

Résumé

Livre sur les technologies vertes 2023



Résumé

Amorcer la dynamique

Nous sommes en état d'urgence climatique. Pour limiter les conséquences catastrophiques du changement climatique, il faut une refonte complète de nos systèmes. Cependant, un espoir subsiste. Les sources d'émissions de gaz à effet de serre (GES) sont nombreuses, mais les technologies permettant d'y remédier le sont tout autant.

En outre, les options disponibles dans tous les secteurs sont suffisantes pour réduire au moins de moitié les émissions d'ici à 2030¹. Qui plus est, la technologie et l'innovation font partie intégrante de la solution. Quatre-vingts pour cent des technologies requises pour atteindre les objectifs climatiques fixés pour 2030 sont déjà sur le marché², et beaucoup d'autres sont en train de voir le jour. Les technologies visant à réduire la consommation d'énergie, à électrifier les transports et à améliorer l'efficacité des matériaux sont quelques-unes seulement des nombreuses options présentées dans le *Livre sur les technologies vertes* de cette année. Les écosystèmes nationaux de l'innovation sont la source de toutes ces nouvelles opportunités. Tout écosystème de l'innovation nécessite, pour bien fonctionner, un système de droits de propriété intellectuelle efficace et équitable qui, à lui seul, stimule l'innovation et contribue à la diffusion des technologies sur les marchés mondiaux.

Cette année est celle du Bilan mondial, au cours duquel les pays font le point sur leurs plans d'action climatiques à l'échelle nationale afin de revoir leurs ambitions à la hausse pour les années à venir. Au-delà de la sphère nationale, un nombre croissant d'acteurs non étatiques, parmi lesquels on peut citer le secteur privé, le monde universitaire et la société civile, travaillent sans relâche pour concrétiser la vision exposée dans l'accord de Paris.

Quatre-vingts pour cent des technologies requises pour atteindre les objectifs climatiques fixés pour 2030 sont déjà sur le marché, et beaucoup d'autres sont en train de voir le jour.

Du savoir aux actes

La première édition du *Livre sur les technologies vertes* traitait des technologies d'adaptation au changement climatique. Dans cette deuxième édition, nous présentons des solutions concrètes pour atténuer le changement climatique en montrant la richesse des innovations et des technologies abouties ou émergentes disponibles. Cette publication analyse 10 secteurs répartis en trois grandes catégories :

- **Les villes**
 - Le chauffage et le refroidissement efficaces
 - La mobilité intelligente
 - L'efficacité des matériaux et la gestion durable des déchets
- **L'agriculture et l'utilisation des sols**
 - L'élevage
 - Les sols, le changement d'affectation des terres et la sylviculture
 - La culture du riz
 - Les données et l'agriculture de précision

- **Les entreprises**
 - Le fer et l'acier
 - Le ciment
 - L'industrie 4.0

Plus de 600 technologies d'atténuation et d'adaptation au climat – un nombre qui ne cesse d'augmenter – ont été recensées pour la collection du *Livre sur les technologies vertes* dans la base de données WIPO GREEN sur les besoins et les technologies³. Cette publication présente certaines d'entre elles liées à l'atténuation des effets du changement climatique. Les fournisseurs de solutions peuvent mettre en ligne un aperçu de leur technologie dans la base de données, ce qui en fait une source d'innovations et de technologies vertes en constante évolution. En mettant les technologies sur le devant de la scène, nous voulons faire bouger les choses. Le moment est venu de développer et de déployer rapidement des solutions qui permettent de sortir de la dépendance au carbone et d'aller de l'avant dans la transformation.

Les fournisseurs de solutions peuvent mettre en ligne un aperçu de leur technologie dans la base de données, ce qui en fait une source d'innovations et de technologies vertes en constante évolution.

Concevoir des villes circulaires et intelligentes

C'est principalement dans les villes que la bataille climatique se jouera. C'est là que sont construits les bâtiments, que sont consommés l'énergie et les aliments, que sont produits les déchets et que sont transportées les personnes et les marchandises. Au niveau des véhicules, la multiplication des voitures électriques a largement dépassé les attentes dans de nombreuses villes. Les progrès réalisés dans la technologie des batteries, l'intégration des véhicules au réseau électrique et les stations de recharge ont joué un rôle important. Toutefois, bien que le marché des véhicules électriques soit en pleine expansion, il en va de même pour les SUV, qui consomment beaucoup de carburant et qui représentent à eux seuls un tiers de la croissance totale de la demande de pétrole entre 2021 et 2022⁴. En outre, le prix des voitures électriques n'est pas encore à la portée de tous, en particulier dans les pays émergents ou en développement. Bien qu'il existe de nombreuses options électriques pour l'usage personnel ou le transport de marchandises, y compris des options à deux roues, la réduction effective des émissions du secteur des transports passe par des innovations qui sortent du cadre des véhicules individuels. Par exemple, les technologies telles que les systèmes intelligents de gestion du trafic, les outils de modélisation urbaine et les plateformes de services de mobilité peuvent contribuer concrètement à l'amélioration des politiques en faveur des villes compactes et des transports publics.

Des technologies de chauffage et de refroidissement à haut rendement énergétique et des frigorigènes alternatifs sont déjà sur le marché. On peut citer à titre d'exemple les nouveaux types de pompes à chaleur, les matériaux d'isolation modernes et les technologies intelligentes capables d'ajuster les flux de chauffage et de refroidissement en fonction de la demande d'un bâtiment. Pourtant, ces solutions sont rarement le premier choix des consommateurs, d'où la nécessité d'innover davantage pour que celles-ci soient à la fois plus abordables et plus accessibles. Parallèlement, le nombre de climatiseurs installés dans le monde monte en flèche, et le chauffage est le plus gros consommateur d'énergie. Dans un nombre croissant de villes, le chauffage et le refroidissement urbains (systèmes centralisés au niveau du quartier) contribuent à réduire la consommation d'énergie et permettent l'intégration des énergies renouvelables. Toutefois, la réduction des émissions dans ces secteurs doit aller au-delà de l'amélioration de l'efficacité opérationnelle. Les technologies peuvent contribuer à répondre à la demande de chauffage et de refroidissement en permettant une conception intelligente des bâtiments en fonction des conditions climatiques. Les techniques de chauffage et de refroidissement passifs existent depuis des siècles. Plusieurs pays sont en train de moderniser ces techniques éprouvées et de faire connaître leurs principes de conception au travers de codes de construction et de normes d'efficacité énergétique.

Cette publication reconnaît en outre que l'efficacité des matériaux et la gestion durable des déchets dans les villes sont un levier important pour la réduction des émissions. Des matériaux de construction au bois en passant par le plastique et le verre, le doublement attendu de l'utilisation des matériaux d'ici à 2050 passe avant tout par des solutions innovantes pour une meilleure circularité. Ces solutions ne sont plus une option, mais une nécessité pour l'action climatique. Les progrès réalisés dans les technologies de tri, notamment en ce qui concerne la robotique et

les scanners optiques, permettent une augmentation des taux de récupération des déchets. Des technologies de recyclage innovantes permettent désormais de traiter des produits autrement difficiles à recycler, tels que les pneus et les pales d'éoliennes.

Certaines technologies de gestion des déchets sont elles-mêmes des sources majeures d'émissions. Des pays comme le Danemark abandonnent l'incinération des déchets en raison de son inefficacité et de son taux d'émissions élevé. Plusieurs nouvelles technologies de recyclage, telles que le recyclage chimique, se sont révélées gourmandes en énergie, ce qui nécessite une réflexion plus ciblée sur le cycle de vie, axée sur la viabilité de la technologie d'un point de vue climatique. Cela met également en évidence le besoin d'innovation et de technologies plus en amont. On voit se multiplier dans de nombreuses villes les stations de consignation et de recharge de bouteilles, de canettes, d'eau et de produits détergents. Parallèlement, les outils numériques permettent d'améliorer la conception des bâtiments et des produits afin de permettre leur réutilisation, tels que les passeports de matériaux. En outre, les plateformes en ligne de copropriété et de partage pour des produits aussi divers que des voitures, des outils ou des immeubles de bureaux réduisent la demande de fabrication de nouveaux produits.

Agriculture régénérative et agritechologie

Les systèmes alimentaires mondiaux et le secteur agricole sont sous pression. Il existe un besoin prononcé de produire davantage afin de nourrir une population mondiale grandissante, ce qui s'accompagne souvent d'une demande accrue de produits transformés et à fortes émissions. L'empreinte du secteur agricole sur l'environnement et le changement climatique est considérable, les émissions de méthane étant particulièrement importantes. L'agriculture, l'utilisation des terres et la gestion des terres représentent environ 22% des émissions de gaz à effet de serre⁵, occupent 38% de la surface de la Terre⁶ et sont responsables de 70% des prélèvements d'eau douce dans le monde⁷. Il s'agit donc d'un secteur où l'atténuation du changement climatique est essentielle. En outre, ce secteur est très vulnérable aux effets du changement climatique et le type de mesures d'adaptation au changement climatique décrites dans le *Livre sur les technologies vertes* de l'année dernière sont requises de toute urgence.

Cette édition se concentre sur les principaux secteurs émetteurs au sein de l'agriculture, et examine également les mérites de la frontière technologique hautement sophistiquée en matière de données et d'agriculture de précision. L'élevage est une source majeure d'émissions, principalement en raison du méthane dégagé par les ruminants. Les émissions peuvent être réduites à l'aide de mesures axées sur l'offre et la demande. Du côté de l'offre, il existe une forte corrélation entre la productivité et les émissions par quantité de viande ou de lait produite, ce qui signifie que les émissions liées à la production de viande et de produits laitiers peuvent être réduites moyennant une augmentation de la productivité. Pour autant qu'une telle augmentation de la productivité soit sans incidence sur l'environnement ou sur le bien-être des animaux, elle peut contribuer à limiter l'utilisation des terres et de l'eau.

L'agriculture, l'utilisation des terres et la gestion des terres représentent environ 22% des émissions de gaz à effet de serre, occupent 38% de la surface de la Terre et sont responsables de 70% des prélèvements d'eau douce dans le monde.

Mais l'innovation offre de nouvelles options. L'une des plus prometteuses est celle des additifs alimentaires. Les algues ajoutées à l'alimentation du bétail peuvent avoir un effet direct sur le processus de fermentation entérique et réduire considérablement la production de méthane. L'innovation vise également en grande partie à répondre à la demande en viande par la recherche de substituts acceptables pour le consommateur en général. Plusieurs solutions sont actuellement proposées aux consommateurs. Toutefois, si les avantages de cette approche sont évidents pour ce qui est d'éviter la cruauté envers les animaux, les avantages réels pour l'environnement doivent encore être déterminés. L'abandon des protéines animales au profit de produits dérivés de plantes et de champignons dans la production de masse d'une large gamme de produits alimentaires transformés pourrait avoir un impact potentiel plus important à cet égard.

Le chapitre 3, intitulé "Agriculture et utilisation des terres", traite également de la gestion des pâturages et des terres. Le sol stocke de grandes quantités de carbone sous une forme relativement stable. Les pratiques agricoles intensives et les engrais chimiques qui provoquent la dégradation et l'érosion des sols, ainsi que la déforestation,

entraînent la libération de ce stock de carbone. La gestion rigoureuse des terres, l'agriculture régénérative et les innovations qui augmentent la teneur en carbone des sols ont toutes un fort potentiel d'atténuation. Toutefois, cela dépend de leur intégration dans les pratiques agricoles d'un grand nombre d'agriculteurs.

La riziculture est un système de culture particulièrement préoccupant pour le climat, car elle implique l'inondation des champs, ce qui libère du méthane. Dans une région productrice de riz comme l'Asie du Sud-Est, la culture du riz est responsable de 25 à 33% des émissions de méthane^{8,9,10}. Elle utilise également une grande quantité d'eau douce, ce qui la rend très vulnérable aux effets du changement climatique. Des améliorations de la productivité impliquant une réduction de l'utilisation de l'eau sur des terres moins étendues peuvent contribuer à réduire les émissions. De nouveaux systèmes de culture dans lesquels les champs sont inondés pendant une période plus courte ont donné des résultats prometteurs dans les endroits où ils peuvent être mis en œuvre.

Comme dans de nombreux autres secteurs, les technologies de l'information et les données peuvent faciliter la transition vers des systèmes à plus faibles émissions. Dans l'agriculture, les technologies de pointe permettent de limiter les déchets, de réduire les intrants tels que les engrais, les pesticides et l'eau, et d'optimiser les conditions de croissance des plantes. La solution radicale qui consiste à renoncer totalement à l'utilisation du sol et à déplacer la production à l'intérieur grâce à la culture hydroponique et à l'agriculture verticale est déjà bien établie et ne cesse d'évoluer, avec un important potentiel de réduction des émissions. Diverses machines agricoles semi-autonomes ou entièrement autonomes sont capables d'accomplir des tâches agricoles plus efficacement, avec un degré élevé de précision. En outre, les systèmes et les outils destinés à aider les agriculteurs à prendre des décisions et à accéder au financement pour passer à des pratiques agricoles régénératives sont de plus en plus répandus et de plus en plus simples à utiliser. Les images satellites à haute résolution et en libre accès jouent un rôle important à cet égard. Beaucoup de ces machines de pointe et de ces nouvelles technologies ne sont pas encore très répandues dans les zones rurales à faibles revenus. Toutefois, de nouveaux modèles d'accès, de propriété et d'entreprises de services agricoles pourraient faciliter le déploiement de ces solutions à plus grande échelle parmi les petits exploitants agricoles.

Décarboner la production de ciment et d'acier

L'acier et le ciment sont de gros émetteurs de gaz à effet de serre. Ils sont souvent considérés comme deux secteurs difficiles à décarboner. Toutefois, cette vision des choses masque le fait que des solutions existent. Un moyen particulièrement efficace de réduire les émissions du ciment consiste à réduire l'utilisation de clinker. Le clinker est un ingrédient couramment utilisé dans la production de ciment. Il est fabriqué en chauffant des matières premières telles que le calcaire, selon un processus qui nécessite des températures élevées et émet des gaz à effet de serre. En remplaçant partiellement le clinker par d'autres substances, on obtient l'un des meilleurs résultats en matière de réduction des émissions de ciment. Pourtant, dans le même temps, le rapport clinker/ciment augmente dans le monde entier.

De nombreux fours à acier arrivent en fin de vie. Les remplacer par des hauts fourneaux conventionnels à fortes émissions entraînera un verrouillage carbone pendant des décennies, jusqu'à ce que leur valeur d'investissement soit amortie. La décarbonation de l'acier et du ciment est un défi, mais elle n'est pas impossible. Nous connaissons les technologies nécessaires, mais nous ne les mettons pas en œuvre dans la mesure requise. Plusieurs technologies de production d'acier et de ciment respectueuses du climat sont déjà au point et disponibles, notamment le minerai de fer pré-réduit, l'électrification et l'utilisation de substituts du clinker.

Toutefois, diminuer simplement les émissions provenant de la production d'acier et de ciment ne suffira pas. Pour réduire efficacement les émissions totales du secteur dans un contexte d'explosion de la demande, la gestion de ces deux matériaux, ainsi que de leur demande, doivent faire l'objet d'une plus grande attention. Souvent, les projets de construction utilisent des quantités excessives d'acier et de ciment. Des millions de bâtiments et de bureaux dans le monde restent vides ou sont démolis avant d'atteindre leur fin de vie. Prolonger l'utilité et la durée de vie d'un bâtiment, concevoir pour une utilisation efficace des matériaux et employer des matériaux légers et à faible émission de carbone sont autant d'éléments essentiels à la réduction des émissions. Les plateformes de partage numérique et les outils de conception, les technologies de recyclage de pointe et l'innovation en matière de matériaux sont des éléments clés d'une telle chaîne d'approvisionnement circulaire.

Les technologies permettant une utilisation plus efficace de l'acier et du ciment sont très prometteuses pour la réalisation des objectifs climatiques. Cependant, certaines technologies émergentes, telles que le captage et le stockage du CO₂, le captage, le stockage et la valorisation du CO₂ et l'hydrogène vert, retiennent actuellement davantage l'attention. Il semblerait que l'accent soit mis sur l'amélioration des processus de production et le captage du carbone plutôt que sur l'utilisation efficace des matériaux, en raison d'un manque d'incitations financières et commerciales pour les fabricants. Dans le même temps, la mise en œuvre des technologies de captage et de stockage du CO₂ et de captage, de stockage et de valorisation du CO₂, ainsi que l'hydrogène vert, est encore très lente et n'a pas eu d'impact significatif dans les principaux pays producteurs d'acier et de ciment, en particulier. Ces

deux secteurs ont également tardé à adopter les technologies numériques de pointe pour optimiser l'utilisation de l'énergie et les processus. Les secteurs de l'acier et du ciment sont des secteurs qui ont particulièrement besoin de poursuivre la recherche-développement technologique s'ils veulent atteindre le zéro émission nette d'ici à 2050.

Les technologies climatiques doivent répondre à la fois à l'offre et à la demande

Les gouvernements et les villes doivent rapidement mettre au point des technologies visant à atténuer les effets du changement climatique et les appliquer à plus grande échelle. Cependant, aujourd'hui plus que jamais, le choix de la technologie est important. L'optimisation des systèmes actuels ne suffira pas si nous voulons atteindre nos objectifs en matière de climat. Dans la plupart des pays, le rôle central des énergies renouvelables dans l'élimination progressive des combustibles fossiles a été reconnu. Une attention moindre a été accordée au rôle de la technologie et de l'innovation dans la gestion de notre demande croissante de matériaux et de ressources, et dans l'amélioration de la circularité. Et ce, bien que l'utilisation des matériaux soit le principal moteur d'une triple crise planétaire caractérisée par le changement climatique, l'appauvrissement de la biodiversité et les effets de la pollution sur la santé.

De nombreux rapports sur les technologies climatiques mettent l'accent sur leur rôle dans la réduction des émissions du côté de l'offre, par exemple par le remplacement des combustibles fossiles et le rendement énergétique. Le Livre des technologies vertes est différent en ce sens qu'il reconnaît également l'énorme potentiel inexploité de la gestion de la demande. La demande de ressources augmentant de manière exponentielle, nous devons repenser les moyens de fournir des services sociaux de base, tels que l'alimentation, le logement et la mobilité, et faire plus avec moins.

La technologie est une des pièces centrales du puzzle. Elle peut permettre aux économies développées, émergentes et en développement d'utiliser les ressources de manière plus efficace. Elle nous permet également de remplacer les matériaux à haute teneur en carbone et d'intégrer systématiquement les perspectives climatiques dans le développement de nos villes, de nos bâtiments, de nos produits et de nos systèmes alimentaires. Comme l'a récemment déclaré le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), *éviter, changer et améliorer* la demande de services peut permettre de réduire les émissions de GES de 40 à 70% à l'échelle mondiale d'ici à 2050^{11,12}.

Cela passe par une modification de nos investissements, de nos politiques et de nos comportements. La technologie et l'innovation ont le pouvoir de permettre la transformation des systèmes plutôt que de simplement améliorer le statu quo, de nombreuses technologies offrant des options sans regret pour les économies développées comme pour les économies en développement. Les technologies numériques méritent une mention spéciale ici, étant donné leur potentiel de mieux concilier l'offre et la demande, d'éviter les déchets de production inutiles et de permettre la conception et l'utilisation de systèmes circulaires. Cette publication met en lumière un large éventail de technologies relatives aux activités des villes, à l'agriculture et à l'utilisation des sols, ainsi qu'à l'industrie.

Notes

- 1 GIEC (2022), *Changement climatique 2022 : Atténuation du changement climatique*. Résumé technique. Contribution du Groupe de travail III au sixième rapport d'évaluation du GIEC, Cambridge, Royaume-Uni : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Disponible à l'adresse <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>.
- 2 IEA (2021), *Net Zero by 2050. A roadmap for the global energy sector*. Paris : Agence internationale de l'énergie (IEA). Disponible à l'adresse <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- 3 L'introduction fournit de plus amples informations sur la manière dont nous définissons, identifions et sélectionnons les technologies éprouvées, les technologies de pointe et les technologies d'avenir présentées dans le *Livre sur les technologies vertes*.
- 4 Cozzi, L., *et al.* (2023), À mesure que les ventes de SUV augmentent, les émissions mondiales de CO₂ de ces véhicules avoisinent le milliard de tonnes. Agence internationale de l'énergie (IEA). Disponible à l'adresse <https://www.iea.org/commentaries/as-their-sales-continue-to-rise-suvs-global-co2-emissions-are-nearing-1-billion-tonnes> [dernière consultation : septembre 2023].
- 5 GIEC (2023). Rapport de synthèse du sixième rapport d'évaluation du GIEC. Résumé à l'intention des décideurs. Genève : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Disponible à l'adresse <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.
- 6 FAO (2023), *Utilisation des terres à des fins agricoles, en chiffres*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Disponible à l'adresse <http://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/> [dernière consultation : mai 2023].
- 7 Banque mondiale (2023), Eau et agriculture. Banque mondiale. Disponible à l'adresse <https://www.worldbank.org/fr/topic/water-in-agriculture> [dernière consultation : mai 2023].
- 8 Umali-Deininger, D. (2022), *Greening the rice we eat*. Washington, DC : Banque mondiale, disponible à l'adresse https://blogs.worldbank.org/eastasiapacific/greening-rice-we-eat?cid=SHR_BlogSiteEmail_EN_EXT.
- 9 Kurnik, J. et K. Devine (2022), *Innovation in reducing methane emissions from the food sector: Side of rice, hold the methane*. Fonds mondial pour la nature. Disponible à l'adresse : <https://www.worldwildlife.org/blogs/sustainability-works/posts/innovation-in-reducing-methane-emissions-from-the-food-sector-side-of-rice-hold-the-methane> [Dernière consultation : juillet 2023].
- 10 WRI (2023), *Our world in data: Emissions by sector*. World Resources Institute (WRI). Disponible à l'adresse <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> [dernière consultation : juin 2023].
- 11 Cette estimation concerne la réduction potentielle des émissions dans les bâtiments, le transport terrestre et l'alimentation d'ici à 2050 (degré de confiance élevé).
- 12 GIEC (2023), Rapport de synthèse du sixième rapport d'évaluation du GIEC. Résumé à l'intention des décideurs. Genève : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Disponible à l'adresse <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

