

Comment transférer ses émissions de CO₂ sur l'Australie

par Frédéric Livet, Physicien, "sauvons le climat"
et laboratoire Simap, CNRS, Grenoble-inp, UGA

La situation

Le Japon est un pays qui a vu ses émissions de CO₂ augmenter significativement suite à l'accident nucléaire de Fukushima. Si on peut comprendre à la fois l'anxiété des populations et le temps nécessaire à ce pays d'établir des normes de sécurité plus sérieuses, il n'en reste pas moins que la puissance nucléaire a été brusquement diminuée. Cela a abouti à une augmentation significative des émissions de CO₂ et des importations de combustibles fossiles, comme montré sur les figures 1 et 2 (on trouve des détails dans un papier publié en 2015 à partir des statistiques des producteurs d'électricité¹).

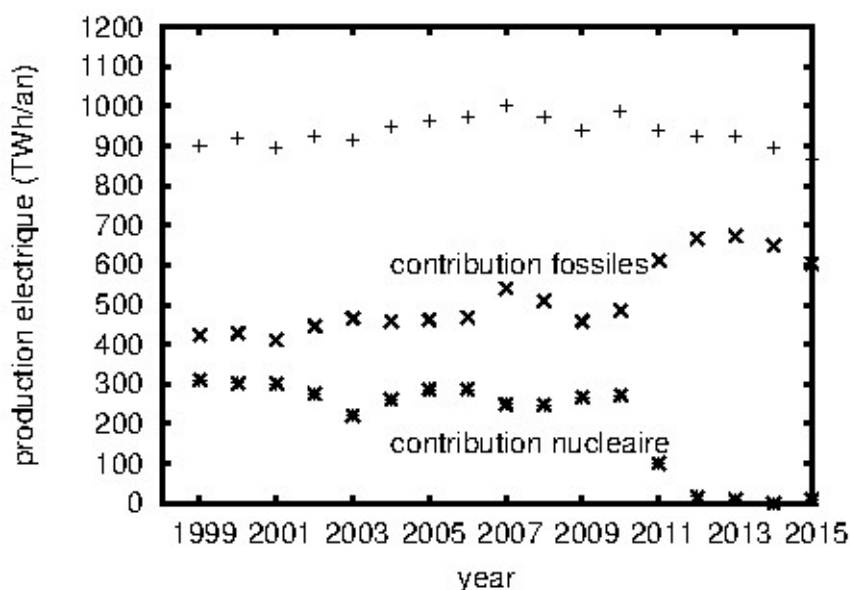


Fig. 1 Production électrique et ventilation nucléaire/fossiles. En 2011, on voit le changement de ventilation nucléaire//fossile. [ici figures1 et 2]

¹ <https://www.sauvonsleclimat.org/fr/presentation/etudes-scientifiques/2573-leffet-de-laccident-du-fukushima-sur-la-production-et-la-consommation-delectricite-du-japon>

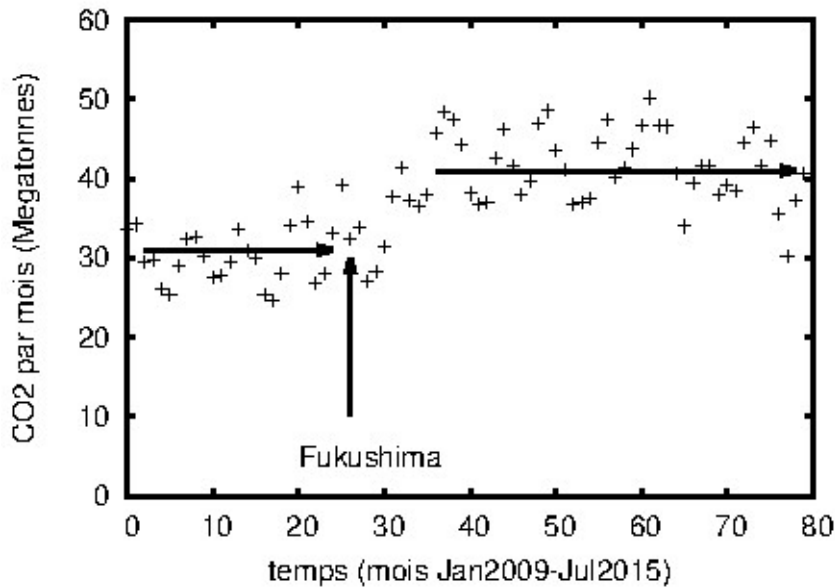


Fig. 2-Augmentation des émissions de CO₂ dues à la production d'électricité : en moyenne, de ~31Mt/mois avant Fukushima à ~41 Mt/mois en un an après fermeture des réacteurs.

Le Japon a redémarré quelques réacteurs (8 au 15 Mai 2018), mais il dispose de peu de moyens de produire de l'électricité décarbonée : les ressources "renouvelables" sont fortement dépendantes de la surface et du relief du pays, et avec 2 fois la population française dans 2/3 de la surface de la France et une consommation électrique double de celle de la France, il lui est sans doute difficile de compter sur des éoliennes ou du solaire qui en outre sont intermittents. Le Japon a donc dû augmenter ses importations (gaz+pétrole+charbon, Fig. 1) et ses émissions de CO₂ pour produire de l'électricité (Fig. 2).

L'hydrogène comme remplacement ?

Le Japon veut réduire ses émissions et a pris des engagements en ce sens avec ses INDC pour la COP21. Pour respecter ces engagements d'INDC, le premier ministre Abe a privilégié la solution de développer l'usage de l'hydrogène. Cela nécessite un gros programme pour mettre en place une "économie de l'hydrogène" que je ne détaille pas.

Compte tenu des conditions de l'archipel nippon, celui-ci se prépare à des importations massives de ce vecteur énergétique. Le Japon est déjà gros importateur de gaz naturel liquéfié et il a l'intention d'importer de l'hydrogène sous la même forme, avec des navires spécialement dédiés. Ce projet ressemble donc au projet "desertec" initié par les industriels allemands et abandonné depuis, qui comptaient importer par gazoduc de l'hydrogène généré par le solaire de l'Afrique du Nord et du Moyen Orient.

Une collaboration exemplaire a donc été installée entre le Japon et l'Australie pour importer de ce pays de l'hydrogène liquide. On montre (Fig. 3) un navire typique de ce projet, porté au Japon par la société Kawasaki Heavy Industries en collaboration avec trois autres.



Fig. 3- Bâtiment pour le transport de l'hydrogène liquide

Il convient à cet usage de développer un bâtiment spécifique capable d'avoir des pertes thermiques faibles à la très basse température de l'hydrogène liquide (autour de -250°C , 20 Kelvin). C'est un exploit industriel, tout à fait dans les capacités techniques du Japon, mais que l'on imagine coûteux. Le navire en construction est capable de transporter 2500m^3 d'hydrogène liquide, et est considéré comme une première expérience. Il entrerait en service en 2019 pour commencer l'exportation de H_2 depuis l'Australie, avant le développement en grand de ce projet sur 10 ans.

Ce type de navire est aussi prévu dans beaucoup de schémas hydrogène. Habituellement, il s'accompagne de déclarations vertueuses sur l'"hydrogène renouvelable". Ici, le projet se met en place, et on peut donc faire une analyse de ce que cache cette vertu dont on pare la "civilisation hydrogène".

L'hydrogène obtenu avec du lignite !

Pour faire de l'hydrogène, on a besoin d'une source d'énergie pas trop chère, et les renouvelables peuvent vite s'avérer coûteux. L'entreprise Kawasaki qui a commencé le développement du navire nécessaire à ce transport et à gérer la liquéfaction/regazéification s'est adressée à l'Australie pour s'approvisionner. L'Australie entend produire de l'hydrogène à partir de lignite²!

Le projet cité se base sur un premier investissement de 500M\$Aus, dont 100M\$Aus du gouvernement australien, et il va exploiter le lignite de Latrobe Valley dans l'état de Victoria. Le but est de gazéifier le lignite, de produire de l'hydrogène et de liquéfier cet hydrogène pour le transporter. La construction du pilote démarrera l'an prochain et on espère que cela créera 400 emplois en Australie. Un soutien fort de ce projet a été apporté par l'ex-premier ministre australien Turnbull.

Le lignite est un charbon de mauvaise qualité, qui sert à produire 22% de l'électricité allemande. Comme il contient beaucoup d'eau et que sa concentration en carbone est plus basse, il a un assez mauvais rendement, il est trop cher à transporter et les Allemands le brûlent aussitôt extrait dans des centrales, comme aux alentours de la mine de Garzweiler³. Dans le cas de l'Australie, qui a de

² <https://www.japantimes.co.jp/news/2018/04/12/business/consortium-import-australian-hydrogen-japan/#.WvtH-ke4bIo>

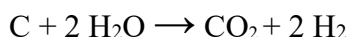
³ voir: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Garzweiler>

grandes ressources de lignite dans cette région (Gippsland Basin), il s'agit de transformer sur place leur lignite de mauvaise qualité en un produit à haute valeur, l'hydrogène, qui, utilisé au Japon permettra à ce pays de jouer les vertueux en matière de climat et de pollution...

Quelles émissions de CO₂ ?

Pour le CO₂, qui est un problème mondial, on ne peut séparer les émissions australiennes de celles du Japon, et il convient de discuter des émissions globales que va induire cette production. On est obligé de faire de la Physique.

La réaction de base, simplifiée (elle nécessite plusieurs étapes) est :



Donc le carbone est transformé en CO₂ et on obtient de l'hydrogène. Pour un kilo d'hydrogène, qui stocke à peu près 33kWh d'énergie thermique, il faut apparemment 3 kg de Carbone (C). Cette réaction est endothermique : Pour 2 moles de H₂O (488kJ) on a une mole de CO₂ (400kJ). Cela veut dire qu'il est nécessaire de brûler 22% en plus de carbone au moins. Compte tenu de la mauvaise qualité du charbon et de la nécessité de monter la température des composants pour avoir une cinétique de réaction raisonnable, il faut au moins 4.5kg de C pour obtenir un kilo de H₂. Cela veut dire aussi $4.5 \times 44 / 12 = 16.5$ kg de CO₂ pour un kilo de H₂⁴.

Ensuite, le programme prévoit de liquéfier l'hydrogène, ce qui est cause d'une perte en énergie autour de 35% avec les meilleurs liquéfacteurs actuels (ça peut être amélioré). Il faudra alimenter les liquéfacteurs à l'électricité, elle même obtenue sans doute à partir du charbon : si on estime que cette production d'électricité émettra 1kg de CO₂ par kWh (0.84Kg en Australie), comme il faut pour liquéfier un kg de H₂ à peu près 12kWh⁵, cela rajoute 10 kg de CO₂ à cause de la liquéfaction⁶.

Puis, en négligeant les pertes par évaporation au cours du transport et les émissions du navire transporteur, l'hydrogène pourra être transformé en électricité au Japon. Un kg de H₂, avec les problèmes de rendements produira ~15-20kWh d'électricité. Une très bonne pile à combustible donnera 17 kWh. Il semble que le Japon s'oriente plutôt sur les cycles combinés à gaz (turbine à gaz+turbine à vapeur) qui donnent des rendements supérieurs à 60%. Au résultat, un kg de H₂ aura émis 28kg de CO₂ pour une production d'électricité de 20kWh.

On aura donc des émissions de CO₂ autour de 1400kg de CO₂ pour au final un MWh électrique. C'est presque le double d'une centrale au charbon récente (<800Kg CO₂/MWh dans une centrale "ultra super critique") ! Si le Japon réduit effectivement ses émissions de CO₂, dans le même temps l'Australie aura émis de fortes quantités de CO₂ ! Evidemment, il est annoncé que le CO₂ serait stocké (technique dite CCS), mais il n'y a de par le monde AUCUNE installation qui stocke des

⁴ C'est une estimation thermodynamique "de Physicien". Des études d'"industriel", comme celles du DOE des USA tablent plutôt sur des émissions de 25Kg de CO₂/Kg de H₂. Voir: https://www.hydrogen.energy.gov/h2a_prod_studies.html

⁵ Les valeurs de la littérature varient de 10 à 13KWh/Kg H₂ liquide. Voir: <https://www.afdc.energy.gov/pdfs/32483.pdf> le papier: " <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00660111/document> " estime des pertes de 30 à 40% par liquéfaction (ce qui donne de 10 à 13kWh/kgH₂ aussi)

⁶ En se basant sur les émissions australiennes pour l'électricité: 840Kg/MWh

quantités industrielles de CO₂, et tous les projets d'envergure semblent abandonnés (ou en standup), à la fois en raison des surcoûts qu'ils induisent, de la chute de rendement thermodynamique qu'ils induisent et de la difficulté à trouver un stockage souterrain acceptable.

7

En conclusion

Au vu de ce calcul, on peut espérer que cette voie d'utilisation de l'hydrogène au prix de fortes émissions de CO₂ ne se développera pas (bien que cela semble bien engagé). Mais l'examen un peu détaillé des nombreux projets hydrogène (tels que développés dans les contributions à la PPE sur le site de la CNDP) montre que ces projets sont portés par des gaziers, et qu'en fait le caractère "renouvelable" de leur projet est une composante initialement mineure de leur "business". Le prix de revient de l'hydrogène ainsi obtenu n'est jamais discuté, mais on peut penser qu'un vrai développement avec CCS et transport par navire "cryogénique" donnera des prix bien supérieurs à 5 (plutôt 10) €/kg, comme cela sera aussi le cas si on travaille avec l'électrolyse, alors que les objectifs japonais sont d'abaisser le prix vers les 20Yens/Nm³, soit à peu près 1.5 €/kg. Notons que ce prix peut néanmoins être atteint en synthétisant l'hydrogène avec du méthane^{7 8}, et cela semble être dans un premier temps le moyen principal pour les structures qui se mettent en place pour se procurer de l'hydrogène, y compris dans le projet du "plan hydrogène" de Hulot et dans la plupart des stations hydrogène pour voitures qui se mettent en place dans le monde : avec le méthane, on estime qu'on émet 10Kg de CO₂^{9 10} pour un kilogramme d'hydrogène.

Source d'électricité	France (EDF)	Allemagne (moyenne)	Australie (moyenne)	H ₂ à partir de CH ₄	CH ₄ en cycle combiné	Charbon-lignite	H ₂ au Japon avec lignite d'Australie
Emissions en kg CO ₂ /MWh	50	480	840	500	340	800-1000	1400

Tableau : Estimation des émissions de CO₂ pour un MWh d'électricité finale en diverses situations (CH₄=méthane. Il faut 50-60kg d'hydrogène pour obtenir un MWh électrique avec un très bon rendement)

Le tableau résume les performances de chaque source en termes d'émission de CO₂ par source d'énergie pour un Mégawattheure d'électricité obtenue "in fine". Bien entendu, l'électrolyse à partir d'électricité renouvelable (ou nucléaire) peut fournir de l'électricité sans CO₂... avec un rendement faible (<30% si on l'utilise pour stocker l'électricité)^{11 12} et à un prix élevé (~10€/kg, i.e. 500€/MWh électrique¹³).

⁷ <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/renouvelables/hydrogene.aspx?Type=Chapitre&numero=3>

⁸ Cette valeur est celle trouvée aussi sur le site du DOE des USA. Voir: https://www.hydrogen.energy.gov/h2a_prod_studies.html

⁹ <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-26748-rapport-cgedd-cgeiet-hydrogene.pdf>, voir p.15

¹⁰ Voir là aussi le DOE: " https://www.hydrogen.energy.gov/h2a_prod_studies.html " qui donne 9.26kg, avec 2.4kg à rajouter pour le process

¹¹ <https://www.sauvonsleclimat.org/fr/base-documentaire/quelques-elements-sur-le-cycle-de-lhydrogene>

Le Japon est face à des choix difficiles : après Fukushima, la population, malgré les leçons qui en ont été tirées en matière de sûreté, est réticente au redémarrage des réacteurs. Par ailleurs, comme le Japon est le seul pays industrialisé qui ait connu une significative augmentation de ses émissions de CO₂ sur ces dix dernières années, le gouvernement a prévu à la COP21 que le nucléaire interviendrait pour 22% de sa production électrique, soient ~30 réacteurs, alors que seuls 9 (Aout 2018) ont redémarré. On voit mal cet archipel très peuplé s'alimenter uniquement avec des renouvelables autochtones. Cela explique peut-être l'enthousiasme de Abe (le premier ministre) pour l'hydrogène, mais compte tenu des procédés développés dans cette collaboration Australie-Japon, l'objectif de production d'énergie au Japon à partir de l'hydrogène s'avère globalement tout sauf décarboné...

¹² <https://www.sauvonsleclimat.org/fr/base-documentaire/le-stockage-de-lelectricite-realites-et-perspectives>

¹³ voir par exemple: <http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/201-08-06na-fs-hydrogene-hd.pdf>