi les prospectivistes, n'ont pas totalement abandonnée l'idée que la capture et le stockage de ce CO<sub>2</sub> conduise à un avenir structurant pour cette filière : cet hydrogène « gris » deviendrait alors « bleu ».

Le dihydrogène peut, à ce jour, être synthétisé par deux procédés qui diffèrent selon les composants primaires principaux : les hydrocarbures et l'eau ; c'est à ce stade la seconde voie, dans l'hypothèse d'une production à partir d'électricité renouvelable, qui donne le plus grand espoir d'un rôle clé pour l'hydrogène dans les transitions énergétiques. C'est l'hydrogène « vert », dont le rôle structurant potentiel est détaillé ci-dessous.

Il est à noter que, en cette phase d'accélération à partir de projets pilotes, les différentes voies de production d'hydrogène, peuvent s'appuyer sur des filières énergétiques et industrielles ou chimiques existante avec des adaptations de processus mineures. Mais, au-delà d'un certain volume à déterminer au cas par cas, et en fonction des évolutions techniques, les éléments de filières devront se structurer ; c'est tout le cœur du pari qui est fait : en 2016 les politiques voyaient le verre d'eau du saut technologique à moitié vide, ils le voient de plus en plus à moitié plein.

### Focus 3 – L'hydrogène, un électron comme les autres ?

La production de dihydrogène à partir d'eau utilise le procédé d'électrolyse. L'électrolyse vise à séparer l'eau en dihydrogène d'un côté et en dioxygène de l'autre en plongeant deux lames métalliques - appelées électrodes - dans l'eau et en faisant passer un courant électrique entre les deux

*électrodes. Cette réaction est dite exothermique, c'est à dire qu'elle requiert de l'énergie - en l'occurrence celle du courant électrique - pour se produire et effectivement séparer l'eau en H2 et O2.*

*En revanche cette réaction est réversible, le dihydrogène et le dioxygène peuvent produire de l'eau et un courant électrique, avec un toujours un rendement lié à des pertes par dissipations. La réversibilité de l'électrolyse est le principe de fonctionnement des piles à combustible et ainsi la source de l'intérêt de l'hydrogène pour le stockage de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables (en complément ou concurrence aux batteries chimiques de stockage) et l'origine de la vision de l'hydrogène en tant que 'maillon central' de l'électrification des systèmes énergétiques.*

Enfin la technologie n'est pas unifiée au sens où, dans chaque zone du monde, l'apport de l'hydrogène se greffe à des situations énergétiques et industrielles pré-existantes de divers types.

Le mix entre hydrogènes gris, bleu ou vert produits par des acteurs différents, parfois rivaux, varie en fonction des trajectoires passées et des héritages de systèmes industriels existants.

Surtout, leurs usages varient. Ces hydrogènes peuvent être utilisés pour produire à nouveau de l'électricité après stockage sous forme hydrogène et ré-injection dans des réseaux électriques, pour usage direct dans des piles à hydrogène pour produire de l'électricité à des fins de mobilité ou de chaleur, ou encore pour des processus non-énergétiques mais plutôt physico-chimiques ou métallurgiques. L'hydrogène peut même être brûlé dans des centrales électriques à charbon pour abaisser la teneur en CO2 final. Ce qu'il importe de préciser ici est que la diversité des usages de l'hydrogène n'est pas assimilable à celle de l'électricité ou du pétrole qui sont fournis auprès d'un marché. Bien souvent, la production et la consommation d'une forme d'hydrogène sont intégrées à une même structure industrielle, un même projet, sans jamais passer par un 'marché' où se rencontreraient différents producteurs et usages.

Ces situations resteront encore très longtemps spécifiques à chaque zone du monde... et à chaque acteur la mettant en œuvre pour ses propres fins.

La grande adaptabilité de l'hydrogène est donc ce qui fait qu'on ne peut pas penser une économie de l'hydrogène en tant que produit standardisé ou « commodité » au sens du pétrole, du gaz, de minerais ou de métaux.

Si l'on revient à l'absence de « marché » qui mettrait en présence tous les producteurs et les acheteurs, au fondement de la notion, celle-ci s'explique autant par les modes de productions diverses que par la multiplicité de ses usages actuels et potentiels, qui sont encore

principalement internes et spécifiques à des cycles industriels (sidérurgie, engrais, stockage d'électricité renouvelable sous forme hydrogène pour ré-injection future dans les réseaux électriques telles des batteries...) et que cet hydrogène-là est largement produit en interne sur des sites industriels, en sous-produit d'autres procédés ou encore de manière dédiée à un client.

Si cette situation ne constitue pas nécessairement l'unique perspective de développement des applications de l'hydrogène, elle reste la réalité d'aujourd'hui.

**En bref, "l'hydrogène", élément de la table de Mendeleïev unique, mais composé physico-chimique protéiforme, voit ses utilisations industrielles et ses usages énergétiques différer, ses filières de synthèse foisonner. Il y a des hydrogènes. Leurs promoteurs constituent donc un club encore hétéroclite, aux intérêts plus ou moins convergents à différentes mailles géographiques, sectorielles et temporelles, plutôt qu'un écosystème unifié et stabilisé à ce stade.**

---

### Massification des hydrogènes et questions ouvertes

S'il faut donc prendre garde aux simplifications et à l'utilisation de raisonnements économiques issus des commodités (un produit standardisé, disponible mondialement, produit par des technologies standardisées, négocié sur un marché d'offre et de demande), la raison économique qui justifie la popularité de l'hydrogène vient des accélérations constatées: alors que les projets ont longtemps été de l'ordre du Mégawatt (MW) (10 000 ampoules de 100 W), depuis plusieurs mois les annonces en centaines de Mégawatts, puis en milliers de MW, ou Gigawatts, se multiplient. Ces annonces sont sous-tendues par des organisation et associations industrielles, et, dans une certaine mesure, par des évolutions techniques, ou des perspectives et espoirs de telles évolutions, dont il convient encore de faire un tri critique.

#### Focus 4 - Qui promeut l'hydrogène, comment et pourquoi ? L'hydrogène-grand-programme

*L'émergence de l'hydrogène sur la scène médiatique et dans les politiques publiques a été scandée par quelques grands rapports orchestrés et commissionnés par divers groupements depuis 2017.*

*Les rapports des associations d'intérêts autour de l'hydrogène d'abord. Hydrogen Council notamment est une association internationale promouvant le développement d'intérêts autour de l'hydrogène. L'association compte un grand nombre d'industriels. Elle organise des formations sur le sujet - en utilisant abondamment le format Webinar depuis début 2020, et a publié six rapports jusqu'ici.*

Progressivement, les rapports sont passés de la promotion des potentiels usages du composé à l'état des lieux des productions mondiales et à une prospective des coûts. Ces projections doivent être vues comme des signaux ayant pour but de stimuler l'intérêt autour des industries de l'hydrogène. La multiplication de ces signaux par reprise des chiffres dans d'autres études depuis deux ans doit être comprise comme la cristallisation des intérêts de certains curateurs financiers et certains décideurs publics et industriels sur le composé. En revanche, il n'y a pas de coordination sectorielle visible et organisée autour d'instruments communs (comme la loi de Moore pour les semi-conducteurs). Les rapports de l'Hydrogen Council sont donc des outils de lobbying particulièrement bien documentés.

Des associations régionales ont émergé pour réunir les industriels. H2 Europe est l'association européenne. Relayant les rapports d'Hydrogen Council, elle a aussi produit des rapports dédiés à l'industrie européenne. H2 Europe a joué un rôle déterminant dans la mise à l'agenda communautaire du plan hydrogène dans le cadre de la mise en place de la présidence allemande du conseil européen à l'été 2020. Préalablement, l'association avait joué un rôle de lobby auprès de la Commission européenne pour préparer la stratégie communautaire. L'Europe apporte également son soutien par des programmes de recherche (FCH-JU) et des financements structurants d'appui aux projets régionaux regroupant plusieurs Etats membres (IPCEI).

Des associations nationales jouent le même rôle. En France, l'Afhyac réunissant les grands industriels et les entreprises de taille intermédiaire. Elle publie une newsletter mensuelle sur les développements de l'hydrogène en France. D'autres exemples historiques existent (SINTEF en Finlande) et de nouvelles associations se créent de sorte à fédérer des feuilles de routes proposées aux gouvernements (exemple du Royaume Uni...).

Par contraste, l'Europe est ainsi en position équilibrée entre d'une part des zones où le développement de l'hydrogène est tiré par l'Etat (Asie) et des pays où l'industrie a longtemps eu un lobby peu efficace (FCHEA aux USA, qui n'avait ni l'écoute de Trump ni précédemment celle d'Obama).

En réponse à l'activité de ces associations, des curateurs financiers ont proposé leurs propres rapports avec leurs propres projections de coût de production du dihydrogène. Le rapport Bloomberg a crédibilisé les industriels de l'hydrogène.

In fine, l'hydrogène semble avoir enfin gagné une traction réelle et s'être imposé comme un outil nécessaire à la transition énergétique et écologique. Après plusieurs vagues d'optimismes avortées ces dernières décennies, la multiplication des stratégies nationales hydrogènes des gouvernements en Europe et dans le monde ainsi que l'importance des financements qui lui sont octroyés (une enveloppe d'€1,8Mds en France sur la période 2020-2023, €8Mds d'investissements dans 62 projets par l'Allemagne annoncés en mai) démontrent que l'hydrogène devrait enfin s'imposer au sein de nos écosystèmes énergétiques.

Les grands réseaux de gaz et d'électricité de par le monde, plus souvent rivaux commercialement que complémentaires énergétiquement, voient leur équilibre bousculé par l'ensemble des transitions énergétiques, en cours ou annoncées. Si les réseaux électriques ici ou là sont attentifs au risque de devoir se restructurer pour accommoder plus d'énergies renouvelables permises par la conversion des excédents en hydrogène vert, c'est aussi l'occasion d'un renouveau. Les réseaux gaziers et les producteurs d'énergie fossiles espèrent une prolongation de la durée de vie de leurs investissements avec une couche supplémentaire d'hydrogène, gris ou bleu, ou même comme débouché d'excédents programmés d'hydrogène vert. Avec l'essor de l'hydrogène, les gestionnaires de réseaux peuvent envisager, par exemple dans le cas d'une production centralisée massive d'hydrogène en certains points de réseaux, d'apporter un élément de stabilité dans un environnement où les « autres » énergies renouvelables sont pour leur part souvent décentralisées. Outre une continuité du modèle de réseaux des gestionnaires, l'hydrogène ouvre clairement une possibilité intéressante apportant une certaine valeur sociale, compte tenu des investissements massifs précédemment consentis dans ces réseaux. **Ainsi, outre la capacité de mieux stocker, utiliser ou valoriser à terme par l'hydrogène vert les énergies renouvelables déjà mentionnées, l'hydrogène en général offre une option de flexibilité supplémentaire à la grande refonte systémique nécessaire à la transition énergétique.**

Ainsi, dans certains pays, et selon les mix énergétiques actuels, les régulateurs, les économistes et parfois les associations de réseaux électriques et gaziers se prennent à rêver d'intégration systémique gaz-électricité, dépassant leur traditionnelle rivalité.

*Focus 5 - Point sur la poussée gazière européenne en faveur de l'hydrogène – l'hydrogène, un gaz comme un autre ?*

Le secteur gazier soutient massivement les plans hydrogène. Depuis la définition d'objectifs de neutralité carbone, les industriels du gaz européens se retrouvent face à un questionnement existentiel majeur. Après la décarbonation de l'électricité, ces objectifs incitent à revenir sur l'utilisation du gaz naturel dans le chauffage, au profit de l'électricité et surtout d'une meilleure isolation des bâtiments. La France a récemment interdit le chauffage au gaz dans la construction neuve, comme le Royaume-Uni. Les grandes foncières allemandes ont, quant à elles, accéléré la rénovation énergétique de leur parc. Les pays d'Europe de l'Est continuent leur politique de sortie de la dépendance du gaz russe au profit généralement de production charbonnière et d'interconnexion électrique. L'avenir européen du gaz est incertain. Les gaziers européens investissent depuis maintenant 5 ans dans la R&D sur l'hydrogène avec

*l'objectif de développer des procédés pour contourner les brevets d'Air Liquide et ainsi assurer leur place dans la chaîne de valeur. Les résultats sont mitigés et cela les contraint à prioriser leurs efforts différemment.*

*En France, Engie prend le parti du biogaz à partir de méthanisation, de pyrolyse et de gazéification des déchets urbains et agricoles. En Italie, gros consommateur de gaz naturel importé du Sud de la Méditerranée et dont les districts industriels dont dépendent le tissu dense de PME industrielles sont tous reliés par des réseaux de gaz, le secteur gazier, mené par le gestionnaire du réseau de transport, a réalisé des tests d'injection d'hydrogène à 10% avec succès. Les chaudières en aval comme les joints et les vannes ont tenu le test. Enfin, les gaziers allemands et néerlandais promeuvent avec un certain succès le Power-to-Gas.*

*Le Power-to-Gas permet la conversion d'électricité en gaz. Il est fortement poussé par les promoteurs des grands projets renouvelables en Allemagne et au Pays-Bas car il permettrait de valoriser les excès de production électrique par rapport aux capacités du réseau. Les gestionnaires de réseau de transports d'électricité Tenet et Amprion ont cosigné des rapports avec les gestionnaires de réseau de transports de gaz pour marquer cette volonté. Les plans hydrogène et les politiques énergétiques allemandes et néerlandais convergent en ce sens. En même temps que la stratégie européenne sur l'hydrogène, la Commission européenne publiait une stratégie d'intégration du système énergétique de l'Union. Derrière cette dénomination, la Commission considère comme prioritaire la convergence des discussions sur les réseaux d'électricité et les réseaux de gaz, confirmant ainsi la poussée des jonctions techniques entre les deux secteurs.*

*Les gaziers ont plusieurs fois tenté de faire entrer des électrolyseurs dans leur base d'actifs régulés au titre que l'hydrogène produit est une forme de transport d'énergie alors qu'elle n'est pas un actif régulé pour les électriciens. Ces points de dissension sectoriels n'empêchent pas des volontés nationales allemande, néerlandaise et italienne de faire avancer les dispositifs de power-to-gas face à des pays scandinaves et à la France qui ne trouvent pas ces dispositifs prioritaires pour la tenue de leurs objectifs climatiques.*

Revenons sur la possibilité, pour les producteurs d'énergies renouvelables, de voir dans l'hydrogène une possibilité, à terme, d'expansion au-delà des limites atteintes par une électricité jusqu'ici non stockable. Les projets multi-pays, les partenariats technologiques continentaux ou mondiaux fleurissent (ainsi Mission Innovation, initiative regroupant 24 pays plus l'UE, qui se donne pour objectif de réaliser des percées technologiques, a ajouté à ses 7 programmes initiaux un 8<sup>ème</sup> lié à l'hydrogène en mai 2018).

De grandes attentes se nouent et ce sont elles qui sont à l'origine de l'essor de l'hydrogène dans le débat public. **Le moteur est clairement industriel, et non tiré par un marché, qui reste à créer au service de cette vision industrielle** ; on précise que l'enjeu ici n'est pas de juger, mais

**d'identifier les forces motrices originales d'un domaine qui ne ressort pas simplement d'un « marché naissant, à construire », et qui au contraire pourrait bien ne pas complètement se constituer comme tel.**

#### Focus 6 - Point sur la mobilité

*Le secteur automobile reste attentif aux mouvements. On peut à ce jour distinguer deux principaux cas de figures.*

*- Les marchés niches des véhicules individuels hydrogènes à pile à combustible comme la Californie, Séoul ou les grandes métropoles japonaises. La Toyota Mirai reste le seul véhicule de cette catégorie, ce qui laisse le constructeur seul pour pousser l'investissement dans les bornes de recharge. Un volontarisme politique fort dans ces au Japon, en Californie, en Corée du Sud et dans une moindre mesure en Europe sont les seuls moteurs des plans ambitieux de bornes de recharge.*

*- Un second cas de figure, qui paraît a priori plus pertinent, concerne les véhicules lourds à hydrogène ainsi que les flottes logistiques pour le transport long. De ce point de vue, les investissements se multiplient et les constructeurs montrent un véritable intérêt pour la molécule qui a pour vertu une autonomie plus importante que les batteries et un chargement rapide.*

*Les constructeurs automobiles ne sont pas les seuls à pousser pour le développement de l'hydrogène. Les constructeurs ferroviaires sont attentifs à la question en Europe, en Chine et au Japon. La France et l'Allemagne conduisent des tests communs et la SNCF est en train d'édicter une doctrine sur l'utilisation de l'hydrogène pour les lignes de desserte fines du territoire qui doit préciser ou non un soutien massif à cette technologie pour ses fournisseurs.*

*Plus récemment, les constructeurs maritimes se sont réunis en lobby (Trafigura, 3 entreprises de transport maritime et Hydrogen Europe notamment) pour promouvoir une transition des moteurs pour le fret maritimes auprès de l'UE. Des projets pilotes de ferry sont menés en Norvège et pour des barges de fret fluvial en France sur le Rhône et en Allemagne et aux Pays-Bas sur le Rhin.*

*Enfin, Safran a annoncé à l'automne 2020, son plan pour fabriquer des réacteurs d'avion à hydrogène et des moteurs à hélice dans l'espoir de réduire les émissions de scope 1 du secteur.]*

**Pour le dire autrement, les hydrogènes n'étant pas le pétrole, le précédent modèle économique de ce secteur n'est pas nécessairement pertinent dans le cas de l'avenir de l'hydrogène, et il faut dès lors réinterroger les hypothèses et habitudes cognitives acquises, analyser objectivement les accélérateurs en présence.**

**Or les territoires sont déterminants.**

## Tour du monde de l'hydrogène ou le rôle des territoires dans les batailles industrielles

Les hydrogènes ont plusieurs sources, plusieurs usages et surtout **plusieurs cycles, technologies et degrés de standardisation entre le projet interne et le pré-marché**. On peut en inférer que chaque territoire économique-énergétique-industriel verra se stabiliser différemment son système hydrogène propre. Si l'hydrogène peut être une brique de la transition énergétique, ce sont bien là aussi des **transitions énergétiques diverses, à l'instar de la diversité des systèmes hydrogènes, qui se font jour dans des territoires différents**. Les pouvoirs publics, tant comme prescripteurs de projets concrets que comme régulateurs, sont déjà en train d'orienter ces écosystèmes hydrogènes, parfois au-delà des apparences.

Derrière sa « société hydrogène », qui fait de cet élément la base de son économie future, le **Japon** développe surtout ses utilisations gazières. À l'inverse, si la **Chine** met en avant l'hydrogène pour la mobilité des véhicules, capitalisant sur ses succès en matière de voiture électrique, elle développe en réalité tous les cycles et usages, et espère absorber ses immenses surcapacités éoliennes et solaires sous-optimisées, ainsi que reconverter ses bassins charbonniers. Les **États-Unis** ont une approche très peu intégrée, entre d'une part la Californie et la côte nord-est qui s'y intéressent mais estiment que l'électrification verte a déjà une avance déterminante sur l'hydrogène aujourd'hui gris, et l'Amérique mainland qui envisage en large part cet hydrogène gris dans la continuité d'une approche fossile de l'énergie. A contrario de l'administration Trump qui s'était inscrit dans la continuité de l'administration Obama, ouvertement rétive à l'hydrogène vert, l'administration Biden promet d'inverser la donne. Le président a annoncé un *Infrastructure Plan* en mars 2021 qui prévoit d'importants investissements pour des projets énergétiques verts et dans lequel il est donné une place déterminante à l'hydrogène. En sus, la Secrétaire à l'Énergie, Jennifer Granholm, a lancé l'« Hydrogen Energy Earthshot » en juin pour accélérer le développement de la molécule. Enfin l'**Union Européenne** a donné une récente impulsion et se tourne vers des projets géographiquement structurants autour des grands réseaux, qui sont à la fois un appel d'air pour le secteur mais demandent des ajustements innovants entre industriels et réseaux, qui ont été tirés par la présidence allemande et poussés par l'industrie européenne mais devront obtenir la même traction des présidences tournantes à venir de l'UE. Cette politique devra enfin trouver ses normes réglementaires, industrielles et économiques au sein d'une Union première productrice de normes au monde.

## Focus 7 – écosystèmes industriels et économies politiques de l'hydrogène par géographies

### Japon-Australie, mariage de raison

Le 26 décembre 2017, le Japon a publié sa stratégie nationale hydrogène (*Basic Hydrogen Strategy*) mis à jour en 2019. Le pays du Soleil Levant a prévu un schéma d'importation massive de dihydrogène par voie maritime.

Enfin, en 2019, l'Australie a annoncé des investissements conséquents dans la production de dihydrogène et des partenariats commerciaux avec le Japon. De nombreux projets de démonstrateurs sont conduits par l'agence nationale de recherche.

Le Japon, la Corée et le récent engagement Australien nous permet de dresser une première aire géographique de l'industrie de l'hydrogène. Cette industrie synthétise le dihydrogène par vaporeformage d'hydrocarbure ou liquéfaction de charbon. La Corée et le Japon peuvent ainsi maintenir leurs complexes pétrochimiques pour de nouveaux usages énergétiques. Par sa stratégie de liquéfaction, l'Australie soutient son essor charbonnier en lui trouvant un débouché. Couplé au stockage du CO<sub>2</sub> par divers outils, l'Australie espère développer une filière d'hydrogène décarboné qu'elle pourra valoriser dans le cadre de ses ambitions climatiques ou en l'exportant à destination de l'Asie de l'Est qui chercheront à satisfaire leurs propres objectifs climatiques.]

Le Japon et la Corée ont également conduit des investissements historiquement dans la production de dihydrogène industriel pour une utilisation chimique. Ces deux pays ont aussi investi dans des stations de recharge de dihydrogène dans les grands centres urbains. À ce titre, Séoul est pionnière.

### La charge européenne de l'été 2020

L'Europe est un utilisateur historique de l'hydrogène, notamment pour la production d'ammoniac, la sidérurgie et l'industrie nucléaire.

Plusieurs pays d'Europe, ont lancé divers investissements de recherche et développement concernant la production, l'acheminement, le stockage ou l'utilisation de l'hydrogène. Début 2020, ces investissements ont accéléré avec la parution de plusieurs stratégies nationales d'investissement dans le secteur. Les Pays-Bas, l'Espagne et le Portugal ont été pionniers avec des investissements dans des capacités d'électrolyse couplées à des nouveaux moyens de production d'énergie renouvelable. En juin 2020, l'Allemagne publie sa stratégie fédérale pour le développement de l'hydrogène. Le montant des investissements allemands s'élève à 9 Mds € dont 7 Mds € pour son territoire et 2 Mds € pour des investissements en Ukraine et au Maroc.

Début juillet 2020, la Commission Européenne a lancé une alliance industrielle pour l'hydrogène sur le modèle de l'alliance européenne pour les batteries. Le même jour, elle a publié deux stratégies énergétiques liées : une stratégie d'intégration des systèmes énergétiques qui prévoit entre autres une convergence des secteurs électriques et gaziers et une stratégie pour l'hydrogène. Cette dernière se décompose en trois phases :

- La décarbonation déjà utilisé par l'industrie européenne

- L'utilisation de l'hydrogène pour la décarbonation de l'industrie européenne
- La création d'un marché commun de l'hydrogène en tant que commodité libellée en euros

*La stratégie hydrogène poussée en particulier par l'Allemagne et les Pays-Bas, s'accompagne de visions pour l'aménagement de la société hydrogène : les vallées hydrogène. Ce concept s'articule sur des projets de gazoducs dédiés à l'hydrogène des Pays-Bas à l'Italie du Nord d'un côté et l'Espagne par la France d'un autre côté. Ces vallées sont pour l'instant principalement des notions permettant de donner une cohérence aux investissements de recherche et développement mené à l'échelle territoriale.]*

On voit que les héritages du passé et les traditions importent. Comprendre **ce qui constitue en ce sens des « trajectoires », inscrites dans un tissu industriel existant, passe plus par la réalité politique des différents terrains où les systèmes hydrogène se structurent plutôt que par des marchés offre-demande désincarnés** et encore moins par des formations de prix de « marché ».

**De ce panorama territorial, quels sont les intérêts et groupes de pression qui font les adoptions/accélération et influent les politiques H2 ?** Les réponses, territoriales, sont donc éminemment politiques. L'hydrogène, que certains promeuvent tel un « électron comme les autres » essentiellement dédié à co-optimiser les énergies renouvelables et les réseaux électriques, ne l'est pas ; il n'est même pas un « gaz comme les autres » dont la mission essentielle serait d'augmenter la durée de vie et l'acceptabilité des réseaux gaziers dans les transitions, encore moins un carburant comme les autres, puisqu'il semble aujourd'hui surtout adapté aux mobilités lourdes, voire aux transports en commun. Il n'est rien de cela en particulier et tout cela un peu à la fois. Il sera en réalité déterminé par les technologies qui se stabiliseront le plus vite en coût et en volume, et par les choix nationaux.

**Ainsi, plus qu'un nouvel équivalent énergétique général tel que le conseil mondial de l'hydrogène aime à le présenter** (la thermodynamique a tout de même ses droits et chaque transformation successive son rendement relatif), **l'hydrogène peut segmenter des usages autrefois portés par la même commodité pétrolière.**

**Qu'on ne se y trompe pas, derrière cela se joueront des batailles industrielles, même si, aujourd'hui, le Conseil mondial de l'hydrogène a intérêt à faire bloc commun auprès des décideurs politiques afin d'influer sur les décisions qui impacteront les décennies à venir et d'élargir l'assiette de ce qui n'est pas vraiment un « secteur ».**

**Derrière ce « narratif » homogène, se jouent des intérêts industriels, de politique industrielle, de politique tout court.**

### De l'industrie au politique et à l'écologie

S'il est trop tôt pour désigner les « vainqueurs » (usages, technologies, systèmes, acteurs, territoires...) ou pour être plus précis, **s'il est trop tôt pour dessiner les formes de transitions énergétiques qu'orienteront les hydrogènes, et si vraisemblablement ce ne seront pas les mêmes sur différents territoires, des questions structurantes se profilent déjà.**

Face à l'essor des énergies renouvelables des dernières années, verra-t-on une « récupération » gazière ? Les constructeurs automobiles ne risquent-ils pas la dispersion technologique et donc une dépendance accrue aux énergéticiens ? Les entreprises maîtrisant l'innovation et l'interface technologique (le français Air Liquide, ou ses concurrents directs tel le canadien Ballard, l'allemand Linde, ou encore les futurs champions chinois) prendront-elles le pas sur les entreprises maîtrisant l'accès aux ressources amont ou bien ces dernières domineront-elles, ou à l'inverse seront-elles celles dominant les marchés d'usage ?

**Ces questions ouvrent la boîte de Pandore de l'économie industrielle : des oligopoles technologiques forcés s'annoncent-ils dès lors ? Recouperont-ils ou bien dépasseront-ils les concurrences géopolitiques ? Certains bassins industriels en transition s'imposeront-ils par une sorte de retour de l'histoire ? Les parcs industriels tireront-ils la demande à leur avantage ? Enfin, dans ce panorama, comment l'hydrogène s'insère-t-il dans l'électrification du monde ? Quelques premiers rapports répondent à certains aspects de ces questions, mais il nous importe ici de les saisir dans leur ensemble structurant.**

### Focus 8 – Les grandes structurations industrielles mondiales

*Des entreprises comme Air Liquide qui font le tour du monde en structurant l'innovation industrielle : Air Liquide est une entreprise clé dans le développement des technologies hydrogènes. L'entreprise a construit sa position sur la valorisation de brevets liés à la transformation et au conditionnement de gaz et dispose d'un brevet international pour les meilleures techniques de liquéfaction de l'hydrogène.*

*La liquéfaction est particulièrement adaptée à la géopolitique coréenne et japonaise et Air Liquide s'est donc imposée comme un partenaire privilégié, notamment dans le cadre de la stratégie hydrogène australo-japonaise qui vise à produire de l'hydrogène à partir des mines de charbon*



*australienne (avec séquestration du carbone) puis de l'acheminer par voie maritime sous forme liquéfiée jusqu'au Japon et possiblement la Corée.*

*Air Liquide a depuis développé de nombreux brevets dans technologies de stations de recharge et dans les piles à combustible mais ces brevets sont plus facilement contournables, ne laissant à la firme qu'une avance stratégique sur des compétiteurs.*

**Rarement dans l'histoire récente des « vieilles industries » l'avenir a-t-il été aussi ouvert. Il n'est pas étonnant que le politique s'en saisisse, mais sans doute s'en saisira-t-il au-delà de la réponse favorable aux attentes d'appels d'air des industriels.**

Un indice de cela est le miroir double de l'intérêt pour l'hydrogène : le débat sur ses « rendements thermodynamiques » en atteste : les différentes formes d'hydrogène, à l'inverse d'hydrocarbures, devant être synthétisés par différents processus, de transformations physico-chimiques voire étant elles-mêmes retransformées avant utilisation en énergie finale, impliquent des chaînes de rendements énergétiques faibles entre énergies amont (« primaires ») et énergies finales. Cet argument est de plus en plus souvent utilisé pour contrer l'essor de ces industries : ces rendements faibles rendraient illusoire leur essor, voire seraient un contresens économique, écologique même.

**Ce n'est pas si simple. Si l'énergie primaire utilisée est 100% renouvelable (comme pour l'hydrogène vert), alors peu importe le rendement rapporté à une énergie initiale surabondante et... qui serait perdue sinon. Au contraire, à capacité renouvelable donnée, une optimisation par stockage sous forme d'hydrogène ou production et usage d'hydrogène permet de rentabiliser au mieux des équipements dont on sait par ailleurs le poids de leurs composants en autres ressources (métaux, par exemples). Ici deux débats malthusiens pris séparément peuvent, selon les scénarios évidemment, amener des stratégies tout à fait vertueuses.**

L'essor du rôle de l'hydrogène, à terme vert, ou associé à la capture du CO<sub>2</sub> (hydrogène bleu), signifie là aussi la sortie du paradigme fossile en autorisant à ne plus s'arc-bouter sur la sobriété énergétique amont ; ce qui compte c'est la réduction du « déchet CO<sub>2</sub> », des émissions de gaz à effet de serre ; réduire les émissions en augmentant au final massivement le recours aux renouvelables via leur stockage ou utilisation différenciée grâce à l'hydrogène pose-t-il vraiment un problème de philosophie thermodynamique au point d'accepter l'actuelle limitation de l'expansion des renouvelables du fait de l'impossibilité de les stocker optimalement sans hydrogène ?

**Focus 9 – Un rêve prométhéen ? Point sur la critique thermodynamique française de l'hydrogène**

*Les stratégies parues à l'été 2020 ont été justifiées en Europe par l'impératif de "décarbonation des économies." De fait, l'hydrogène permet à certains secteurs de réduire leurs émissions directes de gaz à effet de serre par la conversion de leurs machines à l'hydrogène. Les industriels énergivores - l'industrie lourde, la chimie, la logistique et le transport - perçoivent donc un intérêt considérable face à la normalisation climatique, financière et fiscale, en cours à cette conversion. Nous soulignerons, à titre d'exemples de ces nouvelles normalisations la réforme du marché européen de quotas d'émission de gaz à effet de serre, encore en discussion, et la diffusion des normes de reporting extra-financiers sur l'impact climatique des activités de la Taskforce on Climate-related Financial Disclosure (TCFD). La décarbonation doit donc être entendue comme la décarbonation des bilans d'activité des industries énergivores.*

*Les techniques de production de l'hydrogène font craindre un report des émissions sur d'autres entreprises et d'autres secteurs. Si l'hydrogène n'est pas issu d'électricité décarbonée, le producteur d'hydrogène émet à la place de l'industrie concernée. Le producteur d'hydrogène émet généralement plus, dans ce cas, à cause des rendements thermodynamiques assez faibles des techniques de production. Si l'hydrogène est issu d'électricité décarbonée, le producteur n'émet pas tout chose égale par ailleurs. Il est donc logique de voir une polarisation des stratégies nationales et continentales vers l'hydrogène produit par électrolyse avec de l'électricité décarbonée, et particulièrement de renouvelable pour participer à la structuration de ces filières.*

*Néanmoins, en France, l'hydrogène décarboné subit de nombreuses critiques liées au mauvais rendement thermodynamique de l'électrolyse. Ces critiques se centrent sur l'utilisation de l'hydrogène comme moyen de stockage d'électricité. En effet, pour stocker de l'électricité, il faut la convertir en hydrogène par une première électrolyse puis reconverter le gaz en électricité une seconde électrolyse. Très conscientes de ce problème, la plupart des stratégies industrielles ne se concentrent pas sur le stockage d'électricité pour justifier le développement du gaz. Deux exceptions notables sont l'Allemagne et les Pays-Bas, ardens promoteurs de l'hydrogène et qui font du stockage d'électricité un pilier de leur prospective énergétique pour 2030 et 2050, sous l'hypothèse d'une forte augmentation de la production des renouvelables.*

*La pertinence de cette critique est remarquable car elle place les choix d'investissements face à des objectifs communs, multi-secteurs et internationaux. Les trajectoires bas-carbone doivent donc être les outils d'opérationnalisation des grands plans hydrogène. Un hydrogène aveugle à cette réalité serait un hydrogène inutile pour décarboner.*

**La variable clé n'est pas directement le volume d'énergie renouvelable mobilisé (et perdu sinon) mais l'emprise sur les terres, les mers, les airs, les matières métalliques de tous ces dispositifs. Prendre en compte ces emprises**

enjoint à définir une sobriété matérielle amont qui dépend à la fois de l'évolution technologique –il faut de moins en moins de matière pour produire un kWh- et de rendements croissants (le solaire concentré, les grandes éoliennes etc.) ce qui n'empêche pas au contraire la sobriété aval de la demande, mais l'argument de la quantité d'énergie « primaire » mobilisée a déjà été battu en brèche par la mobilisation du solaire et de l'éolien, qu'il y ait recours à l'hydrogène ou pas.

**L'électrification du monde, mobilisant l'hydrogène, et associée à des usages « naturels » de l'hydrogène là où l'électrification est peu pertinente, est compatible avec la poursuite des transformations énergétiques assortie d'une diminution des émissions de CO2. L'Allemagne comme la France se sont engagées à des diminutions d'énergie primaires et pour la France, il n'est pas prévu d'augmentation de la consommation d'électricité d'ici 2025.**

*Focus 10 - L'hydrogène, un objet aux opportunités politiques intéressantes*

*La principale contribution de l'hydrogène à la réduction de gaz à effet de serre est pour l'instant vraisemblablement diplomatique. L'hydrogène, nouvel objet beaucoup d'agitations, est devenu durant l'été 2020, un outil efficace de ralliement aux objectifs climatiques.*

*L'hydrogène a été un élément positif de dialogue entre la présidence allemande et différents blocs de l'Union. La présidence allemande a pu rallier les pays de l'Est, en particulier la Pologne et la République Tchèque aux négociations sur la réforme du marché ETS en les ralliant à la stratégie hydrogène de la Commission, sortant ainsi du bras de fer que ces pays engageaient avec Bruxelles entre engagements climatiques et défense de l'expression publique des minorités sexuelles et des droits reproductifs.*

*L'Allemagne a lui-même pu se tirer d'une situation d'antagonisme avec les pays du Sud de l'Europe, fortement irrités par le manque de solidarité européenne lors de l'irruption de la crise du CoVid en Italie. Les pays du Sud et la France s'étaient durant le printemps violemment confrontés avec les Pays-Bas et les Scandinaves au sujet de la mutualisation des dettes liées aux dépenses sanitaires. Grâce à la stratégie hydrogène de la Commission européenne, Bruxelles et Berlin pouvaient rouvrir des dialogues positifs autour d'investissements industriels conséquents et porteurs de promesses. Le Portugal et l'Italie ont particulièrement besoin de gaz renouvelables tels que l'hydrogène pour assurer leur décarbonation et l'Espagne s'est aussi montrée enthousiaste aux investissements.*

*L'Allemagne indexe aussi cette stratégie énergétique de l'hydrogène sur des partenariats stratégiques avec des États frontières de l'Union européenne. Parmi eux, l'Ukraine et le Maroc font à la fois partie des stratégies allemandes de développement de l'hydrogène et des stratégies communautaires.*

*L'objectif est de construire de large capacité d'électrolyse dans ces deux états aux frontières de l'UE, de sorte à bénéficier de la décarbonation de*

*certains de leurs secteurs et ainsi de favoriser l'accession de leurs productions au marché européen.*

Cette dernière question n'est pas spécifique à l'hydrogène (voir le débat sur les composés des batteries, des panneaux photovoltaïques et éoliennes, des terres rares au lithium en passant par le cobalt). De même l'hydrogène revêt un caractère stratégique. Les promoteurs de l'hydrogène prêchent sa contribution à un bien public mondial : la décarbonation énergétique. Mais il est tout sauf certain qu'une solution multilatérale soit à portée de main, d'autant que les enjeux industriels sont vifs. Alors que la politique climatique se nimbe parfois de positionnements diplomatiques, les batailles de l'hydrogène ne font peut-être que commencer.

**L'hydrogène contribuera au lent changement de perspective de l'écologie : en parallèle de la question systémique des transitions-trajectoires, émergera non pas le retour de la question micro-économique (formation de prix sur des marchés), mais celle de la politique macro-économique des ressources naturelles, pouvant englober de larges questions, allant d'une comptabilité nationale des ressources à une géostratégie des ressources.**

**Questions enfin éminemment sociales, écologiques. Avec l'avènement de l'hydrogène, le monde bascule d'un degré de plus dans l'anthropocène.**

**CONCLUSION – Penser non pas en termes « d'économie hydrogène », mais de critères d'évaluation de stratégies hydrogène territorialisées**

« Les » hydrogènes ouvrent des questions immenses. Il n'y a lieu ni de s'en émouvoir ni de s'en affoler, mais il n'est que temps de penser les multiples facettes de ce composé à la fois chimique, industriel, et brique énergétique, territoriale et finalement politique, pour envisager un écosystème hydrogène vraiment durable.

Cette note d'analyse vise à sérier un certain nombre de questions de politique publique informées par des éléments technico-économiques, préalable essentiel à une question tout aussi essentielle : l'appropriation de ce débat technique par les territoires et la société civile dans son ensemble.

*La condition de succès pour que les stratégies hydrogènes contribuent à la décarbonation internationale et au respect de l'objectif mondial des 2°C est bien de qualifier correctement leurs contributions. A ce titre, l'évaluation des usages de l'hydrogène, comme celle de la durabilité des filières, doivent être prioritaire.*

*Nous proposons donc quatre critères d'évaluation de la filière hydrogène au niveau mondial en général, et de la diversité des stratégies territoriales en particulier :*

1. *L'industrie ou l'usage considéré doit faire partie des cibles industrielles prioritaires pour le territoire considéré après 2050. (condition inter-usage)*
2. *Pour un usage donné, l'hydrogène, y compris décarboné, présente à l'horizon 2035 des rendements satisfaisants par rapport à d'autres solutions. (condition inter-technologie)*
3. *Sur le temps long, l'approvisionnement en hydrogène doit être assuré et décarboné (condition systémique de long terme)*
4. *Le secteur doit être en mesure de construire des expertises et des financements dès 2025 à 2030 selon es segments afin de ne pas dépendre des subventions publiques (condition systémique transitoire)*

*Ces quatre critères amènent à considérer que l'hydrogène doit encore démontrer les conditions de sa contribution comme l'une des solutions technologiques au changement climatique, aidant à décarboner certains usages énergétiques que l'on considère nécessaires pour un territoire aujourd'hui et une fois que ce territoire n'utilisera plus de combustible fossile ni pour sa production ni pour ses importations.*

Ces discussions doivent aussi concerner les citoyens, sur les valeurs que véhiculent ce « vecteur énergétique », avec une vraie discussion démocratique à toutes les échelles. L'Europe peut être ce laboratoire des valeurs de l'H2 où une industrie se structure, à condition de pas mécaniquement supposer un passage de l'industrie aux « marchés » et aux commodités, passage qui ignorerait la diversité des territoires, des stratégies hydrogène et des transitions. La fin de la pensée par les "commodités", qui allaient de soi au XXème siècle, inaugure une entrée de plain-pied dans le XXIème.