

ANNE-CLAIRE BALENÇON-ASSELIN (84) *consultant Sayari*

UN BILAN ENVIRONNEMENTAL FAVORABLE

L'empreinte environnementale des diverses filières de production d'énergie est un élément majeur de toute politique énergétique. De ce point de vue, le bilan des énergies renouvelables se révèle très favorable même si, au départ, ces énergies sont plus consommatrices de ressources.

COMMENT COMPARER les empreintes environnementales de ces technologies ? Au-delà des effets sur le changement climatique, quels sont les impacts sur la santé humaine, les écosystèmes ou la consommation des ressources ? L'analyse du cycle de vie (ACV) apporte des réponses, car elle permet d'appréhender non seulement les impacts qui se produisent pendant la phase de production, par exemple les émissions de gaz à effet de serre liées à la combustion, mais aussi les impacts résultant de la construction, maintenance et fin de vie des équipements, ainsi que ceux résultant de l'extraction et du raffinage des combustibles.

« Comparer les impacts environnementaux et les besoins en ressources »

Les technologies étudiées sont : le charbon avec ou sans capture de CO₂ (3 types de technologie : traditionnelle, supercritique et CCGI) ; le gaz naturel, avec ou sans capture de CO₂ ; le solaire thermique ; le solaire photovoltaïque, au sol ou en toiture (3 types de technologie : silicium, tellure de cadmium et CIGS) ; l'hydroélectricité (avec deux études de cas) ; l'éolien terrestre ; l'éolien marin ; et enfin,

un exemple de géothermie (Nouvelle-Zélande).

L'hydroélectricité et la géothermie sont approchées uniquement à partir d'études de cas, car ces technologies présentent une grande variabilité. À

noter que l'énergie nucléaire et les énergies à partir de biomasse ne sont pas traitées.

UNE APPROCHE RIGOUREUSE ET COMPLÈTE

Une évaluation récente, réalisée sous l'égide des Nations unies (E. G. Hertwich, 2016), compare quantitativement les impacts environnementaux et les besoins en ressources par unité d'énergie produite ; elle contient également une discussion qualitative sur les impacts pour lesquels les approches quantitatives ne sont pas encore matures.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET BILAN CARBONE

Trois technologies permettent d'atteindre une empreinte carbone de moins de 50 g CO₂/kWh : l'éolien, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Les principales sources d'émissions pour ces technologies sont la fabrication et l'installation des équipements.

REPÈRES

Les technologies de production d'énergie renouvelable ont progressé dans les dernières années, présentant une rentabilité financière et environnementale améliorée. Aux côtés des technologies établies de solaire thermique, de photovoltaïque au silicium, d'éolien terrestre, ou d'hydroélectricité, on a vu ainsi apparaître l'éolien marin, le photovoltaïque à base de tellure de cadmium ou bien CIGS (à base de sélénure de cuivre, d'indium ou de gallium). Les technologies de charbon propre, de type « supercritique » et CCGI (« cycle combiné à gazéification intégrée ») sont maintenant opérationnelles. Enfin, des propositions de capture et stockage du carbone (CSC) émergent pour les technologies fossiles.



© STEHEAP / FOTOLIA.COM

Les impacts du charbon sur la santé sont dus en particulier aux effets toxiques de lixiviation dans les mines.

Ces chiffres sont très inférieurs au standard de 800-1 000 g/kWh pour la production d'électricité au charbon et 600 g/kWh des centrales à gaz à cycle combiné et inférieurs également aux émissions de ces technologies couplées à des systèmes de CSC (environ 200 g/kWh).

HYDROÉLECTRICITÉ : UNE SITUATION CONTRASTÉE

Les centrales hydroélectriques ont généralement de faibles émissions de CO₂ fossile, provenant essentiellement de la construction du barrage et des infrastructures. Cependant, cet avantage est réduit, voire annulé dans certains cas, par la production récurrente de méthane biogénique à partir de la décomposition de la matière organique dans les retenues d'eau, avec une grande variabilité suivant les sites.

LES AVANTAGES DES ÉNERGIES RENOUVELABLES POUR LA SANTÉ HUMAINE

Les technologies à faible teneur en carbone sont largement favorables par rapport aux centrales thermiques les plus modernes, avec un facteur d'amélioration de 2 à plus de 4. Les impacts des technologies gaz naturel sont largement dus aux émissions de particules fines lors de la combustion ; ceux du charbon sont dus en particulier aux effets toxiques de lixiviation dans les mines (métaux lourds à forte longévité). Il existe cependant une forte incertitude sur la quantification de ces effets, car la toxicité chronique à faible dose de métaux et leur impact sur les générations futures sont mal connus.

LES MULTIPLES ASPECTS DE LA POLLUTION

Les centrales à combustion fossile ont un impact important sur les écosystèmes liés à différentes chaînes d'impact :

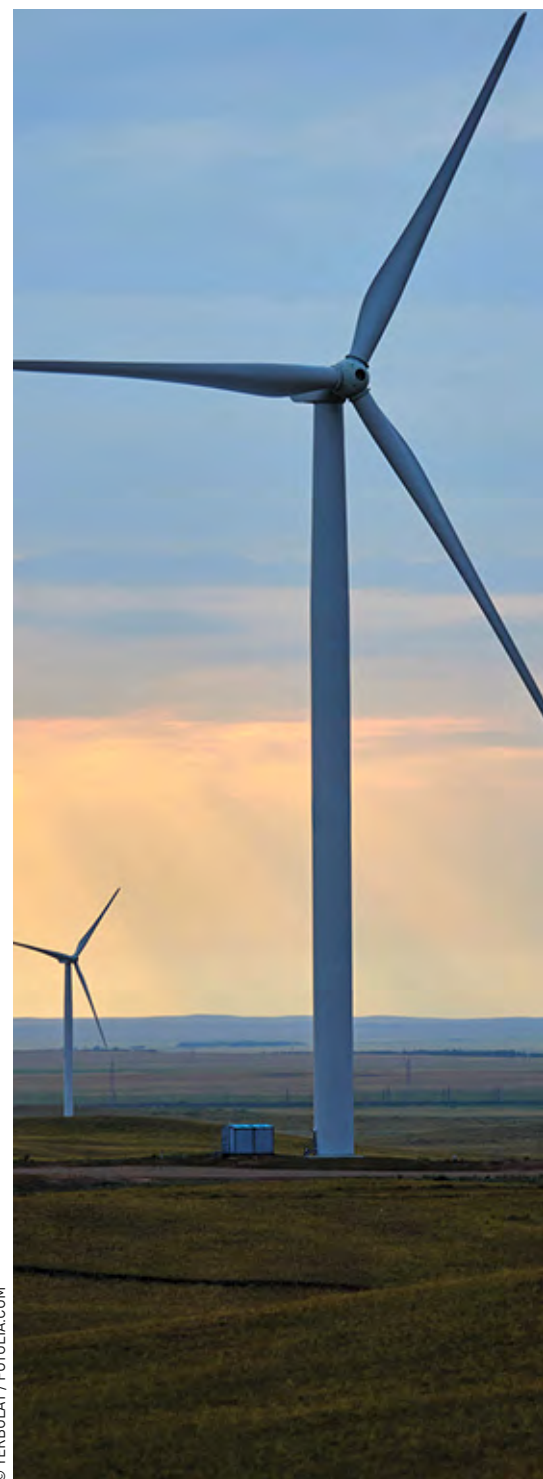
eutrophisation (pollution par l'azote et le phosphore), acidification, émissions de mercure, métaux lourds et autres polluants, changement climatique et acidification des océans. Il faut en particulier s'interroger sur les technologies de CSC, car elles permettent certes une réduction des effets sur le changement climatique, mais elles entraînent par ailleurs une augmentation des autres types d'impact. En comparaison, les technologies des énergies renouvelables ont des impacts polluants nettement inférieurs.

L'UTILISATION DES TERRES

Les impacts sur les écosystèmes sont également liés à l'utilisation des terres, et l'éolien, le photovoltaïque en toiture et les technologies fossiles sont à ce titre les plus performants. Certaines énergies renouvelables (solaire au sol, hydroélectricité, géothermie) présentent des préoccupations légitimes, qu'il faut pouvoir évaluer au cas par cas en fonction des propriétés écologiques des terres occupées : un désert présente par exemple beaucoup moins de richesse en biodiversité qu'une forêt tropicale, ce qui peut justifier l'implantation d'une infrastructure dans un cas mais plus difficilement dans l'autre.

DES BESOINS TRÈS DIFFÉRENTS

En matière d'occupation des terres nécessaires pour la production d'électricité, l'éolien, le gaz, le solaire en toiture et la géothermie présentent un bilan très avantageux. Pour le charbon, il faut inclure les mines à ciel ouvert (les terres utilisées correspondent largement aux mines elles-mêmes) ainsi que les mines souterraines utilisant du bois de soutènement, qui contribue significativement à l'utilisation des terres. Quant à l'hydroélectricité, les besoins varient beaucoup selon les barrages.



© YERBOLAT / FOTOLIA.COM

Des métaux rares entrent dans la fabrication des éoliennes.



© JASCKAL / FOTOLIA.COM

Les besoins en terres varient beaucoup selon la nature des barrages.

DES IMPACTS SPÉCIFIQUES

L'énergie éolienne et l'hydroélectricité ont des préoccupations écologiques spécifiques, difficiles à quantifier. L'éolien nuit par exemple aux oiseaux et aux chauves-souris. Les barrages hydroélectriques sont des barrières de migration pour les espèces aquatiques, et ils modifient les flux et habitats des cours d'eau. Cependant, toutes les centrales éoliennes ou hydroélectriques ne se valent pas, certaines bénéficiant même à la biodiversité locale (éolien marin en particulier).

BESOINS EN RESSOURCES NATURELLES ET EN COMBUSTIBLES FOSSILES

Sur la durée de vie des équipements, les technologies renouvelables présentent des besoins en ressources minérales plus élevés, mais des besoins en combustibles fossiles très réduits.

Certaines technologies affichent des besoins en ressources spécifiques, comme les terres rares pour les éoliennes, les métaux spéciaux pour le photovoltaïque, l'argent pour le solaire thermique et la disponibilité d'un espace de stockage adéquat pour CSC. Ces technologies requièrent également plus d'énergie pour la construction des équipements et infrastructures.

UN SCÉNARIO VIABLE AU NIVEAU MONDIAL

En supposant que le monde s'oriente vers un scénario 2050 fortement pondéré en énergie renouvelable (scénario BLUE de l'AIE), les besoins de matériaux sur la période ont été comparés à leur production annuelle mondiale actuelle [E. G. Hertwich, 2015]. Le besoin le plus important, celui du cuivre, représente deux ans de production, ce qui est jugé acceptable par les auteurs.

Inversement, les technologies thermiques sont moins gourmandes en matériaux primaires et en énergie pour leur construction, mais elles présentent bien évidemment des besoins de ressources combustibles très importants pour leur fonctionnement.

UN INTÉRÊT CONFIRMÉ

Les énergies renouvelables présentent un avantage indéniable en termes d'impact sur le changement climatique, la santé humaine et la pollution des écosystèmes. Les préoccupations de ces technologies sont essentiellement liées à l'utilisation des ressources naturelles. En général, la quantité de matériaux par unité d'énergie produite (équipements) est plus importante; évalués dans un scénario global à 2050, les besoins en ressources minérales sont cependant viables. L'utilisation des terres est faible dans certains cas à favoriser (éolien, photovoltaïque en toiture). En conclusion, la présence des énergies renouvelables dans un mix électrique mondial présente un intérêt confirmé. ■

RÉFÉRENCES – POUR EN SAVOIR PLUS

E. G. Hertwich, J. Aloisi de Larderel (2016). *Green Energy Choices: The benefits, risks and trade-offs of low-carbon technologies for electricity production*, Nairobi, Kenya, UNEP.
 E. G. Hertwich (2015). *Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies*, PNAS, 6277–6282.
 M. Goedkoop (2009). *ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*, Amsterdam, The Netherlands, Ministry of Housing, Special Planning and Environment.
 Sangwon Suh (2017). *Green Technology Choices: The Environmental and Resource Implications of Low-Carbon Technologies*, International Resource Panel, Nairobi, Kenya, UNEP.

DAVY MARCHAND-MAILLET (98)*directeur des opérations du groupe Sun'R***PHILIPPE HUGERON (93)***directeur associé de Solarneo*

COMBINER AGRICULTURE ET ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE

LE DÉFI ESSENTIEL des prochaines décennies est la production durable de nourriture et d'énergie pour dix milliards d'humains, deux usages qui rivalisent parfois pour l'affectation des surfaces cultivables.

Plusieurs solutions « agrivoltaïques » ont été développées ces dix dernières années pour répondre à ce double défi, mais également à l'enjeu connexe de la gestion de l'eau. Elles reposent sur des systèmes fermés (de type serre agricole photovoltaïque) ou ouverts (panneaux au-dessus des vignes, rizi-cultures...). C'est ainsi que des serres agricoles partiellement recouvertes de panneaux photovoltaïques permettent de protéger les plantes en limitant les agressions externes d'une culture plein champ et en contrôlant le climat intérieur.

Des cultures hydroponiques, dites « hors sol », avec une alimentation en goutte à goutte des plantes, sous serres photovoltaïques, permettent d'économiser jusqu'à 90 % de l'eau nécessaire en plein champ pour un même rendement. Des systèmes ouverts, avec des panneaux mobiles au-dessus des plantes, permettent de moduler l'apport de lumière. Des ombrières photovoltaïques sur des bassins piscicoles permettent de mieux réguler la chaleur et de diminuer le taux de mortalité des poissons.

Grâce à un prix compétitif de l'électricité, des appels d'offres photovoltaïques ont permis la réalisation de nombreuses installations et d'obtenir des résultats prometteurs sur le plan agricole, notamment pour des fraises, des asperges, des framboises, des aubergines, mais également des cultures durables comme la vigne ou des arbres fruitiers.

Au-delà d'une meilleure maîtrise agricole et environnementale des cultures ou des élevages, ces outils créent de l'emploi local avec de bien meilleures conditions de travail qu'en plein champ. Enfin, grâce au financement de cet outil par les recettes électriques, l'agriculteur bénéficie d'un levier d'action supplémentaire pour gérer son activité économique.

Comme tout nouvel outil, le monde agricole doit encore cependant « apprivoiser » ces nouvelles solutions innovantes pour trouver les meilleures combinaisons entre les outils proposés et le type de culture. La recherche agronomique jouera donc un rôle majeur dans le déploiement progressif de ces solutions en s'appuyant sur les bases de l'agroforesterie et le retour d'expérience. ■



Des panneaux photovoltaïques au-dessus des vignes.