

La transition énergétique :

Défis et perspectives de la décarbonisation

Présenté par Joël Arseneau (section du Québec)

Kigali (Rwanda) | 7 juillet 2022



// COMMISSION DE LA COOPÉRATION ET DU DÉVELOPPEMENT

Analyse et rédaction
Xavier Mercier Méthé
Service de la recherche

Recherche documentaire
Valérie Boudreau
Simon Mayer
Service de la référence

Table des matières

Introduction	3
1. Un Virage à 180 degrés vers un monde décarboné.....	5
De quel budget carbone disposons-nous encore?	5
Les efforts annoncés : des scénarios possibles, mais extrêmement ambitieux	7
L'incontournable efficacité énergétique.....	8
2. Une décarbonisation amorcée	9
La production d'énergie en voie de transformation	10
La décarbonisation des différents secteurs de l'économie	12
3. Les innovations au secours de la transition énergétique.....	15
Le stockage par batterie.....	15
L'hydrogène et le Power-to-X	17
Les microréseaux	19
Les biocarburants	20
La captation du carbone pour atteindre le net zéro	21
4. Une Transition juste et équitable	22
L'accès à l'énergie.....	23
La précarité énergétique.....	24
La délocalisation de la pollution et la dépendance aux métaux.....	25
La transition dans les régions dépendantes des combustibles fossiles	27
Quel développement dans un contexte de transition énergétique?	29



INTRODUCTION

L'histoire des combustibles fossiles est indissociable de la révolution industrielle qui s'est amorcée au XIX^e siècle. Charbon, pétrole et gaz sont depuis des vecteurs de développement économique et de prospérité pour les nations. Pour les individus, l'énergie bon marché et disponible ouvre la voie au confort moderne : chauffage, climatisation, appareils de cuisson, autres appareils ménagers et automobiles se sont multipliés. À l'échelle mondiale, le secteur de l'énergie prend des allures titanesques. En 2019, près de 95 millions de barils de pétrole étaient produits quotidiennement, s'ajoutent 4 000 milliards de mètres cubes de gaz naturel, tandis que la production de charbon se maintient autour de la barre des 160 exajoules¹.

Cet apparent succès de développement masque des réalités plus sombres. La consommation effrénée d'énergie fossile n'est pas durable. En plus des émissions polluantes qui affectent la qualité de l'environnement et la santé humaine, la combustion de ces sources d'énergie est largement responsable des changements climatiques. Le carbone relâché lors de leur combustion et le méthane issu en partie de leur production ont modifié la composition de l'atmosphère depuis l'ère préindustrielle. Ainsi, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère sont passées de 280 parties par million (ppm) à l'ère préindustrielle à 413 ppm en 2021². Le méthane a un potentiel de réchauffement planétaire de 20 à 25 fois plus élevé que le CO₂. Les concentrations de ce gaz dans l'atmosphère sont maintenant environ 2,5 fois plus élevées que pendant l'ère préindustrielle³. L'augmentation de la concentration de ces gaz à effet de serre (GES) influence le climat terrestre.

Dans l'ensemble, la planète se réchauffe et le climat se transforme : augmentation des épisodes de chaleurs extrême, modification au régime des précipitations, sécheresses et inondations, phénomènes climatiques extrêmes. Dès les années 1980, les scientifiques et les agences internationales ont sonné l'alarme sur les conséquences des changements climatiques pour les sociétés humaines. C'est dans ce contexte que la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques a découlé du sommet de la Terre de Rio en 1992. Depuis, l'évolution du climat terrestre, les nouvelles connaissances scientifiques et les modélisations corroborent ces craintes. Les changements climatiques actuels sont causés par l'activité humaine et leur ampleur est telle qu'ils constituent une menace existentielle. Déjà, la température moyenne est de 1,1 °C au-dessus de celle de l'ère préindustrielle. Pour éviter les manifestations les plus dangereuses de ce phénomène, les températures moyennes doivent être maintenues sous les 2 °C par rapport à cette période et idéalement à 1,5 °C⁴. Pour y arriver, le temps presse, les émissions de GES doivent

¹ BP Energy, BP *Statistical Review of World Energy 2021*.

² National Oceanic and Atmospheric Administration – Global Monitoring Laboratory, Trends in Atmospheric Carbon Dioxide: Global Monthly Mean CO₂.

³ Quirin Schiermeier, "Global methane levels soar to record high", *Nature news*, 14 juillet 2020.

⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, 2018.



être réduites radicalement d'ici 2030, de l'ordre de 45 %, et abaissées à presque zéro en 2050⁵. Le respect de ces cibles est crucial pour éviter les transformations les plus dangereuses du climat. Leur atteinte bouleversera inévitablement la manière de produire et de consommer l'énergie au cours des prochaines années.

À cette crise écologique, le système énergétique mondial pose des problèmes en matière d'équité. Des disparités insoutenables caractérisent la consommation mondiale d'énergie. Alors que la moyenne mondiale s'établit à 79,1 gigajoules (GJ) par habitant, elle s'établit à 340,3 GJ par habitant au Canada et à seulement 15,4 GJ par habitant dans un pays comme le Ghana⁶. De plus, l'accès à l'énergie est loin d'être universel. Il a été estimé que, en 2019, 759 millions de personnes à travers le monde n'avaient pas accès à l'électricité et que près de 2,6 milliards n'avaient pas accès à des modes de cuisson propres⁷.

Devant cet état de fait, les enjeux liés à l'énergie occupent une place essentielle dans les 17 objectifs de développement durable de l'ONU. Deux d'entre eux y sont directement liés et impliquent une refondation en profondeur du système énergétique mondial :

- **L'objectif 7 : Énergie propre et d'un coût abordable;**
- **L'objectif 13 : Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques.**

Les pays répondent à l'Accord de Paris et à l'urgence climatique en s'engageant à divers niveaux. Les contributions déterminées à l'échelle nationale présentées par les États comportent des réductions substantielles d'émission de GES. À l'issue de la COP 26 (2021), 50 pays ont pris l'engagement de viser la carboneutralité d'ici 2050. Sans une transition énergétique rapide et radicale, ces objectifs sont hors de portée : le secteur de l'énergie est le plus grand contributeur des émissions mondiales de GES, 83 % de l'énergie primaire provient des combustibles fossiles⁸.

Différentes agences et organisations tentent de se représenter cette transition énergétique et proposent des scénarios plausibles pour l'assurer. D'emblée, une multitude de facteurs et de décisions politiques peuvent influencer l'évolution de la situation, il ne s'agit donc pas de prédictions. Néanmoins, ces exercices illustrent l'ampleur des transformations requises. Dans son scénario vert, Bloomberg NEF estime que la part des combustibles fossiles dans la consommation d'énergie doit passer de 83 % en 2019 à seulement 10 % en 2050, soit un renversement complet entre les énergies fossiles et les énergies renouvelables⁹. Pour sa part, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) projette que les combustibles fossiles doivent fournir moins de 20 % de l'apport énergétique pour atteindre un scénario net zéro en 2050¹⁰.

⁵ *Ibid.*

⁶ IEA (AIE), *Key World Energy Statistics 2021*, p. 60-69.

⁷ IEA (AIE), IRENA, UNSD, World Bank, WHO. 2021. *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*. World Bank, Washington DC.

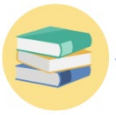
⁸ Bloomberg NEF, *New Energy Outlook 2021*.

⁹ *Ibid.*

¹⁰ IEA (AIE), *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021.



La transition énergétique est un processus plus complexe qu'une évolution technologique. Elle soulève de nombreux défis et enjeux techniques, économiques, environnementaux et sociaux. Ce rapport vise à en présenter succinctement certains et à les illustrer au moyen d'exemples concrets. D'emblée, la transition énergétique semble bien amorcée, mais son rythme est encore trop lent pour atteindre les cibles de réduction de GES de plusieurs pays. Les atteindre demandera un changement de paradigme complet. Il est pratiquement impossible d'y arriver sans la construction massive de nouvelles infrastructures et le développement de nouvelles technologies, mais également sans une révision en profondeur de la façon d'utiliser l'énergie. Elle est corrélée à la manière de concevoir nos villes, à la production agricole ainsi qu'à nos modes de production industrielle et de consommation. Dans ce contexte, les impacts sociaux de cette transition doivent d'être pris en compte pour s'assurer qu'elle est juste et équitable.



Lectures pour aller plus loin :

- IEA (AIE), *Net Zero by 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021.
- Bloomberg NEF, *New Energy Outlook 2021*, 2021.

1. UN VIRAGE À 180 DEGRÉS VERS UN MONDE DÉCARBONÉ

Les connaissances actuelles sur l'état du climat ne laissent pas de place à interprétation, les émissions anthropiques de GES sont en cause dans les changements dont nous sommes témoins. Ils sont déjà amorcés, mais peuvent être limités par des efforts d'atténuations à l'échelle mondiale.

De quel budget carbone disposons-nous encore?

Sous l'égide du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), l'Accord de Paris a été négocié en 2015 et succède au protocole de Kyoto. Ces accords internationaux visent à limiter les émissions de GES pour atténuer le phénomène des changements climatiques. La cible établie par cet accord est de limiter l'augmentation de la température moyenne mondiale au-dessous de 2 °C et même à 1,5 °C, si possible. À cet égard, le secrétariat de la Convention-cadre sur les changements climatiques souligne que :

Pour être cohérentes avec les trajectoires d'émissions mondiales sans dépassement ou avec un faible dépassement de l'objectif de 1,5 °C, les émissions nettes mondiales de CO₂ d'origine anthropique doivent diminuer d'environ 45 % par rapport au niveau de 2010 d'ici à 2030, pour atteindre zéro vers 2050. Pour limiter le réchauffement climatique à moins de 2 °C, les émissions de CO₂ doivent diminuer d'environ 25 % par rapport au niveau de 2010 d'ici à 2030 et atteindre zéro vers 2070¹¹.

¹¹ Contributions déterminées au niveau national en vertu de l'Accord de Paris. *Rapport de synthèse du secrétariat sur la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*, p. 6.



Les plaidoyers de carboneutralité

La carboneutralité consiste à réduire radicalement les émissions de GES afin que la faible quantité résiduelle de ces gaz puisse être absorbée par des puits de carbone. Ils peuvent être naturels, comme les forêts ou le sol, ou artificiels, par la réalisation de systèmes de captation et de stockage du carbone. Cela fait en sorte qu'il y a équilibre entre les GES émis et ceux retirés de l'atmosphère.

L'atteinte des objectifs de l'Accord de Paris nécessite que les émissions mondiales soient ramenées à presque zéro à l'horizon de 2050. Plusieurs pays, collectivités, institutions et entreprises s'engagent à la carboneutralité. Soixante-dix pays, dont les plus grands pollueurs mondiaux se sont fixés de tels objectifs. Ces engagements couvrent 76 % des émissions mondiales de GES¹².

Ces cibles présentent encore certaines ambiguïtés et ne tiennent pas toujours compte de l'ensemble des gaz responsables de l'effet de serre, ou de l'ensemble des secteurs. Dans certains cas, ces plaidoyers comprennent des crédits compensatoires achetés pour faire contrepoids aux émissions¹³. Ce mouvement vers la carboneutralité est encourageant, mais il importe de préciser les engagements et les stratégies pour les réaliser.

Pour atteindre la cible de l'Accord de Paris, les pays signataires soumettent des contributions déterminées au niveau national. Celles-ci devront être mises à jour tous les cinq ans et être de plus en plus ambitieuses. Afin de suivre les progrès réalisés, le budget carbone dont dispose l'humanité pour contenir le réchauffement planétaire est un outil utile. Il fournit une mesure pour jauger les efforts de réduction des émissions nécessaires pour combler l'écart qui nous sépare de la cible. Selon les contributions actuelles annoncées dans le cadre de cet accord, il est probable que les émissions cumulées au cours de la période de 2020 à 2030 absorberaient 89 % du budget carbone restant pour limiter le réchauffement à 1,5 °C et 39 % afin d'avoir une « perspective raisonnable de maintenir le réchauffement en dessous de 2 °C¹⁴ ». En somme, les contributions actuelles devront être rehaussées de manière substantielle pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. Ce mécanisme de mise en œuvre reposant sur les engagements volontaires de

¹² ONU, [For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

¹³ ONU, [Addendum to the Emissions Gap Report 2021. A preliminary assessment of the impact of new or updated nationally determined contributions, other 2030 pledges and net-zero emissions pledges announced or submitted since the cut-off dates of the Emissions Gap Report 2021](#).

¹⁴ [Contributions déterminées au niveau national en vertu de l'Accord de Paris. Rapport de synthèse du secrétariat...](#) p. 6.



chacune des parties prenantes amène intrinsèquement plusieurs moyens d'effectuer cette transition vers une économie décarbonée.

Les efforts annoncés : des scénarios possibles, mais extrêmement ambitieux

Toutes les contributions déterminées au niveau national transmises au PNUE comprennent des mesures en matière d'énergie, que ce soit de favoriser le développement d'énergies renouvelables¹⁵, les combustibles à faible émission de carbone ou l'efficacité énergétique¹⁶. L'ampleur des transformations requises va bien au-delà des cibles annoncées publiquement. Elles permettent d'espérer une stabilisation des températures à 2,1°C de plus que l'ère préindustrielle en 2100. Notons que l'ensemble des politiques requises pour atteindre ces cibles n'est pas encore en vigueur. La tendance actuelle pointe davantage vers un réchauffement de l'ordre de 2,6 °C à l'horizon de 2100¹⁷.

Selon les projections de l'Agence internationale de l'énergie, les investissements dans les énergies décarbonées devraient croître rapidement d'ici 2050 et s'établir annuellement à 4 billions de dollars américains en 2030. Cette transition nécessitera de diminuer à presque zéro les émissions de GES provenant de la production d'électricité avec du charbon. De plus, il faudrait doubler les engagements actuels en matière d'installation d'énergie solaire ou éolienne.

Ces combustibles fossiles qui doivent rester dans le sol

Les combustibles fossiles sont à l'origine d'une part significative des émissions anthropiques de GES. Lorsqu'ils sont extraits du sol et brûlés, ils rejettent le carbone qui les compose dans l'atmosphère. L'utilisation de l'ensemble des ressources mondiales de combustibles fossiles aurait des effets catastrophiques sur le climat de la planète. Pour espérer contenir la hausse de la température globale sous la barre de 1,5 °C – avec un niveau d'assurance de 50 % – 58 % du pétrole, 56 % du gaz naturel et 89 % du charbon composant les réserves terrestres devront rester inexploités¹⁸. Des critères comme les coûts et les émissions de GES liées à l'extraction de ces ressources sont à considérer.



Lecture pour aller plus loin :

- Damian Carrington, « How much of the world's oil needs to stay in the ground? », The Guardian, 8 septembre 2021.

¹⁵ Les différents types d'énergies renouvelables sont : l'énergie éolienne (terrestre et en mer), l'énergie solaire (thermique, thermodynamique, photovoltaïque), l'énergie de biomasse, l'énergie hydraulique, l'énergie marine et l'énergie géothermique.

¹⁶ *Ibid.*, p. 8.

¹⁷ IEA (AIE), *World Energy Outlook 2021*, p. 16.

¹⁸D. Welsby, J. Price, J. S. Pye et autres « Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world ». *Nature*, no. 597, 230–234 (2021).



L'incontournable efficacité énergétique

La substitution de combustibles fossiles par des énergies renouvelables pose plusieurs défis. Pour certains usages, l'énergie renouvelable est parfois plus coûteuse que les sources fossiles actuelles, augmentant par conséquent la facture pour les particuliers ou les entreprises. Par ailleurs, l'approvisionnement en électricité décarbonée est loin d'être suffisant pour convertir l'ensemble de la consommation énergétique actuelle et celle prévue à l'horizon 2030. L'ajout de nouvelles installations de production et de transport d'énergie représente des investissements colossaux¹⁹. À titre d'exemple, bien que le Québec dispose d'abondantes sources d'énergie renouvelable tirées de ses centrales hydroélectriques et que 99 % de son électricité provienne de sources renouvelables, la puissance installée est insuffisante pour électrifier le chauffage hivernal de l'ensemble des bâtiments, dont plusieurs utilisent encore les combustibles fossiles. Il faudrait ajouter 15 térawattheures (TWh) de production supplémentaire pour répondre à la demande au cours des mois de janvier et de février²⁰. Dans son plus récent plan stratégique, la société d'État Hydro-Québec estime qu'elle aura besoin de plus de 100 TWh d'énergie additionnelle en 2050 pour que le Québec puisse électrifier certains pans de la société comme les transports et l'industrie et atteindre sa cible de carboneutralité²¹. Cela représente un ajout de plus de la moitié de la capacité actuelle de production. Ces transformations induisent des risques et des coûts supplémentaires. Pour les limiter, l'efficacité énergétique présente plusieurs avantages pour les individus, les entreprises et les gouvernements.

Pour plusieurs, la transition énergétique consiste à passer d'une énergie fossile à une énergie décarbonée. Mais la réalité est que la clé de la réussite de la transition reposera davantage sur la façon dont on consomme et l'on gère ces énergies qui ont des propriétés très différentes des hydrocarbures (ex., efficacité, rendement, performance, coûts). L'énergie la plus profitable, la plus performante et la plus verte est d'abord celle qu'on ne consomme pas²².

Ajoutons que les mesures d'efficacité énergétiques peuvent d'ores et déjà être mises en œuvre et qu'elles apportent des bénéfices immédiats. Ces mesures peuvent s'appliquer aux industries, au secteur du bâtiment et aux transports. Le remplacement des véhicules à combustion interne par des modèles électrifiés illustre cette situation. Bien que la transition soit amorcée, l'adoption de politiques limitant l'étalement urbain et les distances parcourues et favorisant la mobilité active diminue les coûts de cette transition et les besoins en matière de nouvelle offre d'énergie

¹⁹ IEA (AIE), *op. cit.*, p. 17.

²⁰ Johanne Whitmore et Pierre-Olivier Pineau, *État de l'énergie au Québec 2022*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, préparé pour le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2022 p. 20.

²¹ Hydro-Québec, *Plan stratégique 2022-2026*.

²² Pierre-Olivier Pineau et Johanne Whitmore, *L'hydrogène vert et les bioénergies : Définir leur rôle dans un plan de décarbonation du Québec Mémoire soumis dans le cadre des consultations sur l'hydrogène vert et les bioénergies : vers une stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2030*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, 2022, 20 p.



renouvelable requise en plus d'apporter des gains complémentaires en matière de santé et de qualité de l'air.

Objectifs européens d'efficacité énergétique

En Europe, la production et la consommation d'énergie représentent plus de 75 % des émissions de gaz à effet de serre. Le continent dépend aussi largement d'importations de combustibles fossiles pour satisfaire sa demande en énergie. Cette situation est mise en évidence par la crise découlant de l'invasion de l'Ukraine par la Russie. L'efficacité énergétique est perçue comme un levier pour atteindre les cibles de réduction d'au moins 55 % des émissions de GES d'ici 2030 et d'atteindre la carboneutralité en 2050.

L'Union européenne vise une diminution de 32,5 % à l'horizon 2030. Cet objectif pourrait être renforcé à la faveur d'un avis de révision présentée en 2021. « Elle propose de porter les objectifs de réduction de la consommation énergétique primaire et finale, mesurée par rapport aux projections de référence actualisées de 2020 à 39 % et à 36 %, respectivement, d'ici à 2030. Dans le cadre de la proposition, en termes absolus, la consommation d'énergie de l'Union d'ici à 2030 ne dépasserait pas 1 023 et 787 millions de tonnes d'équivalent pétrole pour l'énergie primaire et finale d'ici à 2030. »

Cette directive s'inscrit dans un cadre général qui comprend des actions visant la performance énergétique des bâtiments, la cogénération et l'efficacité énergétique des produits.



Lecture pour aller plus loin :

- Parlement européen, « Efficacité énergétique », Fiches thématiques sur l'Union européenne. [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

2. UNE DÉCARBONISATION AMORCÉE

Plusieurs indicateurs témoignent d'une amorce de transition énergétique. Déjà certaines filières de production d'électricité déployées à grande échelle comme l'hydroélectricité ou la fission nucléaire ont une empreinte carbone faible et constituent une part significative de la capacité mondiale de production d'électricité²³. Selon les scénarios envisagés, elles joueront un rôle plus ou moins central dans cette transformation. Parallèlement, on observe une croissance rapide de la puissance installée des énergies renouvelables. Soulignons que le coût de ces énergies a aussi considérablement diminué. Ainsi, leur coût par unité de puissance est maintenant équivalent à celui des énergies fossiles dans certains cas. Cette diminution des coûts pourrait se poursuivre et

²³ L'hydroélectricité représente environ 16 % de la production mondiale d'électricité alors que le nucléaire compte pour un peu plus de 10 %. Si l'on considère l'ensemble de la production d'énergie mondiale, leur part tombe à 6,4 % et 4,3 % respectivement. Our World Data, [Electricity Mix](#).



leur avantage s'accroître dans l'éventualité où le prix du carbone augmentera. Néanmoins, l'incertitude économique et les difficultés d'approvisionnement pourraient contrecarrer cette tendance.

La production d'énergie en voie de transformation

L'électrification du système énergétique progresse. L'énergie électrique représente maintenant 20 % de la consommation finale d'énergie à l'échelle mondiale. Dans un scénario net zéro en 2050, elle pourrait représenter 50 % de la consommation mondiale²⁴. Cette augmentation est significative puisque l'électricité achemine l'énergie provenant de sources qui émettent idéalement peu de GES, vers les consommateurs. Tout indique que la production d'électricité est appelée à croître rapidement. Une croissance qui pourrait être exponentielle si l'électricité devait être mise à profit massivement pour la production de carburants à base d'hydrogène.

Toutefois, le secteur de la production d'électricité est encore largement carboné. Plusieurs centrales sont alimentées au moyen de combustibles fossiles, principalement le charbon et le gaz. Le secteur de la génération d'électricité est par conséquent responsable de 36 % des émissions de GES liés à l'énergie à l'échelle mondiale²⁵. Cependant, on observe une tendance de fond : l'ajout de capacité de production provenant d'énergies renouvelables dépasse systématiquement la croissance des énergies non renouvelables depuis 2015. En 2021, les énergies vertes ont constitué 81 % des ajouts de capacité de production à l'échelle mondiale, soit plus de 257 gigawatts (GW). C'est en Asie que la part du lion, presque les deux tiers, de ces ajouts prennent forme. Les sources d'énergie qui ont connu la plus grande augmentation sont le solaire et l'éolien. Ils représentent ensemble 88 % du total, loin devant l'hydroélectricité²⁶. Cette source d'énergie, dont l'exploitation à grande échelle remonte à plus loin, représente encore 40 % de la capacité de production des énergies renouvelables. Sa part tend toutefois à diminuer rapidement en raison de la croissance fulgurante de filières émergentes.

Au total, la capacité de production des énergies renouvelables était de 3 064 GW en 2021. Les sources renouvelables représentaient 38,3 % de la capacité de génération d'électricité à l'échelle mondiale. Cette capacité est répartie de manière très inégale à travers les différentes régions. L'Asie concentre 48 % de l'approvisionnement en électricité renouvelable, l'Europe 21 % et l'Amérique du Nord 15 %. L'Afrique représente environ 2 % de la capacité production²⁷.

L'abandon du charbon

Le charbon demeure le principal combustible pour la production d'électricité à l'échelle mondiale. Sa combustion émet une quantité phénoménale de GES. Cette seule source

²⁴ IEA (AIE), *World Energy Outlook 2021*, Bloomberg NEF, *New Energy Outlook 2021*.

²⁵ *Ibid.*, p. 39.

²⁶ IRENA, *Renewable capacity highlights*, 2022.

²⁷ *Ibid.*



d'énergie produit environ 20 % de tous les GES mondiaux, soit 10 Gt en 2018²⁸. Bien que le charbon ne fournisse qu'un tiers de l'électricité, il compte pour près de 75 % des émissions de GES du secteur de la production d'électricité²⁹. Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, il est impératif d'abandonner cette forme d'énergie au profit de sources plus propres. Dans un scénario cohérent avec les cibles de Paris, les émissions liées à la production d'électricité par le charbon devraient plafonner dans les années 2020, être réduites d'environ 80 % en 2030 et à zéro en 2040³⁰. Ce scénario est en décalage avec la tendance actuelle : le rythme de fermeture de centrales au charbon ne suit pas cette courbe et certaines régions construisent encore de nouvelles centrales.

Néanmoins, des initiatives sont mises en œuvre pour accélérer l'abandon du charbon comme source d'électricité. En 2017, le Canada et le Royaume-Uni ont cofondé l'Alliance Énergiser au-delà du charbon. Elle a pour but de réunir les acteurs publics et privés concernés par la production et l'utilisation du charbon combustible³¹. Elle se compose de 48 gouvernements nationaux, de 48 gouvernements infranationaux et de 69 organisations³².

Plusieurs membres de l'Union européenne se sont également engagés à fermer leurs centrales électriques au charbon au cours des prochaines années. La date retenue varie selon les pays membres. Certains comme la Suède, la Belgique ou l'Autriche n'utilisent plus de charbon. L'Allemagne procédera à cette transition d'ici 2040. Des discussions sont en cours en Pologne pour devancer la sortie de cette énergie initialement prévue au plus tard en 2049³³. Des facteurs économiques, comme le prix du carbone ou la diminution du coût des énergies renouvelables ont le potentiel d'accélérer ce processus.



Lecture pour aller plus loin :

- [Bloomberg Global Coal Countdown](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

L'accélération du déploiement des énergies renouvelables découle non seulement de considérations environnementales, mais aussi de leurs coûts de plus en plus avantageux. Elles sont maintenant comparables à l'installation de centrales alimentées aux énergies fossiles. Dans

²⁸ IEA (AIE), *Global Energy & CO2 Status Report 2019*.

²⁹ IEA (AIE) 2021, *op. cit.*, p. 39.

³⁰ Climate Analytics, [Coal phase-out](#). [En ligne, consulté le 25 avril 2022.]

³¹ Environnement et Changement climatique Canada, [Le Sommet mondial de l'Alliance : énergiser au-delà du charbon, coorganisé par le ministre Wilkinson, témoigne de la dynamique dans le monde en faveur de l'élimination progressive du charbon et renforce la détermination à accélérer l'action](#). [En ligne, consulté le 16 mars 2022.]

³² Powering Past Coal Alliance, [Members](#). [En ligne, consulté le 16 mars 2022.]

³³ G. Zachmann, F. Holz, F. McWilliams, B. Meissner et autres. *Decarbonisation of Energy, Publication for the committee on Industry, Research and Energy (ITRE)*, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, European Parliament, Luxembourg, 2021, p. 36-37.



certains contextes régionaux, elles sont moins chères et constituent le choix économique par défaut³⁴.

L'énergie solaire est un exemple éloquent de cette tendance de fond. Entre 2010 et 2020, les coûts ont chuté radicalement : les panneaux sont 93 % moins chers à l'achat³⁵. De plus, grâce aux développements technologiques, ils sont plus performants, ce qui réduit davantage les coûts de production d'une puissance équivalente. Pris dans son ensemble, le coût de l'énergie solaire a diminué de 85 % au cours de cette période. Cette tendance à la baisse pourrait se poursuivre, malgré un sursaut des prix lié au contexte économique de 2021. Les coûts de l'électricité éolienne ont également diminué de 56 % pour la production sur terre et de 48 % pour la production en mer au cours des dix dernières années.

La décarbonisation des différents secteurs de l'économie

Certains secteurs sont plus faciles à décarboner. Il est possible d'électrifier les bâtiments et les équipements requis pour leur fonctionnement. De même, les technologies pour électrifier les transports collectifs ou individuels sont disponibles. Les voitures individuelles à batteries se multiplient rapidement. Cependant, chaque secteur présente ses particularités et la substitution d'une énergie fossile pour une forme d'énergie décarbonée équivalente n'est pas toujours possible. Il faut qu'elle soit commercialement offerte, disponible et à prix concurrentiel. Les défis apparaissent immenses et les changements de paradigmes, nécessaires. Ainsi, il semble incontournable de favoriser l'efficacité énergétique et la réduction de la demande pour assurer le succès de la transition.

INDUSTRIE

Le secteur industriel est un grand consommateur d'énergie et un grand émetteur de GES. Une part de ces émissions proviennent des processus utilisés, mais pour fonctionner, le secteur dépend énormément des combustibles fossiles, dont le charbon. La part des énergies fossiles consommées en 2020 était de 68 % alors que l'électricité ne compte que pour 22 % de la demande en énergie du secteur industriel. L'industrie sidérurgique, la production de ciment, l'industrie chimique et la pétrochimie sont de grands émetteurs de GES. Les besoins des industries de quantités élevées d'énergies pour des processus à haute température constituent une contrainte à l'adoption de sources alternatives. Une première solution consiste à utiliser l'énergie de manière plus efficace, en produisant davantage. Des progrès en matière de productivité énergétique ont été observés depuis les années 2000 et des États ont mis en place des stratégies pour y arriver. Des avancées sont constatées en Europe et en Amérique du Nord où la valeur produite par unité d'énergie augmente. Elles sont toutefois insuffisantes à l'échelle mondiale pour atteindre les cibles de réductions de GES de l'Accord de Paris.

³⁴ Les coûts sont toutefois influencés par une multitude de facteurs allant de l'approvisionnement à la main-d'œuvre. IRENA, *Renewable Power Generation Costs In 2020*, p. 14-15.

³⁵ IRENA, *Renewable Technology Innovation Indicators: Mapping progress in costs, patents and standards*, 2022, p. 11.



D'autres stratégies utilisent l'énergie plus efficacement comme l'économie circulaire. La gestion de l'énergie, la récupération de chaleur et les symbioses industrielles sont des moyens de diminuer l'empreinte du secteur tout en conservant une production efficace. Par ailleurs, l'usage de matières recyclées dans certains procédés réduit la demande d'énergie et du même souffle, les émissions de GES liées aux processus.



Lectures pour aller plus loin :

- Johanne Whitmore, Pierre-Olivier Pineau et Jacques Harvey, *Productivité énergétique – Amorcer la décarbonisation en stimulant l'économie*, Livre blanc, rapport préparé pour Transition énergétique Québec, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, 2019.
- IEA (AIE), [Tracking Industry 2021](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]
- IEA (AIE), [Industry : Materials are the building blocks of society](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

BÂTIMENTS

Le secteur des bâtiments consomme une grande quantité d'énergie, que ce soit pour le chauffage, la climatisation ou le fonctionnement des autres installations. Une partie de l'énergie consommée est de source fossile, notamment pour le chauffage de l'eau et des locaux. L'électricité joue également un rôle déterminant pour l'alimentation des bâtiments en énergie. Selon le contexte de chaque pays, cette énergie électrique peut être plus ou moins décarbonée. Les émissions de GES de ce secteur peuvent donc être directes ou indirectes.

Plusieurs voies sont possibles pour réduire l'empreinte du secteur du bâtiment. Il est possible de recourir davantage à l'électricité pour la production de chaleur. Néanmoins, la demande accrue en électricité peut excéder la capacité des infrastructures de production et de distribution. L'efficacité énergétique constitue donc une approche incontournable. Certaines technologies comme les pompes à chaleur peuvent être mises à profit pour diminuer cette demande. La rénovation du parc de bâtiments existants et l'imposition de normes d'efficacité renforcées constituent des manières additionnelles de réduire la consommation d'énergie de ce secteur. Par ailleurs, une partie de l'efficacité énergétique des bâtiments peut provenir d'une meilleure gestion de la demande d'énergie et de l'usage d'appareils intelligents. Dans un contexte de transition énergétique, la gestion plus fine de la demande réduit à la fois la consommation et évite de solliciter trop fortement le réseau électrique en répartissant mieux dans le temps la demande d'énergie. Une telle approche fait l'économie d'une mise à jour prématurée des infrastructures de distribution et de production.



Lecture pour aller plus loin :

- IEA (AIE), [Buildings : A source of enormous untapped efficiency potential](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]



Transports

Le secteur des transports pose des défis en matière de transition énergétique. D’abord, il s’agit d’un secteur fortement dépendant des combustibles fossiles. Il est responsable de 37 % des émissions de GES liées à la consommation d’énergie, soit environ 7,1 Gt en 2020. Les émissions de GES liées au secteur des transports sont aussi en croissance rapide et plus que tout autre secteur de l’économie³⁶. Les émissions du secteur pourraient croître encore davantage au cours des prochaines décennies. Plusieurs causes expliquent cette tendance. Pour les véhicules personnels, les émissions sont en constantes progressions depuis 20 ans. Les ventes de véhicules utilitaires sport y contribuent, elles représentaient en 2021 45,9 % des nouveaux véhicules enregistrés³⁷. Cette tendance a une incidence non négligeable puisque ces véhicules sont plus lourds et consomment plus d’énergie. Lorsque propulsés par un moteur thermique, ils émettent plus de GES directement. Néanmoins un véhicule électrifié contribue aussi indirectement à l’émission de GES si l’énergie qui les alimente n’est pas décarbonée. Par ailleurs, la demande de transport continue de croître dans les économies émergentes. Cependant, bien que les ventes de véhicules électriques demeurent concentrées en Chine, en Europe et aux États-Unis, elles sont en nette croissance. En 2021, 6,7 millions d’unités électriques ont été vendues dans ces pays, soit environ 9 % des ventes. En revanche, cette hausse n’a toujours pas freiné l’augmentation des émissions de GES liées au transport des personnes.

Le transport routier des marchandises, le transport maritime et le transport aérien connaissent également des hausses d’émission de GES. Leur électrification est toutefois beaucoup plus difficile que celle des voitures personnelles. Plusieurs des technologies qui permettraient de sevrer le transport lourd et de longue distance des combustibles fossiles ne sont pas encore disponibles. Des carburants de substitution, dont les biocarburants, sont aussi plus coûteux et fabriqués en quantité limitée.

Une autre option pour améliorer l’efficacité énergétique des transports – qu’ils soient électrifiés ou à moteur thermique – réside dans l’atténuation de la demande. Pour se faire, il faut privilégier les transports actifs et collectifs avec une diminution de la dépendance à l’automobile et la réduction des distances parcourues. Ces actions dépassent les simples avancées technologiques, elles reposent sur l’adoption de politiques publiques favorable, notamment en matière d’aménagement du territoire.

L’électrification massive de l’économie mondiale par l’intermédiaire de sources d’énergie renouvelable, est en cours. Cependant, ce changement de paradigme énergétique amène son lot de défis : aucune source d’énergie ne peut à elle seule se substituer aux combustibles fossiles pour l’ensemble des usages. Pour réussir la transition énergétique, plusieurs innovations ont un

³⁶ IEA (AIE), [Transport : Improving the sustainability of passenger and freight transport](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

³⁷ Laura Cozzi et Apostolos Petropoulos, [Global SUV sales set another record in 2021, setting back efforts to reduce emissions](#), AIE, décembre 2021.



rôle à jouer. Leur niveau de maturité technologique et les coûts constituent encore des freins à leur adoption à grande échelle. Ainsi, le rôle exact de ces technologies émergentes est incertain.

3. LES INNOVATIONS AU SECOURS DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Les potentiels de production d'énergie renouvelable sont immenses et dépassent les besoins mondiaux. Les défis résident plutôt dans le caractère intermittent des ressources renouvelables, dans leur transport jusqu'au consommateur et dans la nécessité de stocker cette énergie dont la production n'est pas nécessairement synchronisée sur la demande. Plusieurs avancées sont mises de l'avant pour décarboner la production d'énergie. Certaines perspectives, comme la fusion nucléaire, sont plus lointaines alors que d'autres approches sont maîtrisées, mais encore déployées à des échelles modestes. Cette section effectue un survol de filières émergentes, qui suscitent l'intérêt dans un contexte de décarbonisation du système énergétique mondial que ce soit pour produire, stocker ou gérer la consommation de l'énergie.

Le stockage par batterie

Le stockage de l'énergie va de soi pour les énergies fossiles qui peuvent être emmagasinées dans des réservoirs. Pour l'électricité, cela n'est pas une notion nouvelle. Jusqu'à présent, une part importante de cette capacité de stockage repose sur des centrales de pompage en service à travers le monde. Ces installations consistent à remonter de l'eau dans un bassin aménagé plus haut pour la turbiner afin de répondre à des pointes de demande d'énergie. Les progrès réalisés dans le domaine des batteries changent toutefois la donne du stockage de l'énergie. Les batteries peuvent être utilisées dans différents contextes : par exemple chez le consommateur, chez le producteur ou encore à même le réseau de distribution. Il est possible d'allier leur utilisation à la gestion intelligente du réseau. Les batteries ont l'avantage de réduire les crêtes de consommation ou de production et d'assurer la stabilité du réseau.

Le stockage d'énergie par batteries en Australie

L'Australie méridionale intègre à son réseau de grandes quantités d'énergie renouvelable. Plusieurs résidents de la région disposent d'installations solaires sur leur résidence. Elles produisent parfois trop d'énergie en période de pointe, ce qui met en péril la stabilité du réseau. La région a été aux prises avec une série de problèmes d'approvisionnement et de délestage en 2017. L'épisode a mené à l'installation, par Tesla et un partenaire français, de ce qui était la plus grande batterie au lithium à l'époque : la Hornsdale Power Reserve. L'intervention a stabilisé le réseau, a facilité l'intégration de l'énergie



renouvelable et a réduit les prix à payer par les consommateurs. En 2020, sa capacité a été portée à 150 MW³⁸.

Les projets de stockage par batteries se sont multipliés depuis en Australie. Ils ont pris une ampleur considérable. Des stockages sont situés à des points stratégiques du réseau comme des postes de transformation ou d'anciennes centrales électriques³⁹. D'autres approches décentralisées reposent sur des batteries installées chez les consommateurs et constituent une centrale électrique virtuelle. Un chantier visant à mettre en réseau, au terme de plusieurs phases de déploiement, 50 000 batteries résidentielles formant la plus grande centrale électrique virtuelle au monde est en cours de déploiement⁴⁰. La taille de ces stockages par batteries est encore appelée à croître. Le site appelé Victorian Big Battery, entré en service à la fin de 2021, a une capacité de 300 MW et peut fournir 450 MWh. La batterie peut alimenter un million de résidences pendant 30 minutes⁴¹.

L'archipel de Tokelau : un territoire approvisionné à 100 % par l'énergie solaire

En 2012, le petit archipel Tokelau de l'océan Pacifique a lancé son projet d'énergie solaire. L'objectif était de remplacer la production d'électricité par des groupes électrogènes alimentés en combustibles fossiles par une production entièrement solaire. Elle est complétée par un système de stockage par batterie et des génératrices alimentées en biocarburants provenant d'huile de coco. Tokelau a ainsi assuré son autonomie énergétique et, au final, a réduit ses importations de carburant qui représentaient 829 000 \$ néo-zélandais par an. Des installations prennent pied sur les trois atolls et ont été mises à niveau en 2020 pour faire face à l'augmentation de la demande d'électricité.



Lectures pour aller plus loin :

- Government of Tokelau, [Solar project](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]
- Irena, [Pacific Lighthouses : Renewable energy opportunities and challenges in the Pacific Islands region](#), Tokelau, 2013.

³⁸ Sara Tomevska, « [Tesla battery in South Australia expanded by 50 per cent, energy minister lauds benefits](#) », *ABC News*, 2 septembre 2020.

³⁹ Andy Colthorpe, « [150 MW privately-funded battery project is latest in Australia to repurpose fossil fuel plant site](#) », *Energy Storage News*, 1^{er} décembre 2021.

⁴⁰ Australian Renewable Energy Agency, [Tesla Virtual Power Plant](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

⁴¹ [Victorian Big Battery](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]



L'hydrogène et le Power-to-X

L'hydrogène est le gaz le plus abondant de l'Univers, mais on ne le trouve que rarement sous forme pure sur Terre. L'essentiel des atomes d'hydrogène se trouve associé à l'oxygène pour former de l'eau ou à du carbone dans les molécules qui composent les êtres vivants.

Pour obtenir ce gaz pur, il est nécessaire de le séparer en recourant à. L'énergie requise est en quelque sorte emmagasinée dans l'hydrogène produit et peut ensuite être transportée jusqu'au lieu de consommation. L'hydrogène est alors un vecteur d'énergie. Le procédé de fabrication d'hydrogène le plus répandu repose sur le vaporeformage du gaz naturel.

La presque totalité de l'hydrogène québécois est fabriquée à partir de produits pétroliers par les deux raffineries actives du territoire. Cette manière de produire l'hydrogène émet beaucoup de gaz carbonique⁴². On le qualifie d'hydrogène gris. On parle plutôt d'hydrogène vert lorsque le procédé qui le produit ne génère pas de gaz carbonique anthropique, soit grâce à la biomasse ou grâce à l'électricité renouvelable. Cette filière est particulièrement intéressante dans une perspective de transition énergétique pour réduire les émissions de carbone dans les secteurs difficiles à électrifier. La quantité d'énergie renouvelable requise pour produire de l'hydrogène vert est toutefois considérable. Un calcul effectué au Québec indique que le remplacement de l'ensemble des carburants qui y sont consommés nécessiterait près de 300 TWh d'énergie renouvelable, environ le double de la production actuelle d'Hydro-Québec⁴³, d'où la priorité de cibler les secteurs optimaux pour son utilisation. Les perspectives sont nombreuses puisque l'énergie stockée dans l'hydrogène peut prendre différentes formes. L'hydrogène pur peut être employé comme carburant ou dans une pile à combustible pour produire de l'électricité, recombinaison chimiquement avec du carbone pour produire du méthane ou d'autres combustibles, ou avec de l'azote pour former de l'ammoniac⁴⁴. Ces possibilités sont encore au stade du développement. À noter que les coûts de production de l'hydrogène vert demeurent beaucoup plus élevés que ceux des carburants produits à partir de gaz ou de pétrole. Cependant, cette situation pourrait rapidement évoluer en raison des efforts internationaux pour limiter les émissions de GES responsables des changements climatiques⁴⁵. À cette fin, l'hydrogène présente aussi l'avantage de permettre le stockage chimique de l'énergie issue de sources intermittentes comme l'éolien et le solaire.

⁴² Les raffineries produisent de l'hydrogène à partir de combustibles fossiles. Il est utilisé dans leurs activités de raffinage pour améliorer leurs carburants. Cet hydrogène n'est pas mis en marché, mais consommé sur place. Des quelque 100 kt/an produits au Québec, 90 kt/an sont produits par les raffineries. Transition énergétique Québec, *Étude sur le potentiel de la filière de l'hydrogène au Québec dans la transition énergétique Principales conclusions*, présentation du 14 juillet 2020, p. 16 et 20.

⁴³ Philippe A. Tanguy et autres, *Étude sur le potentiel technico-économique du développement de la filière de l'hydrogène au Québec et son potentiel pour la transition énergétique – Sommaire exécutif*, 2020, p. 17.

⁴⁴ Le stockage d'énergie électrique utilisant l'hydrogène comme véhicule est désigné en anglais sous le concept de Power-to-X, où X peut être un gaz comme le méthane, un carburant liquide comme le kérosène, le méthanol ou de l'ammoniac.

⁴⁵ À titre d'exemple, le [Hydrogen Council propose d'utiliser massivement l'hydrogène pour décarboner l'économie](#), ce qui se traduirait par une croissance exponentielle de la production d'hydrogène vert d'ici 2050.



L'hydrogène vert couplé aux énergies renouvelables : le projet Jupiter 1000 en France.

Le projet Jupiter 1000 situé à Fos-sur-Mer en France est un démonstrateur industriel du concept de Power-to-gas. Il vise la transformation de surplus d'électricité en hydrogène et en méthane de synthèse pour les injecter ensuite dans le réseau gazier.

Les sources d'énergie renouvelables sont intermittentes et produisent parfois plus que la demande. Leur conversion en hydrogène permet de conserver en grande quantité et à long terme une partie de cette énergie et de l'acheminer vers les consommateurs par le réseau de distribution de gaz déjà existant. Une partie de l'énergie est toutefois perdue dans cette conversion.

Ce projet de démonstration comprend deux électrolyseurs d'une capacité de 1 MWe alimentés à partir d'énergie renouvelable, des installations pour injecter directement de l'hydrogène dans le réseau gazier et pour fabriquer du méthane de synthèse. Il est obtenu en faisant réagir de l'hydrogène avec du CO₂ capté dans une usine voisine.

Cette installation de taille relativement modeste a pour but de documenter la faisabilité technico-économique de cette approche. Elle a l'avantage de valoriser les excédents d'énergie renouvelable tout en accroissant la proportion de gaz renouvelable consommé. « Une étude menée conjointement pour l'ADEME, GrDF et GRTGaz, estime que 2,5 à 3 TWh électriques d'excédents renouvelables pourraient être valorisés via le Power-to-gas en 2030. Ces excédents permettraient ainsi de générer 1,5 à 1,8 TWh de gaz renouvelable, réduisant les importations de gaz naturel de 80 M€/an et valorisant 150 000 tonnes de CO₂ captés⁴⁶. »



Lecture pour aller plus loin :

- [Le projet Jupiter 1000](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

La réalisation de projets à l'échelle industrielle et le développement de marchés pour absorber l'hydrogène représentent encore des défis considérables. La mise en place de feuilles de route, de stratégies et la multiplication des chantiers de plus grande envergure pourraient toutefois marquer un tournant à l'échelle mondiale en ciblant les applications les plus prometteuses et en diminuant les coûts de production.

⁴⁶ ADEME, [Jupiter 1000. Expérimentation d'une installation de Power-to-gas: injection de gaz renouvelable dans le réseau de transport de gaz naturel et captage de CO₂](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]





Lectures pour aller plus loin :

- Damien Guilbert, « Comment l'hydrogène peut contribuer à stocker l'électricité à grande échelle », *The Conversation*, 2021.
- Gilles Bourque, Noël Fagaoga, *L'hydrogène, un vecteur énergétique pour la transition*, Institut de recherche en économie contemporaine, janvier 2020, 41 p.

Les microréseaux

L'énergie électrique peut être distribuée par des réseaux centralisés, organisés à partir de lignes à haute et à moyenne tension jusqu'aux consommateurs. Toutefois, des communautés ne sont pas desservies par ces réseaux en raison de leur éloignement ou du faible déploiement de ces infrastructures dans certaines régions du monde. Des équipements de production utilisant les combustibles fossiles sont fréquemment employés pour fournir de l'énergie aux communautés locales. Ce mode de distribution constitue un microréseau ou, à l'échelle d'une propriété, un système autonome. La décarbonisation de ces réseaux est possible, que ce soit en remplaçant les combustibles fossiles par des combustibles renouvelables, issus de la biomasse par exemple, ou en intégrant des installations de production d'électricité renouvelable. L'intermittence des sources renouvelables comme le solaire et l'éolien requiert de porter attention à la gestion de la demande d'énergie et à son stockage. Le développement de la décarbonisation dans ce secteur fait l'objet de plusieurs recherches et expérimentations.

Le microréseau de Lac-Mégantic : connecté, mais autonome

Un partenariat entre la Ville de Lac-Mégantic et Hydro-Québec a mis en place un microréseau desservant une trentaine de bâtiments du centre-ville de cette municipalité. Ce projet comprend la production d'énergie à partir de panneaux solaires, le stockage d'énergie et une composante de gestion et de maîtrise de l'énergie. Le microréseau demeure connecté au réseau d'Hydro-Québec, tout en pouvant fonctionner de manière autonome ou tout en permettant des échanges d'énergie bidirectionnels.

Le dispositif compte environ 2 200 panneaux solaires pour près de 800 kW de puissance installée, des batteries pouvant emmagasiner environ 700 kWh d'électricité, un système de commande centralisé et des appareils de domotique dans les bâtiments.

Parmi les objectifs, le microréseau prévoit expérimenter le concept pour le transposer aux réseaux situés en régions éloignées afin de diminuer le recours aux combustibles fossiles.



Lecture pour aller plus loin :

- Hydro-Québec, Microréseau de Lac-Mégantic. [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]



Les biocarburants

La combustion de biomasse pour le chauffage ou la cuisson est une pratique largement répandue à travers le monde. L'utilisation de la biomasse pour remplacer les carburants d'origine fossile est également possible. Ces matières organiques ont l'avantage de ne pas rejeter de carbone additionnel dans l'atmosphère. Ce carbone de sources végétales sera capté ensuite par la croissance des plantes. Le biocarburant est principalement utilisé dans le domaine des transports sous forme d'éthanol, de biodiesel ou de biocarburants aériens. Il est intégré en proportion variable à ses équivalents pétroliers. Plusieurs États disposent de réglementations encadrant la présence de biocarburants dans les carburants vendus. Lorsqu'ils sont ajoutés en faibles quantités, ils ne demandent généralement pas d'adaptation aux moteurs. C'est le cas de l'éthanol qui peut être mélangé à raison de 5 % à 10 % avec de l'essence pour la plupart des modèles de voitures récents.

On distingue les différentes générations de biocarburants selon l'origine de la biomasse requise pour les produire ou selon le processus chimique employé. L'éthanol de première génération provient de cultures comme les céréales, la canne ou la betterave. Le sucre contenu dans les plantes est fermenté et transformé en éthanol. Le biodiesel peut être obtenu à partir de plantes oléagineuses comme le colza, de graisses animales, d'huiles végétales usées, etc. Ces matières subissent un procédé chimique, appelé transestérification, pour obtenir des esters méthyliques d'acides gras (EMAG). L'utilisation de matières agricoles pour produire des biocarburants est toutefois critiquée en raison de son faible rendement énergétique et de la concurrence avec les cultures destinées à l'alimentation humaine. Ces procédés sont les plus répandus à l'heure actuelle, mais des biocarburants de seconde génération sont développés en réponse à ces enjeux. Ils sont obtenus par la transformation de biomasse résiduelle. Par exemple, l'éthanol cellulosique est obtenu à partir de résidus agricoles ou forestiers. Un procédé transforme la cellulose afin qu'elle puisse être convertie en alcool. Le processus de gazéification produit également du gaz de synthèse et ultimement du biodiesel à partir de biomasse résiduelle. Les biocarburants présentent l'avantage de relâcher moins de GES dans l'atmosphère que les équivalents fossiles. De plus, cette pratique stimule certains secteurs de l'économie comme l'agriculture et valorise la biomasse résiduelle. Cependant, la croissance de cette filière est limitée par la disponibilité de la biomasse. Elle doit être exploitée de manière durable, sans entrer en conflit avec l'alimentation humaine ou la préservation des sols et des habitats naturels. Des expérimentations sont menées sur la production de carburants à partir de formes de biomasse spécialement conçues pour cet usage. On les désigne comme des biocarburants de troisième génération. La culture de microalgues en réacteur constitue un exemple de cette approche, mais elle n'est pas encore déployée à l'échelle commerciale.



Lectures pour aller plus loin :

- Ville de Montréal, [Des biocarburants de nouvelle génération émergent à Montréal](#), 2017. [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]
- Ministère de la Transition écologique, [Biocarburants](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]



La captation du carbone pour atteindre le net zéro

Malgré les cibles de carboneutralité, la consommation de combustibles fossiles demeurera nécessaire dans certains contextes et continuera d'émettre des GES après 2050. Ce sera aussi le cas des procédés industriels ou des activités comme l'agriculture et la gestion des déchets. Pour arriver à une forme d'équilibre climatique en tenant compte des émissions résiduelles, tous les scénarios prévoient une utilisation plus ou moins importante de la captation et du stockage du CO₂. Il ne s'agit pas d'une manière de produire ou de consommer l'énergie, mais plutôt d'un moyen de la décarboner. L'Agence internationale de l'énergie donne un ordre de grandeur du recours potentiel à cette approche. Elle pourrait représenter environ 20 % des efforts de réduction des GES d'ici 2050. Le GIEC évalue quant à lui que « l'utilisation de ces technologies permettrait de capter et séquestrer 10 milliards de tonnes de CO₂ annuellement en 2050, soit environ 250 fois plus que ce qui existe aujourd'hui⁴⁷ ».

La manière la plus simple de capter et de séquestrer le carbone est de valoriser les puits naturels, comme les forêts et les sols. La seconde manière de retirer le carbone de l'atmosphère est de développer des approches de capture et de stockage. Malgré l'intérêt pour ces technologies, elles sont encore au stade d'expérimentation et se heurtent aux coûts élevés et difficilement justifiables tant que la tarification du carbone n'atteint pas un seuil suffisant. L'approche répandue consiste à capter le carbone à la source pour ensuite en disposer. Cela est faisable par de grands émetteurs comme des centrales thermiques. Néanmoins, nous avons là une technique non envisageable pour des sources diffuses ou de petite envergure tel que le tuyau d'échappement d'une automobile. Les procédés de captation du CO₂ à la source consomment aussi de l'énergie, ce qui affecte le rendement des équipements. L'usage de ce gaz aura des incidences sur le bilan global de l'opération de stockage de carbone. Le gaz peut être utilisé dans des procédés industriels, ou pour stimuler la croissance de plantes en serre. Dans ces cas, il n'est pas retiré de manière permanente de l'atmosphère. Des projets menés par l'industrie pétrolière mettent à profit le gaz carbonique pour faciliter l'extraction de pétrole de réservoirs souterrains⁴⁸. Certes, le CO₂ demeure piégé dans ces formations géologiques, mais en contrepartie, plus de combustibles fossiles sont extraits. Et ceux-ci seront ensuite brûlés et libéreront de nouveau des GES.

D'autres avenues de séquestration du carbone sont explorées, dont la captation directe, à même l'air ambiant. Cette technologie émergente n'est encore déployée qu'à une échelle modeste. Son coût se situe entre 100 \$ et 1000 \$ américains par tonne captée. En outre, les procédés consomment de l'énergie qu'il faut produire⁴⁹. Toutefois, des observateurs sont d'avis que ces projets sont appelés à jouer un rôle croissant pour l'atteinte de la carboneutralité. L'Agence

⁴⁷ Sacha Courtial, [Capture et stockage du carbone : une solution pour le climat ?](#), Open diplomacy. [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

⁴⁸ Carbon brief, [Around the world in 22 carbon capture projects](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

⁴⁹ IEA (AIE), [Direct Air Capture, Tracking report](#), novembre 2021.



internationale de l'énergie estime qu'elle devra s'élever à 85 Mt de CO₂ par an en 2030 et environ 980 Mt de CO₂ par an en 2050.

Des recherches sont menées sur l'utilisation du CO₂ retiré de l'atmosphère. Le stockage géologique par la minéralisation du gaz carbonique est une avenue envisagée. Mis en contact avec certains types de minéraux, ce gaz réagit pour former des carbonates. Il demeure ainsi séquestré de manière pérenne.

Captation directe du carbone : le projet Orca en Islande

Lancée en 2021, l'installation de captation directe de carbone dans l'air Orca est située en Islande. Elle se compose de huit modules pouvant capter chacun 500 tonnes de gaz carbonique sur une base annuelle. L'usine est alimentée en chaleur et en électricité par une centrale géothermique à proximité. Orca met aussi à profit la capacité des sols basaltiques du secteur à minéraliser le CO₂ extrait de l'atmosphère.



Lectures pour aller plus loin :

- Climeworks, [Orca: the first large-scale plant](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]
- Ross Linden-Fraser, « [Captage, utilisation et stockage du carbone](#) », Notes de la Colline, Bibliothèque du Parlement.
- Gwenolé Moal, « [La géo-ingénierie à la rescousse du climat ? Enjeux, acteurs et perspectives d'un symbole de l'Anthropocène](#) », Briefings de l'Ifri, Ifri, 4 février 2022.

4. UNE TRANSITION JUSTE ET ÉQUITABLE

La transition énergétique, bien que nécessaire pour éviter la crise climatique, fera des gagnants et des perdants. Elle redessine les rapports de force géopolitiques établis par l'exploitation pétrolière et gazière. De plus, certains actifs liés à l'exploitation du pétrole échoient et perdent leur valeur. Si les objectifs en matière climatique sont mis en œuvre, des pertes de l'ordre de 20 billions de dollars américains à l'horizon 2050 sont possibles, particulièrement si la transition ne s'effectue pas de manière ordonnée⁵⁰. Des millions d'emplois sont liés à l'exploitation des ressources fossiles et à la distribution de ces énergies. Enfin, depuis des années, des consommateurs bénéficient d'énergie abondante et à faible coût alors que d'autres n'y ont pas accès, soulevant des enjeux non résolus d'équité. C'est devant ces écueils potentiels qu'émerge la notion de transition juste et équitable.

⁵⁰ IRENA, [Stranded assets and renewables: how the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock](#), 2017, p. 6.



L'accès à l'énergie

À l'échelle mondiale, l'accès à l'énergie, notamment à l'électricité, n'est pas équitablement réparti. Parmi les 759 millions de personnes qui n'ont pas accès à l'électricité, la plupart se trouvent dans une vingtaine de pays d'Afrique subsaharienne et en Asie. L'un des objectifs de développement durable de l'ONU est consacré à l'accès à l'énergie propre et abordable. Les sous-objectifs poursuivis sont de garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables et modernes, à un coût abordable d'ici 2030, d'accroître nettement la part de l'énergie renouvelable dans le bouquet énergétique mondial et de multiplier par deux le taux mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique⁵¹. Certains progrès ont été réalisés depuis la dernière décennie, le pourcentage de personnes ayant accès à l'électricité est passé de 78 % à 90 % à l'échelle mondiale⁵².

Dans un contexte de transition énergétique rapide, il devient impératif de conjuguer ce nécessaire élargissement de l'accès à l'énergie, son abordabilité avec le développement de filières faibles en carbone. Pour atteindre cet objectif, la coopération et le développement des infrastructures sont aussi ciblés. Des partenariats se déploient à cet effet. À titre d'exemple, l'Union européenne et l'Agence internationale de l'énergie collaborent avec les États africains à l'initiative en faveur des énergies vertes. Les actions soutenues consistent par exemple « à allouer des fonds, apporter une assistance technique et à mettre à disposition d'autres instruments financiers pour soutenir l'investissement dans la production d'électricité d'origine renouvelable et pour agir en faveur de l'efficacité énergétique dans toute l'Afrique⁵³ ».

Développement de l'énergie renouvelable au Sahel

Né d'une action commune de cinq pays du Sahel en 2019, ce programme vise à contrer plusieurs lacunes du système énergétique de la région : forte dépendance aux combustibles fossiles, faible accès à l'électricité, infrastructures déficientes de production, de transmission et de distributions. À terme, 250 millions de personnes dans 11 pays pourront bénéficier de l'ajout de 10 GW de production solaire⁵⁴.

La faiblesse du système énergétique de la région nuit à son développement et à la qualité de vie de ses habitants. Paradoxalement, le Sahel dispose d'un grand potentiel en matière d'énergie solaire. Le projet s'articule autour de cinq objectifs :

⁵¹ Programme des Nations Unies pour le développement, [Objectif 7- énergie propre et d'un coût abordable](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

⁵² IEA (AIE), IRENA, UNSD, World Bank, WHO. 2021. [Tracking SDG 7: The Energy Progress Report](#). World Bank, Washington DC.

⁵³ Commission européenne, [Mettons fin à la pauvreté énergétique en Afrique : universaliser l'accès à l'électricité grâce aux énergies renouvelables](#), 17 juin 2021.

⁵⁴ Groupe de la Banque africaine de développement, [Desert-to-Power Initiative: 1st Progress Report for the G5 Sahel Countries](#), décembre 2020.



- Augmenter la capacité de production d'énergie solaire connectée au réseau;
- Renforcer et étendre les réseaux nationaux et régionaux;
- Déployer des solutions énergétiques décentralisées;
- Améliorer la capacité financière et opérationnelle des opérateurs publics d'électricité;
- Renforcer l'environnement favorable à l'accroissement des investissements privés.

Dans la phase initiale de planification, 85 projets ont été répertoriés, totalisant un apport potentiel de plus de 2 GW d'énergie et des investissements d'environ 3 milliards de dollars.



Lecture pour aller plus loin :

- Groupe de la Banque africaine de développement, *L'initiative Desert to Power*, 2021.

La précarité énergétique

Pour plusieurs ménages, peu importe le pays d'origine, l'énergie représente une grosse dépense. Dans certains cas, cette pression financière peut limiter leur capacité à bien chauffer ou à bien climatiser leur habitation pour en assurer le confort. Ultiment, le coût limite l'accomplissement de certaines tâches domestiques. Les causes de cette précarité peuvent être de faibles revenus, une mauvaise isolation du bâtiment, l'inefficacité de l'électricité et des prix croissants de l'énergie. Il n'existe pas de valeur absolue permettant de définir la pauvreté énergétique. Le Royaume-Uni fait figure de précurseur dans l'analyse de cette problématique. Il fixe le seuil à 10 % des revenus d'un ménage consacrés à l'énergie domestique. Cette réalité est loin d'être anecdotique. En Europe, plus de 50 millions de ménages éprouvent des difficultés à atteindre un confort thermique dans leur habitation⁵⁵. Dans un contexte de transition énergétique, l'intégration d'énergie renouvelable aux réseaux, le délaissement des combustibles fossiles, le remplacement des systèmes de chauffage et de climatisation et la tarification du carbone ont des incidences possibles sur les coûts de l'énergie. Les défis d'efficacité énergétique, notamment des bâtiments, sont majeurs. Ils servent à baisser la consommation des ménages et à réduire la part de l'énergie dans leurs dépenses. Certains États tentent de documenter ces questions et d'intervenir sur les causes de la précarité.

⁵⁵ Rachel Guyet, « Précarité énergétique et justice énergétique : un droit à l'énergie est-il pensable ? », *L'Europe en Formation*, vol. 378, n°4, 2015, p. 126-145.



Documenter la précarité énergétique en France

La France a enchâssé dans sa loi du 12 juillet 2010, dite Grenelle II, la notion de précarité énergétique. Dans la foulée de cette modification législative, l'Observatoire national de la précarité énergétique a tenté de quantifier le phénomène dans un premier rapport publié en 2014 et mis à jour en 2016.

Trois indicateurs principaux sont utilisés par l'Observatoire pour dresser les contours de la précarité énergétique. Le taux d'effort énergétique se définit comme les ménages consacrant 10 % de leurs revenus aux dépenses énergétiques et se situant dans les trois premiers déciles de revenu. Un autre indicateur est celui de revenu bas alors que les dépenses énergétiques rapportées à la taille des logements et la composition du ménage sont supérieures à la médiane. Enfin, le dernier critère est celui de la sensation de froid ressenti. L'observatoire estime que 5,6 millions de ménages répondent à au moins un des critères et que 1 million de ménages sont concernés par les trois à la fois.

Des actions pour améliorer la performance énergétique des logements et des aides au paiement de factures énergétiques sont proposées pour atténuer cette précarité.



Lecture pour aller plus loin :

- Ministère de la Transition écologique. [Lutte contre la précarité énergétique : chèque énergie, aides à la rénovation énergétique.](#) [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]

La délocalisation de la pollution et la dépendance aux métaux

La transition énergétique vers des énergies renouvelables ou faibles en carbone nous affranchit des combustibles fossiles, mais requiert de nombreux métaux et minerais. Ils se trouvent dans les aimants permanents, les batteries, les éoliennes, les panneaux solaires les catalyseurs, etc. L'Agence internationale de l'énergie évalue que, selon les scénarios considérés en ligne avec l'atteinte des cibles de l'Accord de Paris, la demande de minéraux augmentera de quatre à six fois d'ici 2040. La croissance de la demande de certains minéraux pourrait être encore plus forte, notamment le lithium et le graphite⁵⁶.

Certains de ces matériaux sont des ressources usuelles, mais pour d'autres, l'approvisionnement est jugé critique⁵⁷. Cette catégorisation ne dépend pas uniquement de leur abondance géologique. Elle prend en considération leur importance pour l'économie et les difficultés potentielles d'approvisionnement. On les trouve un peu partout dans le sol de la planète, mais souvent en concentration très faible. Leur exploitation complexe entraîne des impacts

⁵⁶ IEA (AIE), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, 2022, p. 9.

⁵⁷ Différentes listes de minéraux critiques ont été dressées. [Celle du Canada en comporte 31.](#)



environnementaux notables⁵⁸. De plus, les entités exploitant ces ressources minérales sont très concentrées, de sorte que l'approvisionnement dépend de certains joueurs, dont ceux de la Chine pour les terres rares. Une situation qui se traduit par une dépendance de plusieurs pays à des fournisseurs étrangers.

Alors que les installations servant à produire l'énergie renouvelable et l'électrification de secteurs comme la mobilité diminuent les rejets de CO₂ et de polluants atmosphériques dans les régions où ces technologies se déploient, l'exploitation des matériaux nécessaires peut être source de dégradation de l'environnement local, plutôt paradoxal. Il s'agit en quelque sorte d'une délocalisation de la pollution. Notons que l'offre mondiale actuelle de ces minéraux critiques ne s'avère pas suffisante pour mener une transition énergétique de l'ampleur de celle requise par la crise climatique actuelle⁵⁹. Les conséquences environnementales liées à l'exploitation croissante de ces ressources doivent, dans ces conditions, faire l'objet d'une attention particulière.

La voiture électrique, pas à zéro émission

L'électrification des transports, et plus particulièrement des véhicules privés, est considérée comme un moyen de réduire les émissions de GES. Les voitures électriques sont toutefois gourmandes en minéraux critiques, en particulier pour la fabrication de leur batterie. Elles contiennent, selon le type de batterie utilisé, environ 200 kg de métaux comme le cuivre, le lithium, le cobalt, le nickel, le manganèse, le graphite et des terres rares. À titre de comparaison, les voitures thermiques en contiennent seulement une trentaine de kilos, soit six fois moins⁶⁰. La croissance exponentielle de la demande de véhicules électriques amène des besoins immenses en matière de production des minéraux critiques. L'exploitation minière est source de pollution et émet également des GES.

Les procédés de fabrication de la batterie des véhicules électriques émettent aussi beaucoup de GES. Selon sa taille, la technologie et son lieu de fabrication, la seule fabrication de la batterie peut en émettre plusieurs tonnes. Simplement en considérant les émissions liées à leur fabrication, les voitures électriques demeurent une source de pollution.

Néanmoins, dans l'ensemble de leur cycle de vie, les véhicules électriques produisent nettement moins de GES que les voitures à moteur thermique. En Europe, les émissions d'une voiture électrique typique sont en moyenne moitié moindres sur l'ensemble de leur

⁵⁸ Guillaume Pitron, *La guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique et numérique*, Liens qui libèrent, février 2018, 250 p.

⁵⁹ IEA (AIE), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, 2022.

⁶⁰ IEA (AIE), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, 2022, p. 5-6.



cycle de vie. L'avantage de la voiture électrique peut encore s'accroître en décarbonant l'électricité requise tant lors de sa fabrication que lors de son utilisation. La réutilisation des batteries ou leur recyclage peuvent encore diminuer l'empreinte carbone de ce mode de transport et réduire la pression sur la demande de minéraux critiques.



Lectures pour aller plus loin :

- N. Lutsey, N. et D. Hall, *Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions*, The International Council on Clean Transportation, 2018.
- Davide Castelvecchi, « Electric cars and batteries: how will the world produce enough? », Nature, 596, 336-339, 2021.

La transition dans les régions dépendantes des combustibles fossiles

L'exploitation des hydrocarbures est synonyme de richesse et de prospérité pour plusieurs États. Néanmoins, les régions productrices subissent, elles aussi, les effets des changements climatiques. À titre d'exemple, les températures moyennes au Canada se réchauffent deux fois plus vite que la tendance mondiale et la situation dans le nord du pays est encore plus critique, le réchauffement y est trois fois plus rapide⁶¹. Le Moyen-Orient est aux prises avec une augmentation des températures extrêmes et des risques de pénurie en eau⁶². La lutte contre les changements climatiques et la diminution draconienne des émissions de GES sont incontournables, même pour les régions productrices de gaz et de pétrole.

La transition énergétique implique une transformation économique majeure pour ces régions. Dans certains cas, les revenus pétroliers représentent une grande part du budget des pays producteurs et les entreprises actives dans ces secteurs sont des employeurs importants. En raison de la diminution radicale de l'exploitation pétrolière nécessaire pour lutter contre les changements climatiques, l'Agence internationale de l'énergie estime que ces revenus pourraient diminuer de 75 % d'ici 2050⁶³. Cette transition entraînera aussi des pertes d'emplois dans ces industries.

La transition énergétique amène toutefois des débouchés économiques. Le développement du réseau électrique, les investissements en efficacité énergétique et aussi la mise en valeur de potentiels significatifs de production d'énergie renouvelable. En somme, des emplois seront perdus, mais la balance sera positive, car de nouveaux emplois seront créés. L'Agence internationale de l'énergie prévoit que dans un scénario de décarbonisation, 5 millions d'emplois seraient perdus dans le secteur pétrolier, mais 14 millions de postes s'ajouteraient dans les industries des énergies renouvelables⁶⁴. En somme, les investissements dans les énergies

⁶¹ Gouvernement du Canada, *Changements de la température au Canada*. [En ligne, consulté le 1^{er} mai 2022]

⁶² IEA (AIE), *The case for energy transitions in major oil- and gas-producing countries*, 2020.

⁶³ Raval, Anjali, Chloe Cornish et Neil Munshi, « Oil producers face costly transition as world looks to net-zero future », *Financial Times*, 26 mai 2021.

⁶⁴ IEA (AIE), *The importance of focusing on jobs and fairness in clean energy transitions*, 2021.



renouvelables entraînent une plus grande création d'emplois qu'un investissement comparable dans les énergies fossiles.

Ce portrait d'ensemble doit toutefois être nuancé à l'échelle des localités. Les créations d'emplois dans un contexte de transition énergétique ne seront pas nécessairement localisées dans les mêmes communautés que les pertes liées à l'abandon des industries fossiles. L'accompagnement des individus et des collectivités touchées apparaît d'autant incontournable, notamment avec des efforts de diversification économique.



Lectures pour aller plus loin :

- IEA (AIE), [Energy Transitions in the MENA Region](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]
- Simone Tagliapietra, « The impact of the global energy transition on MENA oil and gas producer », *Energy Strategy Reviews*, vol. 26, 2019.

La transition énergétique en contexte nordique : un équilibre entre risques et bénéfices

Dans le Nord canadien, les changements climatiques constituent une menace sérieuse. Tant les infrastructures que le mode de vie de la population sont menacés par ces changements rapides du milieu naturel. Cette région éloignée est, au surplus, largement dépendante des combustibles fossiles pour son approvisionnement en énergie. Les habitants du Nord sont conscients des impacts environnementaux négatifs de ces énergies. La transition énergétique, malgré ses avantages, comporte toutefois son lot de bouleversements pour les communautés locales. Des préoccupations sont soulevées sur le respect de l'intégrité du territoire lors de développement de sources d'énergies renouvelables comme les barrages hydroélectriques ou sur le maintien de l'autonomie locale. Au fil des ans, l'économie des communautés s'est aussi développée autour de l'approvisionnement et de la consommation d'énergie fossile. Des emplois ont été créés localement. La transition vers des énergies décarbonées pose des risques pour ces communautés tout en présentant des bénéfices potentiels importants pour leur développement économique.



Lectures pour aller plus loin :

- Ève Harbour-Marsan et Frédéric Lasserre, « [Perspectives inuites sur le développement des énergies renouvelables au Nunavik : un levier vers l'autodétermination?](#) », Espace populations sociétés, 2020/3-2021/1.
- Gouvernement du Canada, [Le Canada investit plus de 7,6 millions de dollars dans des projets communautaires d'énergie propre au Nunavut](#), Communiqué de presse, 6 avril 2021.
- Hydro-Québec, « [Transition énergétique au Nunavik : partenariat historique entre les Inuit et Hydro-Québec](#) », Communiqué de presse, 6 juin 2022.



Quel développement dans un contexte de transition énergétique?

Les pays riches consomment radicalement plus d'énergie que le reste du monde. Les émissions de GES par habitant y sont aussi en moyenne plusieurs fois supérieures. En vertu des impératifs d'équité, on ne peut refuser aux pays en voie de développement les avantages d'une énergie abordable et accessible. Pour autant, cet accès à l'énergie n'a pas à suivre le même chemin que celui emprunté par les économies occidentales. Il est possible de développer une économie en demeurant sobre en carbone. Le cas de l'Inde illustre cette situation. Pour faire face à l'urbanisation croissante et à l'augmentation de la demande en énergie, le pays a dû recourir massivement au pétrole et au charbon. Les émissions de GES du pays progressent, l'Inde est maintenant le troisième plus grand émetteur. Ses émissions par habitant demeurent toutefois bien inférieures à la moyenne mondiale. Dans ce pays, les projets d'énergie renouvelable se multiplient rapidement. Le pays aspire à ce que 50 % de son électricité provienne de sources renouvelables d'ici 2030 et vise la carboneutralité d'ici 2070⁶⁵. Ainsi, la transition énergétique ne se fait pas au détriment des besoins de développement des communautés et peut constituer un levier.

Projet agrivoltaïque pour répondre aux besoins des communautés

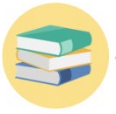
Le déploiement d'énergie renouvelable peut répondre à plus que de besoins énergétiques. Harvesting the sun twice, au Kenya, montre comment les impératifs de transition énergétique peuvent être conjugués avec les besoins locaux de développement. L'agrivoltaïque est un concept permettant de concilier agriculture et production d'énergie solaire. L'installation de panneaux photovoltaïques au sol demande de grandes superficies et entre en compétition avec d'autres usages, dont l'agriculture. Dans le cas des systèmes agrivoltaïques, les panneaux solaires sont installés en hauteur, pour que le travail du sol soit possible. Ils ne couvrent qu'un pourcentage réduit de la surface afin de ne pas couper entièrement l'ensoleillement requis par les cultures.

Ce projet mené en collaboration entre des institutions de recherches et des partenaires locaux présente plusieurs intérêts. Au Kenya, les changements climatiques menacent la survie même de l'agriculture. Les rendements de cette région pourraient diminuer de 8 % à 45 % au cours des prochaines décennies. La hausse des températures est néfaste pour les cultures, tout comme le changement au régime des précipitations. Le développement de systèmes agrivoltaïques adaptés au contexte vise à évaluer dans quelle mesure il est possible à la fois de fournir de l'électricité abordable aux communautés et aux exploitations agricoles, d'installer un système pour capter l'eau de pluie à des fins d'irrigation tout en fournissant de l'ombre aux cultures. Cela a l'avantage d'éviter le stress

⁶⁵ IEA (AIE), [India's clean energy transition is rapidly underway, benefiting the entire world](#), 10 janvier 2022.



thermique et l'évaporation accrue d'une pleine exposition au soleil dans un climat semi-aride.



Lectures pour aller plus loin :

- The University of Sheffield, [Harvesting the sun twice](#). [En ligne, consulté le 22 avril 2022.]
- Geoffrey Kamadi, « [Kenya to use solar panels to boost crops by 'harvesting the sun twice'](#) », The Guardian, 22 février 2022.

Les très courts délais pour réaliser la transition énergétique tout en respectant les cibles établies dans l'Accord de Paris font en sorte que ce processus ne peut pas simplement être envisagé comme le remplacement d'une forme d'énergie par une autre. Les coûts associés à une transition désordonnée s'avèrent colossaux. Cette situation milite pour le développement d'approches cohérentes. La réalité de la consommation d'énergie est radicalement différente entre les régions du monde. D'un côté, elle est gaspillée sans compter alors que des centaines de millions de personnes n'ont pas accès à un approvisionnement fiable d'électricité. Pour réussir et être acceptable, cette transition se doit d'être juste et équitable. Au-delà de l'approche technologique, elle pose les incontournables questions de l'efficacité et de l'économie énergétiques. Ces questions sont d'ailleurs au centre du dernier rapport du GIEC détaillant les avenues possibles pour mitiger et s'adapter aux changements climatiques.

