

0/02/2021 17:25

Consommation d'énergie pour produire 1 kg d'hydrogène ? Restitution d'énergie d'un kilogramme d'hydrogène : sous forme électrique dans une pile à combustible, sous forme mécanique dans un moteur thermique, sous forme chaleur dans la combustion ?

+9 15 votes

1 Commentaire :

10/02/2021 18:49

65 kWh pour produire 1 kg d'hydrogène vert par électrolyse de l'eau et le comprimer à 700 bars. Et une voiture électrique à hydrogène parcourt 100 km avec 1kg d'hydrogène. Source wikipedia

GB : S'agissant d'un vecteur énergétique, ce qu'est bien l'hydrogène, il faut bien distinguer le contenu énergétique qui est bien de 33 kWh/kg, de l'énergie dépensée pour le produire et le délivrer sous une forme prête à l'usage final. Pour la production par électrolyse d'un kg il faut bien en gros dépenser 50 kWh, à quoi il faut effectivement ajouter le coût énergétique de la compression à 700 bars pour l'utilisation dans un véhicule.

10/02/2021 18:44

Perspectives de l'hydrogène "bleu" ? Pourquoi en parle-t-on si peu alors qu'il peut être moins carboné -selon l'origine de l'électricité- et est moins cher que l'hydrogène "vert" ?

+9 9 votes

GB : Remarque préliminaire : je préférerais éviter toute vision colorée et que l'on ne parle que d'hydrogène carboné (pratiquement le seul actuellement) ou d'hydrogène décarboné. Différents procédés de captation puis séquestration du carbone dans la production d'hydrogène par vaporeformage, sont encore testés dans des démonstrateurs, mais leur déploiement à grande échelle ne se fera pas avant une décennie. En principe le coût final resterait pour l'instant plus bas que celui de la production par électrolyse. Ref. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>

10/02/2021 19:04

Ne serait-il pas intéressant de raisonner en terme d'ordre de grandeur des capacités de production des renouvelables et non de prix au MWh ? Car même si elles ont beaucoup baissé mais qu'il faut couvrir l'atlantique d'éoliennes pour substituer la production par les énergies fossiles, on n'aurait pas tellement avancé sur la question de la décarbonisation de nos énergies... Car l'investissement sera impossible à faire.

Nonobstant l'utilisation des ressources par les renouvelables (éolien, solaire etc.)

+9 11 votes

GB : Complètement d'accord. Le coût n'est certainement pas le seul critère. Compte tenu des énormes quantités de ressources fossiles à substituer, il faut effectivement prendre en compte les potentiels de ressources renouvelable. Mais trouver des estimations fiables de ces potentiels est délicate car celles des tenants du 100% renouvelables sont clairement surestimées. Elles ne prennent pas suffisamment en compte l'inhomogénéité dans la qualité des ressources. Or il existe bien un critère pour la mesurer, c'est l'EROI (Energy Return on Invested) ou taux de retour en énergie. Vous trouverez dans le tableau ci-dessous des estimations sérieusement faites pour l'éolien et le solaire PV, tirées de deux articles récents :

E. Dupont, R. Koppelaar, H. Jeanmart, "Global available solar energy under physical and energy return on investment constraints", Applied Energy 257 (2020) 113968.

(<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113968>)

E. Dupont, R. Koppelaar, H. Jeanmart, "Global available wind energy with physical and energy return on investment constraints", Applied Energy 209 (2018) 322-338.

(<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.085>).

Pour la France et l'Allemagne je ne garantis pas encore les estimations recueillies.

Énergie	FR 2019	FR pot.	DE 2019	DE pot.	UE 2019	UE pot.	Monde 2019	Monde pot.
Solaire PV	12 TWh 10 GWc	100 TWh ?	46,4 TWh (47,5 GWc)	150 TWh ??	132 TWh (134 GWc)	(EROI>9) 0 ! (EROI>4) 2780 TWh	724 TWh (630 GWc)	(EROI>9) 51150TWh
Éolien onshore	31 TWh (17 GW)	90 TWh	101 TWh (53 GW)	200 TWh	320 TWh	880 (EROI>12)		13622 (EROI>12)
Éolien offshore	0	96 TWh	24,7 (8 GW)	125 TWh	60 TWh	2420 (40 GW)		(EROI>12) 13900
Total éolien	31 TWh	186 TWh	125,7 TWh	325 TWh ??	380 TWh	3300 TWh (EROI>12)	1430 TWh	27500 TWh
Total	43 TWh	286 TWh	172 TWh	141 TWh	512 TWh	6085 TWh	2154 TWh	78672
Bio-masse	7,7 TWh	15 TWh	44 TWh		140 TWh			
Total EnR	51 TWh	301 TWh	216 TWh		652 TWh			
Cons. fossiles	1200 TWh		3100 TWh		15000 TWh		130 PWh	
Energie finale	1800 TWh		2800 TWh		13500 TWh		120 PWh	
électricité	480 TWh	770	570 TWh	910	3330 TWh	5500	22500 TWh	???

10/02/2021 18:19

Quid de remplacer le coke dans les hauts fourneaux pour réduire le minerai de fer car ça fait moins de CO₂. L'acier c'est 4% de CO₂ cad la flotte mondiale des camions)

+6 8 votes

GB : La réduction directe par hydrogène est de fait une des applications dont le développement à grande échelle est prévu pour décarboner un poste important des émissions de CO₂ de l'industrie. Actuellement au niveau mondial 4 MtH₂/an, 2030 8 MtH₂/an, à long terme 62 MtH₂/an. (cf. pour le projet Hybrit : <https://www.hybritdevelopment.se/en/>)

10/02/2021 18:27

Pourriez faire part des projets d'Arcelor Mittal pour substituer l'H₂ au charbon dans les hauts fourneaux ?

+5 8 votes

GB : <https://corporate.arcelormittal.com/media/case-studies/hydrogen-based-steelmaking-to-begin-in-hamburg>
<https://france.arcelormittal.com/news/2020/oct/arcelormittal-europe-produira-de-acier-vert-a-partir-de-2020.aspx>

10/02/2021 18:56

N'est-il pas trompeur de M. Philibert de comparer la simple efficacité de la chaîne électrique avec la chaîne thermique sans inclure l'efficacité (très faible) de la conversion d'électricité en hydrogène et retour ?

+5 9 votes

GB : Pour le rendement du P2P, je peux personnellement renvoyer à mes slides et aux évaluations sérieuses de Georges Sapy

Un petit calcul de coin de table peut un peu éclairer ce sujet :

Une question simple : imaginons qu'on a du 100% EnR, et qu'il faut pouvoir fournir de l'électricité au réseau avec de l'hydrogène stocké 3 jours d'hiver sans vent, soit environ 5 TWh.

Cela représente une puissance de $5000/(3*24) = 70$ GW. Il faut avoir à sa disposition 70 centrales à cycle combiné gaz de 1 GW, et ça consommerait en gros $150\ 000\ \text{tH}_2/0.6 = 250\ 000$ tonnes de H₂ (puisque un million de tonnes cela représente 35 TWh d'énergie que l'on peut convertir en électricité avec un rendement de l'ordre de 60% dans un cycle combiné).

Cet exemple permet de faire comprendre la nécessité avec les ENR d'avoir un double système et que la puissance du système thermique de backup doit toujours correspondre à la puissance totale. En effet la durée de l'interruption n'intervient pas. Que l'on choisisse trois jours ou deux ou quatre, la puissance totale, c'est-à-dire le débit total d'énergie à assurer ne change pas. On retrouve naturellement la puissance totale !!

En tout cas cette contrainte de débit à assurer explique bien pourquoi les allemands n'ont pas pu réduire la puissance de centrales thermiques à flamme.

Oui, mais les batteries ? L'énergie contenues dans toutes les batteries du monde, toutes espèces confondues, est de l'ordre de 1 TWh ...

Commentaire plus général : Loin des promesses à la Jeremy Rifkin de décentralisation et d'autonomie, le 100% renouvelable ne fonctionne que si l'on maintient en doublure un système coordonné et à gestion centralisé ! C'est le même problème à petite échelle avec les promesses trompeuses d'auto-consommation. Cela ne fonctionne que si "l'auto-consommateur" reste connecté au réseau !

Il est très intéressant de se reporter au dernier rapport RTE, préparé en vue de la consultation publique pour voir comment ils abordent le problème de la gestion du 100% renouvelables. (<https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/etude-pour-un-systeme-electrique-forte-part-denergies-renouvelables-en-france-lhorizon-2050>)

10/02/2021 19:02

Il faudrait montrer les coûts sur toutes la chaîne, stockage, gestion de l'intermittence, usage final, dans le transport, (pourquoi doubler le poids des véhicules...) etc

+5 7 votes

GB : Idem question précédente. Je vous renvoie à mes slides, ainsi qu'à Voir étude récente du Forschungszentrums Jülich

(https://juser.fzjuelich.de/record/842477/files/Energie_Umwelt_408_NEU.pdf)

10/02/2021 19:03

Pouvez-vous mentionner les pressions sur les ressources naturelles ? (Plus de 7 tonnes de cuivre par MWh d'éolienne offshore installé). Est-il raisonnable d'imaginer que nous avons assez de cuivre ?

+5 7 votes

GB : La pression sur les ressources naturelles est en effet un aspect crucial à prendre en considération. Les sources à faible densité énergétique, même si leur flux est inépuisable, demandent naturellement beaucoup plus de matériaux pour leur captation que des sources très concentrées. C'est ainsi globalement de l'ordre d'un facteur 5 à 12 entre renouvelables et nucléaire. Une estimation fiable et rapide donne directement un rapport 5 entre éolienne et nucléaire pour le béton et l'acier, pour la même quantité d'énergie produite. Cf. ci-dessous Une référence : Olivier Vidal et al., Metals for a low-carbon society, Nature Geoscience 6, (2013) 894-896

Comparaison factuelle (sans parti pris) : Fessenheim vs. éoliennes

- Centrale de Fessenheim: puissance 1800 MW pour une production annuelle d'électricité correspondant à un facteur de charge de 75% --> $1800 \times 0,75 = 1350 \text{ MW}$
- Il faudrait pour obtenir la même production d'électricité, avec des éoliennes de 2 MW chacune, mais un facteur de charge de 22,5% --> $1350 / (2 \times 0,225) = 3000$ éoliennes
- Le coût unitaire des éoliennes doit être de l'ordre de 2 à 3 millions d'euros, soit au total $3000 \times 3 = 9$ Milliards d'euros... comparable au prix d'un EPR
- Pour le démantèlement de ces 3000 éoliennes, (il faut compter de 50 à 200 k€/MW), cela coûterait de $(100 \text{ à } 400) \times 3000 = 0,3 \text{ à } 1,2$ Milliard d'euros...

Fessenheim vs. Éoliennes : le problème des ressources minérales

- Pour une seule éolienne il faut mobiliser ~150 t d'acier et 400 m³ de béton, soit pour 3000 éoliennes $150 \times 3000 = 450\,000$ tonnes d'acier et 1,2 million de m³ de béton, à comparer aux 100 000 tonnes d'acier et 300 000 m³ de béton d'un réacteur EPR de 1600 MW (~quatre à cinq fois moins) → **Pb des ressources à mobiliser pour capter les énergies de flux**

Les réacteurs nucléaires actuels **ne sont pas non plus la panacée pour sortir des fossiles**. Mais à court terme ils nous permettent, en France, d'avoir une électricité décarbonisée à plus de 90%.

10/02/2021 19:03

30% de facteur de capacité pour que l'hydrogène par électrolyse soit rentable : c'est supérieur au facteur de charge du solaire et de l'éolien : dans ce cas, cela ne remet -il pas en cause la viabilité de l'hydrogène vert (i.e. fait à partir d'ENR)

+5 5 votes

GB : Ce problème de facteur de charge est essentiel dans la formation non seulement du coût final, par le rôle des coûts d'installation et de maintenance (OPEX+APEX) mais également dans la consommation de ressources. Plus le facteur de charge est bas et plus les électrolyseurs doivent être surdimensionnés, car sinon ils seront incapables d'absorber les pics de production. En gros la puissance des électrolyseurs doit être ajustée à la puissance crête de la source renouvelable. Ce qui veut dire qu'en France des électrolyseurs couplés à du solaire PV devraient être pratiquement surdimensionnés d'un facteur dix ...

Je vous livre ci-dessous une petite estimation de coin de table en imaginant un couplage éolienne et solaire PV pour augmenter le facteur de charge des électrolyseurs :

Pourquoi la production d'hydrogène à partir des renouvelables serait-elle la plus coûteuse ? Ne pourrait-on pas faire usage d'un stockage diurne intermédiaire (par batteries), pour augmenter le temps d'utilisation des électrolyseurs en combinant éolien et solaire ? Lorsque je dis que la production d'hydrogène à partir d'électricité produite par les renouvelables sera toujours la plus coûteuse, (<https://theconversation.com/debat-lhydrogene-produit-par-les-seules-renouvelables-ni-possible-ni-durable-148663>), c'est bien parce que la suggestion, de bon sens au départ, de stocker dans des batteries le jour pour restituer la nuit aux électrolyseurs afin d'augmenter le nombre d'heures de fonctionnement des électrolyseurs, conduit uniquement à augmenter les dépenses en capital (immobilisation de matériaux), mais sans rien gagner sur le prix au kg de l'hydrogène produit. Il y a juste la satisfaction de ne pas avoir laissé perdre une partie du flux solaire gratuit, mais à quel prix ! Il vaut mieux dans ce cas accepter de ne faire fonctionner les électrolyseurs qu'un petit nombre d'heures par an. Petit calcul de coin de table pour en éclairer les raisons :

- si on alimente un électrolyseur de 2 MW (coût actuel au minimum 2,5 millions d'euros) à partir d'une éolienne de 2 MW de puissance, (coût actuel entre 2,5 et 3 millions d'euros, à partir des données de l'ADEME, soit environ 1300 à 1500 euros/kW), avec un facteur de charge d'environ 20% on va lui fournir de l'ordre de 3,5 GWh, soit de quoi produire 70 tonnes d'hydrogène par an (dont le coût de production actuel par vaporeformage du méthane est d'environ $1,5 \text{ €} \times 70\,000 = 105\,000$ euros), avec un investissement total de l'ordre de 5 millions d'euros ... Alors qu'en alimentant le même électrolyseur à partir du réseau il pourrait produire à pleine charge (environ 8000 h par an) environ 320 t d'hydrogène.

- si, pour suivre l'idée du stockage tampon par batteries, on souhaite n'utiliser que les crêtes de production de l'éolienne (soit environ 900 h de fonctionnement par an, c'est-à-dire environ 10% du

temps au lieu des 20% correspondant au facteur de charge maximum), et coupler le même électrolyseur à un système de batteries alimentées dans la journée par des panneaux photovoltaïques, alors quel investissement supplémentaire faut-il ? En tablant sur un facteur de charge de l'ordre de 10%, les panneaux PV devraient pouvoir fournir de quoi stocker puis déstocker, avec un débit maximum de 2 MW, un maximum de l'ordre de 20 MWh. Pour cela il faudrait tabler sur un millier de batteries type batterie de véhicule électrique, soit environ 250 tonne de batteries et un coût d'investissement de nouveau de l'ordre de (100 euro/kWh) 2,5 millions d'euros. Ces batteries devraient être alimentées par environ 6 MWh de panneaux PV (pour avoir à l'esprit un élément de comparaison la centrale de Toul-Rosières c'est 115 MWh et un investissement de 430 Millions d'euros, d'après Wikipédia). Ce qui nous ramène de nouveau au chiffre magique d'environ 2,5 millions d'euros.

- Ne tournons pas autour du pot, et poursuivons la comparaison avec l'alimentation continue du même électrolyseur de 2 MW de capacité à partir du réseau. Cette fois l'électrolyseur pourrait fournir non pas 70 tonnes d'hydrogène par an, mais 340 tonnes. Considérons que les 17 GWh (au lieu des 3,5 GWh fournis par notre éolienne de 2 MW et qui permettraient la production de 70 tonnes d'hydrogène), tirés du réseau proviennent d'un EPR de 1650 MW au coût "pharaonique" de 12 Milliards d'euros. Quel est le montant de l'investissement ramené à notre électrolyseur de 2 MW ? cela fait $12\ 000 / (1650 / 2) = 14,54$ millions d'euros, mais pour produire 340 t d'hydrogène au lieu de 70 t, c'est-à-dire 4,86 fois plus. Comparons à la louche les montants d'investissement pour les deux situations :

- éolienne 2 MW (2,5 millions) + électrolyseur 2 MW (2,5 millions) --> 70 t de H₂/an ==> $(5000 / 70) = 71$ euros/kg

- EPR ($12\ 000 / 825 = 14,5$ millions) + électrolyseur 2 MW (2,5 millions) --> 340 t de H₂/an ==> $(17\ 000 / 340) = 50$ euros/kg

Toujours à la louche, en tablant sur une durée de vie des installations de 30 ans pour l'éolien cela fait 71/30 soit 2,3 euros/kg pour l'investissement, alors que pour un EPR dont la durée de vie peut atteindre 50 ans on descendrait jusqu'à 1 euro/kg. Ce qui est bien en accord avec les estimations de RTE et l'IEA, qui donnent entre 2,7 et 3 €/kg de coût total pour l'hydrogène produit à partir de l'électricité du réseau et entre 7,3 et 9 €/kg pour celui produit à partir des ENR. Petit rappel utile : pour le vaporeformage c'est seulement 1,5 €/kg (cf. les 105 000 euros mentionnés précédemment pour les 70 t), c'est donc bien la solution largement la moins coûteuse, et c'est bien là le hic !!

Conclusion : lorsque j'écris plus coûteux c'est naturellement par rapport au "vilain" nucléaire, qui pour moi est absolument incontournable, même dans son état de développement actuel. Il faut bien sûr développer les réacteurs de 4ème génération et l'électrolyse à haute température ... en attendant la fusion, mais ce n'est pas encore pour tout de suite. Le refus du nucléaire ne peut nous conduire qu'à l'effondrement et aux catastrophes. Donc bien sûr on peut augmenter la durée de fonctionnement des électrolyseurs, mais en doublant l'investissement en passant de deux fois 2,5 millions à quatre fois 2,5 millions. Sans parler de la quantité de matières minérales mobilisées (béton, acier, métaux et terres rares, etc..). Voilà pourquoi j'écris qu'avec les ENR ce sera toujours plus coûteux.

- Sur la photosynthèse, y compris artificielle, et la production de biomasse actuelle et future, il n'y aura en dépit des progrès technologiques, pas de miracle car il s'agit d'une énergie diffuse. Les rendements ne pourront de toutes façons jamais atteindre ceux du photovoltaïque, dont on connaît déjà les limitations en termes de surfaces à mobiliser. (je dispose de beaucoup de données là-dessus, si cela intéresse). - Alors bien sûr on peut sortir l'arme fatale du prix du carbone, mais alors il s'agit simplement du remède de cheval qui tue le malade. Comment maintenir notre société en état de marche (services, infrastructures, etc..) et garantir un accès équitable à l'énergie, si les coûts deviennent prohibitifs. N'oublions pas la raison fondamentale pour laquelle nous

sommes *addict* aux combustibles fossiles. Ce n'est pas uniquement à cause d'actions maléfiques de méchants lobbies c'est avant tout parce qu'ils offrent encore une énergie abondante et bon marché.

10/02/2021 19:14

Quel est le feedback du projet MYRTE en Corse (Solaire + H₂) qui est en production depuis 2012 ?
+5 5 votes

GB : Je ne dispose pas de données là-dessus, mais ce serait vraiment utile de connaître le retour d'expérience.

10/02/2021 19:15

Quid des coûts de transports et de stockage qui doivent faire monter très lourdement l'addition
+5 5 votes

GB : Cela dépend de l'usage envisagé. Pour l'utilisation dans la mobilité légère il ne faut pas sous-estimer le problème du réseau de distribution. Je renvoie de nouveau au rapport du centre de recherches de Jülich :

https://user.fzjuelich.de/record/842477/files/Energie_Umwelt_408_NEU.pdf

L'impact est évident moins lourd pour la mobilité lourde et les usages industriels.

10/02/2021 17:31

Où en est-on sur le stockage de l'hydrogène sous forme d'hydrure de silice développé par HySiLab?
+5 9 votes

GB : Aucune idée. Je vais me renseigner.

10/02/2021 18:26

Quid de l'explosivité de l'hydrogène, dont la plage est beaucoup plus large que celle du GPL ?
+4 8 votes

GB : Il faudra certainement des réglementations particulières, mais aucun gaz combustible n'est sans risque.

10/02/2021 18:38

Energie durable et pas chère : possible pour 8 milliards d'habitants et un PIB de 25000 EUR annuel par habitants?

+4 6 votes

GB : C'est une question à poser à un économiste ...

10/02/2021 18:43

1 commentaire

Existe-t-il de la production d'H₂ bleu sous forme commerciale, ou est-ce encore seulement au stade de la R&D ?

+4 6 votes

1 commentaire :

10/02/2021 19:21

Oui, H₂ à l'échelle industrielle pour produire de l'ammoniac (NH₃), source d'azote (i.e. engrais) dans l'agriculture

GB : C'est exact, mais pas encore de production massive.

10/02/2021 18:43

Y a-t-il espoir d'améliorer le rendement de l'électrolyse de l'eau et des piles à combustible ?

Actuellement, combiné, on est à 30-35% donc un véhicule électrique à hydrogène alimenté en hydrogène vert consomme 3 fois plus qu'un véhicule électrique à batterie.

+4 4 votes

GB : Le problème du rendement global c'est qu'il est obtenu en multipliant les rendements d'une série de processus. L'élévation du rendement de l'électrolyse (de 70% pour l'électrolyse alcaline à 90% (au stade démonstrateur) pour l'électrolyse à haute température ne suffira pas à augmenter énormément le rendement global. Cf. slides

10/02/2021 19:00

Le problème du coût des ENR n'est-il pas le fait que l'on ne prenne pas en compte le coût de la couverture de l'intermittence ?

+4 4 votes

GB : Absolument. C'est d'ailleurs aussi la raison pour laquelle on observe de grandes divergences dans les évaluations de taux de retour en énergie du solaire PV. Ces divergences viennent directement de la prise en compte ou non du coût de stockage. Comme l'offre ne suit pas la demande, il faut stocker. C'est justement pourquoi l'hydrogène est considéré par certains comme la solution miracle pour faciliter le développement des renouvelables non pilotables.

10/02/2021 19:18

Quelle place pour l'H₂ 'turquoise' produit par pyrolyse du méthane dans cette transition énergétique?

+4 6 votes

GB : Cette technologie est encore au stade du laboratoire et je n'en sais pas davantage que ce qui est indiqué dans le rapport de l'IEA (The future of Hydrogen). En tous cas voici les références du rapport :

-Bazzanella, A. M. and F. Ausfelder (2017), "Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry", DECHEMA Technology Study,

https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapier/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry-p-20002750.pdf

-Dagle, R. et al. (2017), "An overview of natural gas conversion technologies for co-production of hydrogen and value-added solid carbon products", ANL-17/11; PNNL-26726, US Department of Energy.

-Fulcheri, L. (2018), "Direct decarbonization of methane by thermal plasma for the co-production of hydrogen and carbon nanostructures", 15th International High-Tech Plasma Processes Conference, Toulouse, 2–6 July 2018.

10/02/2021 19:34

Bonsoir. J'aimerais revenir au sujet de la conférence : quels sont les usages adaptés à l'hydrogène ? Transport (si oui, lequel ?) ? Chauffage ? Stockage ? Etc.

+4 4 votes

GB : Mais il semble qu'il manque les usages essentiels et prioritaires, c'est-à-dire les usages industriels ! Cf. slides

10/02/2021 18:25

Quels sont les ordres de grandeur en jeu si on remplace les moteurs des camions par des moteurs à hydrogène (soit 40 millions de tonnes de pétrole en France): doubler , tripler ?? la production électrique en France?

+3 9 votes

GB : Petite règle de trois : 40 Mtep (465 TWh) soit en gros 14 MtH₂. Par électrolyse cela requiert environ (50 Twh/Mtonne) 700 TWh d'énergie électrique ... Mais petite remarque : Ces 40 Mtep sont probablement un peu surestimés, car en prenant 600000 poids lourds effectuant 160000km/an et consommant chacun en moyenne 33l/100km, cela fait 32 Mtep, soit environ 10 MtH₂ et en gros 500 TWh d'électricité, ce qui est de l'ordre tout de même de la consommation annuelle d'électricité ...

10/02/2021 19:00

Les chiffres des coûts présentés (PV, éolien, nucléaire) comprennent-ils les subventions ?

+3 5 votes

GB : Le problème du coût de l'électricité mériterait un long développement. Voici le lien vers une très bonne présentation sur le sujet :

https://www.sfpnet.fr/uploads/tiny_mce/PDF/CEE/PERCEBOIS%20J%20Colloque%2019%20janvier%2019%20-%20VFC.pdf

Ainsi qu'un article des mêmes auteurs : Jacques Percebois & Stanislas Pommeret, « Storage cost induced by a large substitution of nuclear by intermittent renewable energies: The French case » (<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111067>).

10/02/2021 19:03

M. Bonhomme annonce que 1kg d'H₂ produit 33kWh d'énergie. Est-ce de l'énergie thermique ou électrique ou un cumul optimisé des deux ?

+3 7 votes

GB : Attention je n'ai pas dit produit, mais contient ! Cf. réponse à la première question. L'énergie récupérable à partir d'une certaine quantité d'hydrogène dépend du processus de conversion et de la forme d'énergie finale. Si vous brûlez l'hydrogène vous allez récupérer la totalité sous forme de chaleur. Si vous convertissez en électricité dans une pile à combustible le rendement est de l'ordre de 60%.

10/02/2021 17:33

Etude avec des données sur l'hydrogène, notamment pour sa production selon différentes filières <https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>

+2 2 votes

GB : Ce n'est pas une question, mais un commentaire. Merci pour le lien.

10/02/2021 18:33

Pourriez-vous donner le taux de restitution Power to Power du vecteur hydrogène (aujourd'hui en mode industriel) et les principales améliorations attendues autre que celle du Liten du CEA

+2 2 votes

GB : Cf. slides avec les estimations de Georges Sapy. En résumé : rendements globaux et perspectives (régimes opérationnels) du Power-to-Power, hydrogène seul, - voie pile à combustible 28% → 57%, - voie cycle combiné à gaz 30% → 44%. Avec hydrogène + méthanation, et cycle combiné à gaz 19% → 37%.

10/02/2021 18:42

Quel est le prix CO₂ actuel et projeté à partir duquel on obtient l'économicité (sans subsides) des projets clean H₂ pour un usage industriel ?

+2 4 votes

GB : Parler de prix actuel du CO₂ est un peu simpliste, car il existe plusieurs modes de taxations (quotas d'émissions, taxe carbone, compensation carbone), cf. par exemple <https://energiesdev.fr/prix-carbone-co2/>). Le prix actuel est de l'ordre de 25 €/t, alors que les coûts de capture et séquestration du CO₂ sont estimés de 10 à 130 €/t toutes filières confondues. Je peux renvoyer de nouveau à l'article de Jacques Percebois & Stanislas Pommeret, « Storage cost induced by a large substitution of nuclear by intermittent renewable energies: The French case » (<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111067>).

10/02/2021 18:47

Les piles à combustible nécessitent-elles toujours du platine ? Est-ce un frein au développement de la filière compte-tenu de la rareté de ce métal ?

+2 2 votes

GB : Les piles à combustible à membrane, technologie analogue à celle des électrolyseurs PEM, nécessitent effectivement toujours du platine. Ce n'est pas le cas des

10/02/2021 19:14

Que pensez-vous des chiffres d'émissions CO₂ ? nucléaire français 6g CO₂ / kWh contre 13 pour l'éolien, 45 pour le solaire et 440 pour le gaz ? pourquoi produire de l'hydrogène avec des énergies renouvelables intermittentes et non par du nucléaire ? ne serait pas à la fois plus compétitif et plus sobre en carbone ?

+2 4 votes

GB : Voici les chiffres :

- Eolien terrestre : taux d'émission de 14,1 g CO₂ eq / kWh
- Eolien en mer : taux d'émission de 15,6 g CO₂ eq / kWh
- Solaire photovoltaïque : taux d'émission de 55 g CO₂ eq / kWh
- Nucléaire 12 g CO₂ eq/kWh, (estimations du GIEC), 6 g CO₂ eq/kWh en France (données de l'ADEME)
- Centrales thermiques au gaz 490 g CO₂ eq/kWh
- Centrales thermiques au charbon 820 g CO₂ eq/kWh.

Les chiffres d'émission des différentes sources d'électricité décarbonées renvoient directement aux quantités de ressources minérales mobilisées pour leur mise en œuvre, qui dépendent de leur intensité. La hiérarchie des émissions n'est pas surprenante, avec le maximum pour le solaire, la plus diffuse, et le minimum pour le nucléaire, la plus concentrée.

Mais ce n'est pas le seul critère à prendre en compte. Il faut s'assurer de la disponibilité des ressources. C'est là à mon avis que le nucléaire est incontournable, compte tenu des énormes besoins en électricité qui seront nécessaires pour décarboner notre économie, d'autant qu'il faut raisonner au niveau mondial avec une démographie croissante et des pays aspirant justement au développement.

10/02/2021 18:56

Dire que 100% du renouvelable est transformé en électricité est une valeur théorique. il y a des pertes car il faut du stockage.

+1 3 votes

GB : Pour ma part je n'aurais jamais avancé une telle affirmation ! Bien entendu, seule une fraction du flux solaire ou éolien incident est transformée de fait directement en énergie électrique. L'énorme conséquence de la variabilité des renouvelables et de l'inadaptation entre offre et demande qui en résulte, est la génération tout au long de l'année de surplus qui ne peuvent pas actuellement être stockés. L'Allemagne en 2016 a ainsi généré 50 TWh de surplus qui ont été exportés à prix parfois négatifs ! Pourra-t-on stocker ces surplus en produisant de l'hydrogène et les valoriser à coût compétitif ? Ou bien accepter le gaspillage ?

10/02/2021 18:56

EnR ==> Elect = 100% de rendement ? toute l'énergie potentielle est convertie en électricité dans un barrage ? Les panneaux photovoltaïque sont à 100% de rendement ?

+1 5 votes

1 commentaire :

10/02/2021 18:58

Oui lorsqu'il y a du soleil... ou du vent pour l'éolien...

GB : Le flux étant effectivement inépuisable, il est un peu facile de dire que le rendement est de 100%. Le problème est de pouvoir utiliser cette électricité non pilotable et essentiellement volatile. Cf. plus haut.

10/02/2021 18:57

Quid de la production électrique nécessaire pour répondre au besoin créé par les différents plans hydrogène de plusieurs dizaines de GW d'électrolyse ? Eolien, solaire, nucléaire ? Production centralisée, distribuée ?

+1 3 votes

GB : Les objectifs à terme de production d'hydrogène par électrolyse du plan hydrogène français et européen, avec l'ambition de couvrir respectivement 20% et 24% de la consommation d'énergie finale, conduiraient à un doublement de la consommation d'électricité.

10/02/2021 19:06

La comparaison des coûts de production de l'électricité entre les fossiles/nucléaire/ENR est faite sur quelle base ? De quel coût parle ton ? variable ? complet ? équivalent du "puits à la roue"

+1 1 vote

GB : Je renvoie de nouveau aux travaux de Jacques Percebois et Stanislas Pommeret.

<https://www.sfpnet.fr/uploads/tinyce/PDF/CEE/PERCEBOIS%20J%20Colloque%2019%20janvier%2019%20-%20VFC.pdf>

Ainsi qu'un article des mêmes auteurs : Jacques Percebois & Stanislas Pommeret, « Storage cost induced by a large substitution of nuclear by intermittent renewable energies: The French case » (<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111067>).

10/02/2021 19:08

Le prix du kWh électrique intermittent ne peut pas être comparé avec le kWh électrique quasi permanent : ce n'est pas le même bien

+1 3 votes

GB : Ce n'est pas une question. Bien sûr ce qui compte est la valeur d'usage. On pourrait faire la comparaison avec les situations de surproductions de fruits et légumes.

10/02/2021 19:25

Peut-on avoir un point clair sur les différents avantages et inconvénients des 3 principales technologies d'électrolyse?

+1 1 vote

GB : cf. Slides de ma présentation.

10/02/2021 19:27

Par renouvelable, on ne parle que d'éolien et de PV, mais on oublie la biomasse et nos propres déchets. La nature nous apporte chaque année en France près de 1000TWh d'énergie sans concurrence d'usage. La biomasse est incomparablement moins chère que l'électricité (de 20€/MWh résidus forestier, à <0 pour des CSR. Par thermolyse avec un rendement de 70% on sait produire de l'hydrogène à prix comparable au reformage du méthane fossile !

+1 5 votes

10/02/2021 19:27

Dans le cadre d'une production de H2 par électrolyse, on a aussi une production d'O2 qui peut être valorisée. Ce point est-il pris en compte dans les modèles de coûts ?

+1 1 vote

GB : Bien sûr, pourquoi pas, mais ne surestimons pas les ressources disponibles au regard des immenses besoins ! Combien de millions de tonnes d'hydrogène peut-on produire chaque année en France à partir de la biomasse, sans pénaliser les usages actuels ?

10/02/2021 19:36

Quel investissement serait acceptable, en ordre de grandeur, pour avoir du H2 décarboné en substitution de l'électricité française ? Ne perdons pas de vue que qu'en France l'électricité est déjà

(très ?) bas carbone alors que des efforts très importants pour décarboner le transport, l'agriculture et l'industrie sont indispensables pour réduire nos émissions de GES

+1 3 votes

GB : La question n'est pas clairement posée. Il ne s'agit pas de substituer l'hydrogène à l'électricité, mais de le substituer aux combustibles fossiles très majoritairement utilisés dans l'industrie, les bâtiments et presque exclusivement dans les transports.

10/02/2021 19:49

Le tout hydrogène n'est pas plus réaliste ni potentiellement renouvelable que le tout électrique ou le tout nucléaire. Seul un mixte plus large, adapté à chaque pays et usage permettra la décarbonation de nos usages

+1 3 votes

GB : C'est un commentaire. Attention à ne pas confondre source d'énergie primaire et vecteur énergétique. On ne peut pas parler de mix entre ressource primaire et vecteur énergétique.

10/02/2021 20:04

On parle d'ammoniac, que pensez-vous du e-méthanol ?

+1 1 vote

GB : Qu'entendez-vous par e-méthanol ? Bien sûr le méthanol mérite autant d'attention que l'ammoniac. Le premier objectif à partir de la production d'hydrogène décarboné serait déjà de produire tout l'ammoniac et le méthanol utilisés dans les usages industriels. Ceci demanderait au niveau mondial une quantité d'électricité estimée à 3000 TWh, c'est-à-dire environ 12% de toute la consommation électrique actuelle.

10/02/2021 18:40

Quelle vision prospective sur les applications du marché entre H₂ --> élec (P2G) et H₂ --> ammoniac/autres liquides ?

0 2 votes

GB : La première priorité devrait être à celle des usages industriels existant et en développement (sidérurgie, en particulier). Le P2G c'est à mon avis la dernière application et celle pour laquelle n'existe aucun modèle économique.

10/02/2021 18:54

1 commentaire

Hydrogène naturel et hydrogène issue des ENR, concurrence ou complémentarité ?

0 4 votes

1 commentaire :

10/02/2021 19:10

La molécule d'hydrogène n'existe pas à l'état naturel. L'atome d'hydrogène est toujours lié: H₂O, CH₄...

GB : C'est un commentaire. Et justement comme la molécule d'eau est (heureusement pour la vie !) très stable, il faut dépenser beaucoup d'énergie pour en extraire l'hydrogène.

10/02/2021 18:55

Connaissez-vous des documents de références synthétisant les niveaux de pureté nécessaires en fonction des usages ?

0 2 votes

GB : Pas présentement. Mais il s'agit d'un aspect important. Les piles à combustibles utilisées dans les transports demandent en particulier un niveau de pureté très élevé. Consultez éventuellement le site de l'ApHypac (<https://www.afhypac.org/documents/tout-savoir/>)

10/02/2021 19:02

L'éolien et le solaire sont tributaires de la fabrication des collecteurs, qui sont eux totalement mondialisés et produit grâce au charbon pour faire l'acier, le pétrole pour raffiner et transporter, le gaz pour le ciment et le béton de fondation, d'où son prix qui n'est que 5 à 10 fois plus cher au kWh
0 3 votes

GB : C'est une remarque pertinente, car en effet toutes les technologies mises en œuvre dans la production des capteurs (PV ou éoliennes) pour les renouvelables utilisent non seulement des ressources minérales mais aussi des combustibles fossiles.

10/02/2021 19:27

Quid du craquage de l'eau par thermolyse?

0 0 votes

GB : Un des avantages du procédé d'électrolyse à haute température est justement de réduire la quantité d'électricité nécessaire à la dissociation de la molécule d'eau (sous forme de vapeur à haute température) grâce à l'apport de chaleur.

10/02/2021 19:36

Le stockage d'énergie sous forme électrique (batterie) restera limité et limitant en terme de volume. Là où l'hydrogène pourra trouver sa place

0 2 votes

GB : C'est un commentaire. Oui, c'est la raison pour laquelle dans le domaine des transports la cible pourrait être d'abord la mobilité lourde.

10/02/2021 19:51

Quid du réseau de pipeline qui permet de transporter l'hydrogène facilement dans l'Europe ? le monde ?

0 0 votes

GB : Au-delà d'une concentration de 5-7% l'hydrogène ne peut pas être transporté dans les réseaux de gaz naturel actuels. Il faudrait donc développer de nouvelles infrastructures dédiées.

10/02/2021 19:52

On parle d'hydrogène, que pensez-vous de l'impact de l'hydrogène sur ce que l'on appelle "hydrogen economy" ? e.g. pile à combustibles

0 0 votes

GB : Quel est le sens de la question ? Si je me reporte à ce qu'écrit Jeremy Rifkin : « *L'ère du pétrole touche à sa fin ouvrant la voie d'une extraordinaire révolution économique. Un nouveau régime énergétique apparaît, susceptible de reconstruire la civilisation sur d'autres fondements. Si cette nouvelle technologie n'est pas abandonnée aux grands fournisseurs d'électricité, les piles à combustible permettront à chaque être humain de produire et même d'échanger sa propre électricité. L'ensemble de nos institutions économiques, politiques et sociales, ainsi que nos modes de vie s'en trouveraient transformés* », il me semble que l'économie hydrogène réelle ressemblerait peut à son utopie, car il ne pourra y avoir équité de distribution dans l'espace et lissage des variations temporelles sans construction massive de réseaux et de moyens de stockage. On peut déjà imaginer les flottes de navires nous apportant sous forme de méthanol ou d'ammoniac l'hydrogène produit par électrolyse dans les régions du monde plus ensoleillées que les nôtres.

10/02/2021 19:53

Rapport sur les bateaux utilisant du LNG (autre solution que du NH₃) : https://sea-lng.org/wp-content/uploads/2020/06/19-04-10_ts-SEA-LNG-and-SGMF-GHG-Analysis-of-LNG_Full_Report_v1.0.pdf

0 0 votes

GB : merci pour la référence.

10/02/2021 20:00

Merci Cedric : l'éléphant nucléaire en France est une souris face à la montagne de la neutralité carbone mondiale.

0 0 votes

GB : Il me semble que pour l'instant les deux souris sont de tailles comparables : En 2018 - électricité nucléaire 10,1%, solaire 2,14%, éolien 4,8%. Mais effectivement la neutralité carbone est une vraie montagne ! (L'électricité ne représente qu'environ 20% de la consommation finale d'énergie).

10/02/2021 20:15

Les matériaux ne sont pas chers car ils sont produits grâce au pétrole

0 0 votes

GB : Oui même si ce n'est pas le seul élément dans la formation du prix. Cf. une réponse plus haut sur les ressources naturelles.

10/02/2021 18:31

Pourriez faire part des delta H d'hydrogénation et restitution d'hydrogène pour la solution Hysilab à base d'hydrure de silicium. Nous pensons que la libération d'hydrogène endothermique limiterait la puissance faute d'apport suffisant de chaleur, qu'en est-il ?

-1 1 vote

GB : Je ne dispose pas d'informations sur ce procédé dont je ne connais que le vague principe par la page web : <https://hysilabs.com/>

10/02/2021 18:37

État des lieux de l'usage H₂ dans le domaine des drones aériens mais pas que...

-1 3 votes

GB : Aucune information là-dessus.

10/02/2021 19:03

Le jour où l'on bouclera le système sur lui-même et qu'on n'aura plus que de l'éolien et du solaire pour fabriquer les collecteurs d'énergie éolienne, on reparlera du prix de l'éolien.

-1 1 vote

GB : Je crains, ou plutôt j'espère que ce jour ne viendra jamais.

10/02/2021 19:14

Pourquoi M. Bonhomme veut-il associer des dispositifs de stockage aux EnR, alors que l'électrolyse est justement déjà une forme de stockage ?

-1 3 votes

GB : Si vous produisez de l'hydrogène pour des procédés industriels qui demandent un flux constant d'hydrogène la production à partir d'électrolyseurs alimentés par des ENR impose un stockage tampon. Ceci, et son coût, est analysé dans le rapport RTE. En outre si vous utilisez l'hydrogène pour d'autres applications ou souhaitez l'importer ou l'exporter il faut bien du stockage. Pour le stockage des surplus d'électricité produite par les renouvelables c'est un autre aspect, mais je ne vois pas aucune possibilité de convertir tous ces surplus en hydrogène pour l'instant.

10/02/2021 19:20

Les ENR sont insuffisantes pour satisfaire la dma

-1 3 votes

GB : dma ? vous voulez dire la demande en énergie ? Oui c'est bien ma conviction.

10/02/2021 19:24

Pourquoi les économistes ne comprennent-ils pas la physique sous-jacente ?

-1 3 votes

GB : no comment ... Sauf que le cloisonnement des formations est une vraie catastrophe. Les physiciens pourraient aussi apprendre un peu d'économie !

10/02/2021 19:31

Est-ce que le manque de promotion de l'hydrogène bleu en France et en UE au profit clair de l'Hydrogène vert (ref. Plan de relance) est une erreur finalement ?

-1 1 vote

GB : ou un affichage politique ... Mais en effet les ENR ne pourront absolument pas en Europe fournir les volumes d'électricité requis, sans compter le problème de la compétitivité du coût de production de l'hydrogène.

10/02/2021 19:40

De l'ammoniac dans les bateaux... N'est-ce pas un peu dangereux (cf. pollution) en cas d'avarie ?

-1 1 vote

GB : Est-ce plus dangereux que de transporter du pétrole ? Je n'ai pas étudié le problème, mais probablement que les poissons n'aiment pas trop l'ammoniac, qui se transforme avec l'eau en ammoniacque ...

10/02/2021 19:45

Il suffit en effet de regarder les chiffres : pas assez d'ENR domestiques à CT en France pour déployer massivement comme en Chine la filière industrielle aval de l'H₂ sur les seules ENR. Quid des stratégies de commerce de l'H₂ : Allemagne/NL-Maghreb-Portugal, Japon/Aus-NZ ? Un enjeu de souveraineté industrielle aval - et de savoir-faire amont.

-1 1 vote

GB : Ce problème de souveraineté industrielle de l'Europe doit être envisagé très sérieusement.

10/02/2021 19:15

Nucléaire dont on ne parle pas : 10 g CO₂/ kWh ... Eolien : 200 g CO₂/kWh

-2 4 votes

GB : Non ces chiffres ne sont pas corrects.

- Eolien terrestre : taux d'émission de 14,1 g CO₂ eq / kWh

- Eolien en mer : taux d'émission de 15,6 g CO₂ eq / kWh

- Solaire photovoltaïque : taux d'émission de 55 g CO₂ eq / kWh

- le nucléaire génère 12 g CO₂ eq/kWh, (estimations du GIEC), 6 g CO₂ eq/kWh en France (selon les données de l'ADEME)

- les centrales au gaz 490 g CO₂ eq/kWh et

- les centrales au charbon 820 g CO₂ eq/kWh.