

## Appel à articles

### Décarbonation et transformation du système techno-industriel

Smaïl Aït El-Hadj, ITEC-Université de Lyon Lyon  
Sophie Boutillier, Université du Littoral-Côte d'Opale  
Réseau de Recherche sur l'Innovation, <http://2ri.eu>

La question de la décarbonation est étroitement liée à celle du réchauffement climatique et de la transition énergétique, puisqu'il a été reconnu par les scientifiques depuis les années 1970 environ que la terre est le théâtre d'un réchauffement climatique aux conséquences potentiellement dramatiques (accès à l'eau et à l'alimentation, la santé et augmentation des maladies vectorielles transmises par les moustiques et régression de l'activité économique). Ce phénomène climatique est provoqué par le rejet dans l'atmosphère terrestre de gaz à effet de serre (GES) issus des activités humaines. La société industrielle qui s'est construite depuis le début du 19<sup>e</sup> siècle a fait basculer le monde dans celui de l'anthropocène (Crutzen, Stoermer, 2000) soit une nouvelle ère géologique (Magny, 2019).

Le réchauffement climatique actuel n'est donc pas le produit d'un phénomène naturel, mais des activités anthropiques avec une accélération provoquée par l'industrialisation des pays européens (Jarrige, Le Roux, 2017 ; Jarrige, Vrignon, 2020dir). Depuis le début de l'ère industrielle, les activités humaines ont émis 2500 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> (*Le Monde*, 6/11/2021), émissions de CO<sub>2</sub> auxquelles il faut ajouter celles que l'on continue à émettre et qui augmentent toujours. En 2022, la consommation mondiale d'énergie a augmenté de 1%, soit une augmentation de 3% par rapport à 2019 (*La tribune*, 26/06/2023). Pour ralentir ce phénomène, l'objectif affiché par les responsables politiques est de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, soit de décarboner les activités économiques, de l'agriculture aux services, en passant par l'industrie, les transports, le bâtiment et l'énergie, puisque les énergies fossiles entrent dans toutes les productions manufacturières, comme matières première, intermédiaires ou énergétiques.

Plusieurs parties prenantes s'affrontent ainsi à des degrés divers pour atteindre cet objectif : les scientifiques qui dénoncent le danger du réchauffement climatique et ses effets dévastateurs pour l'humanité, les dirigeants d'entreprise dont les installations productives émettent le CO<sub>2</sub>, les organisations non-gouvernementales qui viennent amplifier la voix des scientifiques et les responsables politiques qui au niveau international et national participent à la création d'un corpus réglementaire pour agir sur la réduction du réchauffement climatique.

## Ce que décarboner veut dire

Le vocable « decarbonation » et le verbe « décarboner » se sont imposés dans le vocabulaire des chercheurs et des ingénieurs, mais aussi des dirigeants d'entreprise depuis une dizaine d'années. Mais, c'est en 2019 que le vocable de « decarbonation » a été accepté par l'Académie française. Le terme est alors défini de façon très vague comme [« l'ensemble des mesures et des techniques permettant de réduire les émissions de dioxyde de carbone »](#). Sur son site, le ministère français de l'économie précise que la « [décarbonation de l'industrie a pour objectif d'accompagner les entreprises industrielles dans l'investissement d'équipements et de procédés moins émetteurs de CO<sub>2</sub>](#) ».

## Décarboner : innovations technologiques et métamorphoses industrielles ?

Pour lutter contre le réchauffement climatique, il convient par conséquent de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, et ainsi opérer une transition énergétique vers des énergies dites décarbonées (énergie solaire, hydraulique, éolienne, etc.). Cette affirmation qui peut sembler évidente, n'est pas sans susciter d'importantes controverses sur le type d'énergie et de technologies à privilégier. Les entreprises doivent revoir fondamentalement leurs procédés de production en fonction des sources de matières premières et d'énergie qu'elles utilisent, mais également leur produit. Au final, l'ensemble des relations inter-industrielles sera fondamentalement transformé, via le développement de de nouveaux modèles économiques (économie circulaire, écologie industrielle, etc.).

Quelles sont les technologies de la décarbonation ? Dans le cadre du « [Deep Decarbonization Pathway Project](#) » (DDPP) qui a été mené dans le cadre de la préparation de la COP21, il a été établi que la transformation du système énergétique reposait sur trois piliers : 1/ efficacité et sobriété énergétique et conservation, 2/ décarbonation des vecteurs énergétiques (électricité, bicarburants et gaz décarbonés et 3/ transfert d'usage vers ces vecteurs décarbonés. De leur côté, les rédacteurs du dernier rapport du GIEC publié en 2023 ont souligné qu'il fallait développer une utilisation plus efficace des matériaux et que l'efficacité des matériaux et la sobriété énergétique représenteraient la moitié du potentiel de décarbonation de l'industrie. De plus de nouveaux procédés de production faiblement émetteurs de GES sont d'ores et déjà disponibles pour la production de matériaux de base, tels que l'acier (Birat, 2022) ou les [matériaux de construction](#).

Face à ces principes généraux, la décarbonation doit se décliner de façon différente en fonction de la diversité des activités industrielles et des techniques en œuvre. Le Plan France 2030 dont l'un des objectifs principaux est de « mieux produire » en privilégiant les énergies décarbonées, telles que le nucléaire, l'hydrogène vert ou décarboné (obtenu par l'électrolyse de l'eau à partir de l'électricité) et les énergies renouvelables (solaire, éolien, etc.). Dans la sidérurgie qui est l'une des activités industrielles les plus émettrices des CO<sub>2</sub>,



l'hydrogène pourrait remplacer le charbon pour réduire le minerai de fer grâce au procédé DRI (Direct Reduced Iron ou fer à réduction directe), mais cela suppose le remplacement complet des installations, représentant des investissements considérables. L'hydrogène décarboné doit être ainsi le levier de la décarbonation de l'industrie dans les secteurs industriels suivants : sidérurgie (acier bas carbone), chimie (production d'engrais décarboné ou de nylon bas carbone), désulfurer les carburants et production de carburants synthétiques en combinant hydrogène et dioxyde de carbone pour former un carburant dont les émissions de GES sont nulles. L'objectif est aussi de combiner décarbonation et souveraineté, puisqu'en relocalisant les entreprises, cela évite des émissions de GES dues au transport.

Mais, au-delà de la décarbonation, il est aussi question de la [défossilisation](#) qui consiste à ne pas forer de nouveaux puits de pétrole ou de gaz ou d'exploiter de nouvelles mines de charbon, mais de capter le CO<sub>2</sub> qui a été émis depuis plus de 200 ans pour le transformer en e-fuels.

En bref, les solutions techniques existent. Il est absolument qu'un nouveau cadre réglementaire et incitatif pour que la décarbonation devienne un objectif rentable sur les plans économique et social en laissant sous terre le carbone qui s'y trouve.

### **Des politiques publiques et transformation du système techno-industriel**

Depuis les années 1970, les conférences internationales sur l'environnement et le climat se sont succédées, avec plus ou moins de résultat. Pour contrôler les émissions de carbone par les entreprises, depuis 2005, l'Europe a instauré un marché du carbone ou Système européen d'échange de quota. Les entreprises ont aussi la possibilité d'échanger des quotas sur le [marché européen des permis d'émission](#). Le prix du carbone constitue à l'heure actuelle un élément essentiel pour inciter les industriels à réduire leurs émissions en investissant dans des procédés décarbonés et en limitant l'utilisation des énergies fossiles. Mais, durant les années 2010, ce dispositif n'a pas été contraignant parce que l'Union européenne n'avait fixé un objectif de baisse que de 20% des émissions de GES entre 1990 et 2020. Face à cette situation, en 2021, les chefs d'Etat européens ont relevé le taux à 55% pour 2030, pour atteindre la [neutralité climatique en 2050](#). Il s'agit de l'« ajustement à objectif 55 » qui regroupe un ensemble de propositions pour réviser et actualiser la législation de l'Union européenne. Ces propositions visent à construire un cadre cohérent pour atteindre les objectifs de l'Union européenne en matière de climat pour assurer une transition juste et socialement équitable ; maintenir et renforcer l'innovation et la compétitivité de l'industrie de l'Union européenne, tout en veillant à des conditions de concurrence équitables vis-à-vis des pays tiers et soutenir la position de l'Union européenne comme chef de file dans la lutte mondiale contre le changement climatique. Cet engagement a été déposé auprès des Nations Unies au titre de la contribution de l'Union européenne à la réalisation de l'Accord de Paris. Cette décision a eu pour conséquence

d'augmenter le prix du carbone, qui est passé à plus de 100 euros la tonne (en 2008, le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> était autour de 15 euros, voir l'article de Perrin, 2017), montant jamais égalé à ce jour (*L'Usine nouvelle*, 1/03/2023) permettant à l'électricité décarbonée d'être plus rentable que celle produite à partir du gaz ou du charbon. Ce qui aurait conduit nombre d'entreprises, parmi les plus forts émetteurs, de lancer d'ambitieux programmes de décarbonation, notamment Arcelor Mittal en France.

Le vocable de décarbonation est relativement nouveau et il convient de s'interroger sur les circonstances qui ont conduit à cette évolution et surtout si cela se concrétise par de réelles avancées sur les plans technique, industriel, économique, social et politique pour changer de paradigme techno-industriel vers une industrie qui serait.... décarbonée.

Dans le cadre de ce numéro spécial de « Technologie & Innovation » sur la décarbonation et la transformation du système techno-industriel, nous proposons de poser puis de répondre à de nombreuses questions :

- genèse des vocables de « décarbonation » et « décarboner », quelles sont les technologies mises en œuvre ?
- bilan des politiques publiques en matière de décarbonation pour soutenir la métamorphose du système techno-industriel, en Europe, aux Etats-Unis, en Asie...
- décarbonation et défossilisation, quelles sont les techniques mises en œuvre selon les activités industrielles ?
- les techniques de la décarbonation : quelles technologies ? Diversité des expériences industrielles.
- vers un nouveau système techno-industriel décarboné ou une nouvelle utopie ?
- quelle est la place de la décarbonation dans la transition écologique ?
- vers un système techno-industriel décarboné : quelles sont les voies de développement ?
- l'innovation technologie est-elle suffisante pour assurer la transition écologique ?

### Références

- CRUTZEN, P. J., STOERMER, E. F., 2000, The « Anthropocene », *Global Change Newsletter*, 41(17).
- JARRIGE, F., LE ROUX, T., 2017, *La contamination du monde*, Seuil.
- JARRIGE, F., VRIGNON, A., 2020, *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*, La découverte, Paris.
- MAGNY, M., 2019, *Aux racines de l'anthropocène. Pour se réconcilier avec la nature, l'homme doit aussi se réconcilier avec lui-même*, Le bord de l'eau.
- PERRIN, J., 2017, La valeur sociale du carbone, une innovation de la pensée économique ?, *Innovations*, 54, 149-171.



**Calendrier :**

- Réception des articles : 20 mai 2024
- Parution : 1<sup>er</sup> semestre 2025

**Contacts :**

[sophie.boutillier@univ-littoral.fr](mailto:sophie.boutillier@univ-littoral.fr) , [smail.aitelhadj@itech.fr](mailto:smail.aitelhadj@itech.fr)

<https://www.openscience.fr/Technologie-et-innovation>