

PERSPECTIVES POUR LES TRANSITIONS ÉNERGÉTIQUES MONDIALES

TRAJECTOIRE VERS L'OBJECTIF DE 1,5°C

RÉSUMÉ

© IRENA 2021

Sauf indication contraire, le contenu de la présente publication peut être librement utilisé, partagé, copié, reproduit, imprimé et/ou stocké, à condition de mentionner l'IRENA comme étant la source et le propriétaire des droits d'auteur. Les éléments de la présente publication attribués à des tiers pouvant faire l'objet de conditions d'utilisation distinctes, il peut être nécessaire d'obtenir les autorisations correspondantes de ces tiers avant d'utiliser ces éléments.

CITATION

IRENA (2021), *Perspectives pour les transitions énergétiques mondiales : Trajectoire vers l'objectif de 1.5°C*, Agence internationale pour les énergies renouvelables, Abou Dhabi.

Le présent résumé est une traduction de « World Energy Transitions Outlook : 1.5°C Pathway » ISBN : 978-92-9260-334-2" (2021). En cas de divergence entre la présente traduction et l'original anglais, ce dernier fait autorité.

Disponible au téléchargement : www.irena.org/publications

Pour de plus amples informations ou nous faire parvenir vos suggestions : publications@irena.org

À PROPOS DE L'IRENA

L'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) constitue à la fois la plateforme principale pour la coopération internationale, mais aussi un centre d'excellence, un référentiel en matière de politiques, de technologies, de ressources et de connaissances financières, ainsi qu'un moteur d'action sur le terrain destiné à promouvoir la transformation du système énergétique mondial. Organisation intergouvernementale mondiale créée en 2011, l'IRENA promeut l'adoption généralisée et l'utilisation durable de toutes les formes d'énergies renouvelables, notamment la bioénergie, la géothermie, l'hydroélectricité, l'énergie des océans, l'énergie solaire et éolienne, dans la poursuite des efforts visant à un développement durable, à l'accès à l'énergie, à la sécurité énergétique, à la croissance et à la prospérité économiques pauvre en carbone.

www.irena.org

CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

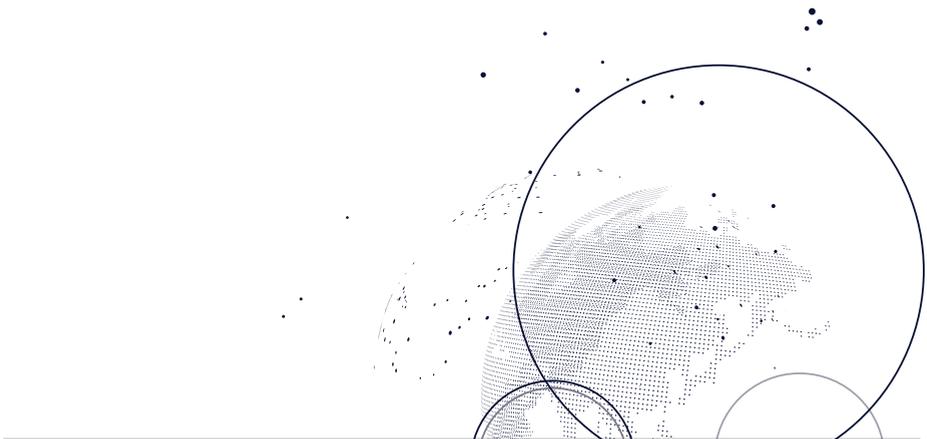
La présente publication et les éléments qu'elle contient sont fournis « en l'état ». Toutes les précautions raisonnables ont été prises par l'IRENA afin de vérifier la fiabilité du contenu de cette publication. Néanmoins, ni l'IRENA ni aucun de ses fonctionnaires, agents, fournisseurs de contenu tiers ou de données ne peuvent fournir de garantie de quelque nature que ce soit, exprimée ou implicite. Ils déclinent donc toute responsabilité quant aux conséquences découlant de l'utilisation de cette publication ou de son contenu.

Les informations contenues dans le présent document ne reflètent pas nécessairement les positions de tous les Membres de l'IRENA. La mention d'entreprises spécifiques ou de projets ou produits particuliers ne signifie pas qu'ils sont approuvés ou recommandés par l'IRENA au détriment d'autres éléments de nature similaire qui ne sont pas mentionnés. Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'IRENA, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites territoriales.

PERSPECTIVES POUR LES TRANSITIONS ÉNERGÉTIQUES MONDIALES

TRAJECTOIRE vers l'objectif de 1.5°C

RÉSUMÉ



AVANT-PROPOS

Le temps presse. La fenêtre se referme et notre voie vers un avenir à zéro émission nette est en train de rétrécir. Tel est le message clair que j'ai voulu faire passer sans ambiguïté lors de la publication de l'aperçu des *Perspectives pour les transitions énergétiques mondiales* à l'occasion du Dialogue de Berlin sur les transitions énergétiques qui s'est tenu cette année. Les scientifiques sont catégoriques : d'ici 2030, il faudra réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre de 45% par rapport aux niveaux de 2010. Malheureusement, les tendances récentes montrent que l'écart se creuse entre notre situation et ce que nous devrions atteindre. Nous sommes sur la mauvaise voie, et c'est maintenant qu'il faut changer de cap.

Les choix que nous ferons dans les années à venir auront des conséquences graves. Ils pourraient nous mettre sur la voie des objectifs que nous avons fixés en 2015, lorsque nous avons adopté des accords internationaux sur le développement durable et les changements climatiques qui tiraient les justes conséquences de la situation ; ou alors, à l'inverse nous mener vers un réchauffement plus intense, dont les retombées seraient profondes et irréversibles sur les plans économique et humanitaire.

Lorsque les temps sont incertains, il est malaisé de prédire ou d'anticiper des faits. Toutefois, plusieurs tendances façonnent la transition énergétique en cours et donnent une indication de la direction empruntée. Premièrement, les coûts des technologies renouvelables ont chuté au point que les nouvelles capacités de production d'électricité fonctionnant aux combustibles fossiles ne constituent plus une option intéressante. Deuxièmement, les progrès du secteur de l'énergie ont une influence sur les utilisations finales, et permettent d'élargir les possibilités grâce au grand nombre d'options renouvelables aujourd'hui disponibles. Troisièmement, il fait consensus qu'une transition énergétique fondée sur les sources d'énergies renouvelables et les technologies efficaces est notre seule chance de nous donner une chance de limiter le réchauffement climatique à 1,5°C d'ici 2050. Il y a quelques années à peine, l'approche centrée sur les énergies renouvelables adoptée par l'IRENA était considérée comme trop progressiste, idéaliste, voire irréaliste. Notre vision, désormais dominante, est aujourd'hui reconnue comme étant la seule option réaliste et sans danger pour le climat. La preuve en est le nombre croissant d'engagements pris par des pays du monde entier envers des stratégies à zéro émission nette, qui créent un élan politique sans précédent en faveur d'un changement transformateur.

Les *Perspectives pour les transitions énergétiques mondiales* de l'IRENA esquissent les pistes qui nous permettront de sortir de la crise climatique et de nous orienter vers un monde résilient et plus équitable. Elles montrent clairement les options dont nous disposons aujourd'hui et les lacunes à combler. L'analyse et les options présentées donnent la priorité aux solutions existantes de réduction des émissions et à celles qui ont le plus de chances de devenir viables dans les années à venir. Cette étude ne mise pas sur des technologies non éprouvées ni sur d'hypothétiques futures inventions, mais encourage les innovations indispensables au perfectionnement et au suivi de la voie la plus rapide vers la réduction des émissions.

Les Perspectives proposent une solution plausible au problème de la décarbonisation de tous les usages de l'énergie, l'électrification et l'efficacité énergétique étant ses principaux moteurs, grâce aux énergies renouvelables, à l'hydrogène vert et à une bioénergie moderne et durable. Aussi rigoureux et exhaustifs soient-ils, un scénario et les hypothèses qui lui sont associées ne sont toutefois jamais qu'un instrument destiné à éclairer l'élaboration de politiques. Pour faire de cette vision d'avenir de l'énergie une réalité, nous devons repousser les limites des infrastructures existantes conçues pour les combustibles du passé. Ce ne sont pas des décisions qu'on peut prendre à la légère. Il est impératif de réconcilier les objectifs de développement économique et humain, les préoccupations en matière environnementale et les canaux de financement.

Dans un tel contexte, le rôle de l'IRENA est essentiel.

Les Perspectives montrent que, si l'on dépasse le cadre étroit de l'approvisionnement en énergie, une transition fondée sur les énergies renouvelables permet d'accéder à tout un éventail de précieux bénéfices. Les Perspectives présentent ainsi les cadres politiques nécessaires pour s'acheminer vers une transition juste et inclusive. Elles permettent de mieux comprendre les changements structurels et offrent un cadre quantitatif pour des impacts tels que le produit intérieur brut (PIB), l'emploi et le bien-être. Le rapport examine également les structures de financement afin de mettre en évidence les nécessaires évolutions des marchés de capitaux.

Cette connaissance fournit ainsi à l'IRENA le fondement nécessaire pour aider les pays à réaliser leurs priorités et à transformer leurs stratégies en mesures concrètes. Nos 164 Membres nous montrent à quel point l'action collective peut être un moteur de progrès dans le monde. Ils nous permettent de situer les principaux besoins et les principales lacunes.

C'est cette portée mondiale qui confère à l'Agence la crédibilité – et le privilège – de soutenir la coopération internationale sur l'ensemble des questions liées à la transition énergétique, en vue d'aider les pays à apprendre les uns des autres et à tirer parti de notre longue expérience. Nous travaillons activement avec nos partenaires, et notamment avec le secteur privé, pour constituer une plateforme dynamique capable d'encourager l'action, la mise en œuvre d'une planification prévoyante, l'élaboration de politiques holistiques et le déploiement d'investissements à grande échelle.

Les exigences de notre époque sont grandes et nous vivons des temps pleins d'incertitudes. Nous entrons dans une nouvelle ère de changement, dans laquelle la transformation énergétique sera le moteur de la transformation économique. Ce changement offre de nouvelles possibilités, sans précédent dans l'histoire, pour revitaliser les économies et sortir les gens de la pauvreté. Mais la tâche qui nous attend est colossale. J'espère ainsi que ces Perspectives sauront apporter un regard neuf sur la manière de transformer les problèmes énergétiques d'aujourd'hui en solutions de demain.

Notre avenir commun ne sera radieux que si nous avançons ensemble, et sommes capables d'offrir à tout un chacun un monde plus résilient, plus égalitaire et plus juste.



Francesco La Camera
Directeur général de l'IRENA



RÉSUMÉ



Transition énergétique : où en sommes-nous ?

Le secteur de l'énergie, connu pour son inertie au changement, est en train de vivre une transition dynamique. Les contraintes liées aux changements climatiques, à la pauvreté énergétique et à la sécurité énergétique dans le contexte du développement et de la stratégie industrielle ont fait de l'adoption généralisée des énergies renouvelables et des technologies connexes une solution essentielle. Les facteurs politiques, les développements technologiques et la coopération internationale ont fait passer ces technologies d'une situation de niche à celle de courant dominant, surtout au cours de la dernière décennie. Même face aux bouleversements causés par la pandémie de COVID-19, les systèmes basés sur les énergies renouvelables ont fait preuve d'une résilience remarquable, démontrant ainsi la fiabilité technique d'un système électrique basé sur les énergies renouvelables avec une part élevée de solaire et d'éolien.

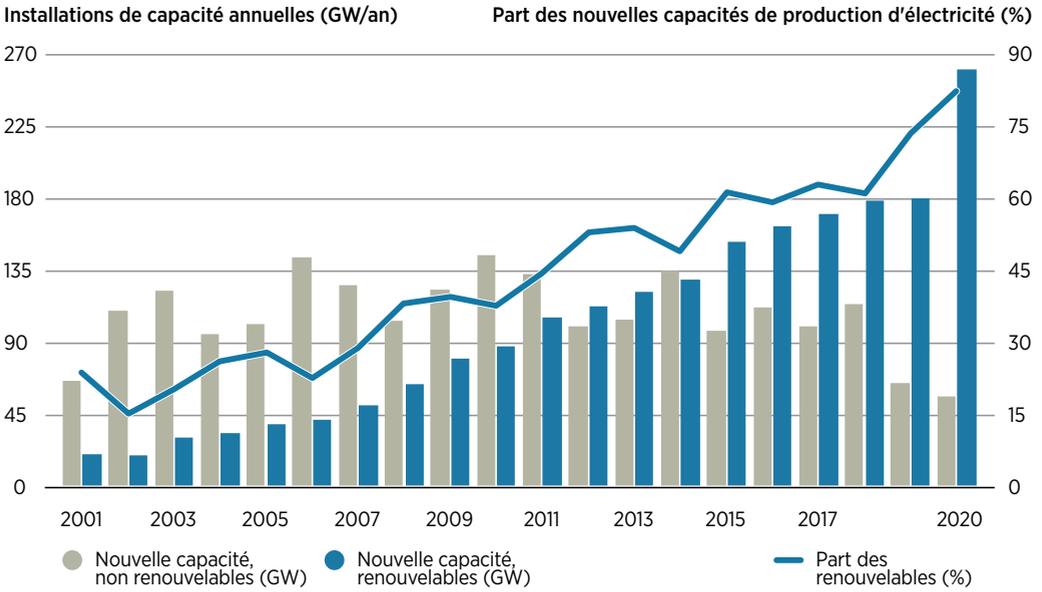
Un consensus s'est formé autour de l'idée qu'une transition énergétique reposant sur des sources et des technologies renouvelables qui augmente l'efficacité et la conservation est le seul moyen de nous donner une chance de limiter le réchauffement mondial à 1,5°C d'ici 2050.

Il y a seulement quelques années, l'approche centrée sur les énergies renouvelables adoptée par l'IRENA était considérée comme idéaliste. Aujourd'hui, même certains des acteurs énergétiques les plus conservateurs ont compris qu'il s'agissait de la seule option réaliste pour un monde sans danger pour le climat. Ce changement de point de vue profond et généralisé s'appuie sur des preuves irréfutables, non seulement concernant les graves problèmes auxquels le monde fait face, mais aussi les tendances en matière technologique, politique et de marchés qui ont remodelé le secteur de l'énergie depuis plus d'une décennie.

Au cours des sept dernières années, les réseaux ont reçu chaque année une plus grande quantité d'énergie renouvelable que celle issue des combustibles fossiles et du nucléaire réunis.

Les technologies de production d'énergie renouvelable dominent désormais les nouvelles capacités de production d'électricité à l'échelle mondiale, car elles sont devenues les sources d'électricité les moins chères sur de nombreux marchés. Un niveau record de 260 gigawatts (GW) de capacité de production à base d'énergies renouvelables a été ajouté dans le monde en 2020, soit plus de quatre fois celle provenant d'autres sources (IRENA, 2021a). Il s'agit là d'une trajectoire prometteuse pour une décarbonisation rapide du secteur de l'électricité.

FIGURE S.1 Part de la capacité, 2001-2020



D'après les statistiques de l'IRENA concernant les énergies renouvelables.

Des solutions innovantes sont en train de remodeler le système énergétique et d'ouvrir de nouvelles voies vers un avenir zéro carbone bien plus rapidement que prévu.

Des innovations dans le domaine des technologies, des politiques et des marchés sont mises en œuvre dans le monde entier (IRENA, 2019a). Des progrès significatifs ont été réalisés en matière de mobilité électrique, de stockage sur batterie, de technologies numériques et d'intelligence artificielle, entre autres. Ces évolutions attirent également de plus en plus l'attention sur le besoin d'une exploitation et d'une gestion durables des terres rares, entre autres minerais, ainsi que sur les investissements dans l'économie circulaire. Les nouveaux réseaux intelligents, allant des mini aux super réseaux, soutenus par des politiques et des marchés habilitants, améliorent la capacité du secteur de l'électricité à faire face à la variabilité des énergies renouvelables. Les utilisations directes des énergies renouvelables, notamment la bioénergie et l'hydrogène vert apportent des solutions indispensables aux transports, au bâtiment et à l'industrie.

Sur les 58 millions d'emplois dans le domaine de l'énergie dans le monde en 2019, environ 20 % correspondaient au secteur des énergies renouvelables. Les changements observés dans les modèles d'emploi à l'échelon mondial reflètent les nouvelles tendances du déploiement énergétique. Les emplois sont passés de 7,3 millions en 2012, date à laquelle l'IRENA a commencé à suivre ce type de données dans les énergies renouvelables, à 11,5 millions en 2019. Sur la même période, les emplois dans le secteur de l'énergie ont diminué en raison de l'automatisation croissante, du manque de compétitivité de certains combustibles et de l'évolution de la dynamique des marchés. Il existe également des preuves croissantes du plus large impact de la transition sur la base des énergies renouvelables. L'essor des énergies renouvelables a notamment amélioré l'équilibre entre les hommes et les femmes dans le secteur de l'énergie, les femmes représentant 32 % des emplois dans les énergies renouvelables, contre 22 % dans le secteur du pétrole et du gaz.

FIGURE 5.2 L'emploi dans les énergies renouvelables à travers le monde, technologie par technologie, 2012-2019



Source : IRENA, 2020a.

Le nombre croissant de pays s'engageant à adopter des stratégies à zéro émission nette de carbone indique un changement majeur dans le discours mondial sur le climat. Des tendances similaires sont observées à tous les niveaux de gouvernement et dans le secteur privé, y compris dans les secteurs difficiles à modérer et dans les secteurs pétrolier et gazier. Alors qu'une grande partie du monde est aux prises avec le marasme économique, l'investissement dans la transition énergétique peut contribuer à aligner les priorités à court terme sur les objectifs de développement et climatiques à moyen et long terme. Il s'agit d'une occasion unique d'amorcer un changement durable par la mise en œuvre d'investissements prévoyants et ciblés dans le domaine de l'énergie, et tout particulièrement en matière d'infrastructures, d'efficacité et d'énergies renouvelables (IRENA, 2020b). Plusieurs pays se sont en effet engagés à affecter d'importants financements publics à ces objectifs et à soutenir des solutions telles que la mobilité électrique et l'hydrogène propre.

Pas moins de 80 % de la population mondiale vit dans des pays qui sont des importateurs nets de combustibles fossiles. En revanche, chaque pays possède un potentiel renouvelable susceptible d'être exploité pour accroître la sécurité et l'indépendance énergétiques, et ce à des coûts de plus en plus bas (IRENA, 2019b). Une transformation du système énergétique mondial alignée sur l'objectif climatique de 1,5°C peut constituer un grand facteur d'égalisation dans un monde qui doit devenir plus résilient, plus juste et plus inclusif. Un tel système énergétique requiert le développement et le déploiement rapides de technologies résilientes, ainsi que des investissements dans les personnes et les institutions.

Les progrès ont été significatifs, mais inégaux selon les zones géographiques et les communautés. Les plus importants ont été accomplis par une poignée de pays et de régions. Sur d'autres territoires, la précarité énergétique généralisée continue de freiner le progrès économique et le bien-être social. En 2020, l'Europe, les États-Unis d'Amérique et la Chine totalisaient l'essentiel des nouvelles capacités renouvelables, tandis que l'Afrique ne représentait que 1 % du total mondial. Cette dernière est pourtant le continent qui a le plus besoin d'accéder à des formes modernes d'énergie, avec un potentiel d'énergies renouvelables qui dépasse largement les besoins prévus. Entre 2008 et 2019, seul 1 milliard d'USD ont été investis dans les énergies renouvelables hors réseau, alors qu'il s'agit d'un moyen important d'élargir l'accès à l'énergie. Des modèles de déploiement inégaux se reflètent en outre dans la concentration des emplois et des industries, laissant pour compte de grandes parties du monde.

Les plans actuels sont loin d'atteindre l'objectif de 1,5°C. Si l'on se cantonne aux plans et aux objectifs énergétiques actuels des gouvernements, y compris la première série de contributions déterminées au niveau national (CDN) dans le cadre de l'Accord de Paris, les politiques en place ne feront que stabiliser les émissions mondiales, avec une légère baisse à l'approche de 2050. Malgré les preuves évidentes de changements climatiques d'origine anthropique, le soutien généralisé à l'Accord de Paris et la prévalence de solutions énergétiques propres, économiques et durables, les émissions de CO₂ liées à l'énergie ont augmenté de 1,3 % par an, en moyenne, entre 2014 et 2019.

Le temps presse, et pour conserver une chance de maintenir l'objectif de 1,5°C, il faudrait amorcer dès maintenant une réduction rapide des émissions. Conformément au rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) visant à limiter le réchauffement climatique à 1,5°C d'ici 2050, le charbon et le pétrole devraient déjà avoir atteint un pic, le gaz naturel culminant en 2025. Les ressources et technologies nécessaires pour accélérer la transition énergétique sont disponibles dès *maintenant*. L'IRENA trace la voie à une trajectoire descendante abrupte et continue vers une baisse de 45 % du dioxyde de carbone (CO₂) par rapport aux niveaux de 2010 d'ici 2030, et vers zéro émission nette à l'horizon 2050, conformément au calendrier du GIEC.

Les Perspectives pour les transitions énergétiques mondiales de l'IRENA constituent une voie unique en son genre et compatible avec l'objectif de 1,5°C. Elles font en outre le tour des implications socio-économiques et politiques et fournissent des informations sur les changements structurels et sur les aspects financiers. De plus en plus de technologies de décarbonisation rapide sont disponibles, mais la réflexion portant sur la transition énergétique ne doit pas se limiter à la question du stockage de l'énergie. La réalisation du potentiel considérable que représente la transition exige une innovation systémique qui tienne compte à la fois des technologies et des cadres favorables. Les systèmes énergétiques basés sur les énergies renouvelables seront à l'origine de profonds changements qui se répercuteront sur les économies et les sociétés. Ce n'est que si nous sommes en mesure de comprendre ces courants profonds que le processus de transition portera les meilleurs fruits. Cette première édition des *Perspectives pour les transitions énergétiques mondiales* rassemble les connaissances de l'IRENA qui permettront de rendre cela possible, en fournissant aux décideurs politiques des informations, des outils et des conseils pour tracer la voie à suivre.

Scénario à 1,5°C de l'IRENA

Le **Scénario énergétique programmé (SEP)** est le principal scénario de référence pour cette étude. Il offre une perspective de l'évolution du système énergétique sur la base des plans énergétiques actuels des gouvernements, entre autres politiques et objectifs planifiés, notamment les Contributions déterminées au niveau national (CDN) adoptées en vertu de l'Accord de Paris.

SEP

Le **Scénario à 1,5°C (S-1,5)** décrit une voie de transition énergétique conforme à l'ambition climatique de 1,5°C, c'est-à-dire une limitation de l'augmentation de la température moyenne mondiale d'ici la fin du siècle à 1,5°C, par rapport aux niveaux préindustriels. Il donne la priorité aux solutions technologiques facilement disponibles, qui peuvent être déployées au rythme nécessaire pour atteindre l'objectif de 1,5°C.

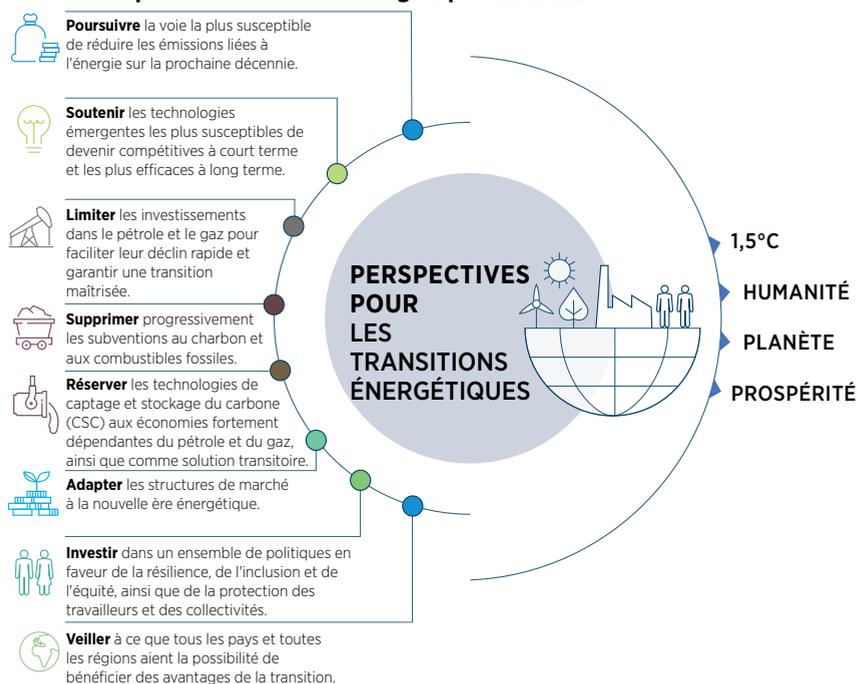
S 1,5

PERSPECTIVES POUR LES TRANSITIONS ÉNERGÉTIQUES MONDIALES

L'impératif de temps exige des investissements et des choix politiques prudents au cours de la prochaine décennie. La fenêtre d'opportunité qui permettra d'atteindre le niveau d'émissions fixé par le GIEC à l'horizon 2030 est étroite, et les choix effectués dans les années à venir détermineront si l'objectif de 1,5°C reste possible. Ces *Perspectives* sont guidées par le Programme de travail des Nations Unies en faveur du développement durable et par l'Accord de Paris sur les changements climatiques. Plusieurs conditions préalables sous-tendent la théorie du changement sur laquelle repose la Voie à 1,5°C de l'IRENA :

- Poursuivre la voie la plus susceptible de réduire les émissions liées à l'énergie au cours de la prochaine décennie et d'aligner le monde sur l'objectif de 1,5°C.
- Soutenir les technologies émergentes les plus susceptibles de devenir compétitives à court terme et les plus efficaces pour réduire les émissions à long terme.
- Limiter les investissements dans le pétrole et le gaz pour faciliter leur déclin rapide et garantir une transition maîtrisée.
- Réserver les technologies de captage et stockage du carbone aux économies fortement dépendantes du pétrole et du gaz et comme solution transitoire lorsqu'il n'existe aucune autre option
- Supprimer progressivement les subventions au charbon et aux combustibles fossiles.
- Adapter les structures de marché à la nouvelle ère énergétique.
- Investir dans un ensemble de politiques visant à promouvoir la résilience, l'inclusion et l'équité et à protéger les travailleurs et les collectivités touchés par la transition énergétique.
- Veiller à ce que tous les pays et toutes les régions aient la possibilité de participer à la transition énergétique mondiale et de bénéficier de ses avantages.

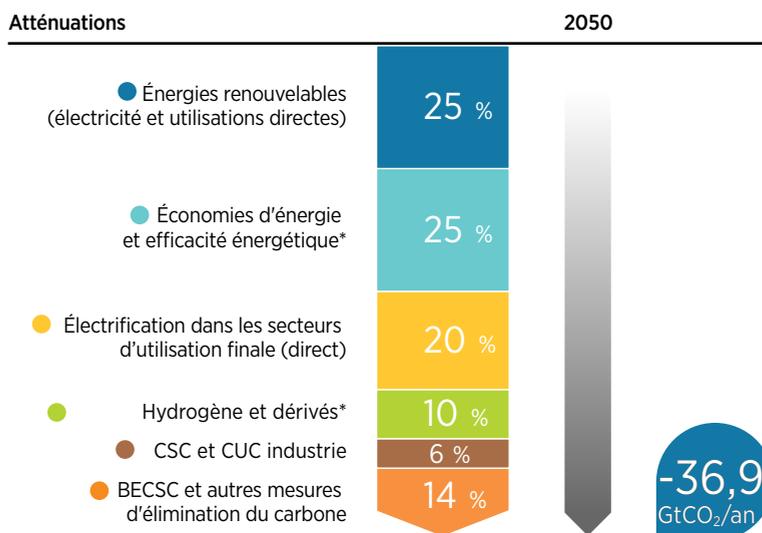
FIGURE S.3 Cadre directeur de la théorie du changement selon les Perspectives pour les transitions énergétiques mondiales



Pistes technologiques pour atteindre les objectifs climatiques

L'analyse de l'IRENA montre que plus de 90 % des solutions permettant d'atteindre un résultat positif en 2050 reposent sur les énergies renouvelables à travers l'approvisionnement direct, l'électrification, l'efficacité énergétique, l'hydrogène vert et la bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECSC). Les pistes technologiques conduisant à un système énergétique décarbonisé se sont cristallisées, dominées par des solutions capables d'être déployées rapidement et à grande échelle. Les technologies, les marchés et les modèles commerciaux évoluent en permanence, mais il n'est pas nécessaire d'attendre de nouvelles solutions. Des progrès considérables peuvent être réalisés avec les seules options existantes. Toutefois, pour pouvoir porter les technologies de transition énergétique aux niveaux nécessaires, et leur imprimer une allure compatible avec l'objectif de 1,5°C, des politiques et des mesures ciblées doivent être mises en œuvre.

FIGURE S.4 Réduction des émissions de carbone dans le cadre du Scénario à 1,5°C (%)



D'ici 2050, l'électricité sera le principal vecteur énergétique, passant d'une part de 21 % de la consommation totale d'énergie finale en 2018 à plus de 50 % en 2050. Les frontières sectorielles se déplacent, grâce à l'électrification d'applications finales dans les transports et le chauffage. Cette augmentation est principalement due à l'introduction d'électricité renouvelable pour remplacer les combustibles fossiles dans les applications d'utilisation finale. Parallèlement à cette évolution, le taux de croissance annuel des technologies renouvelables sera multiplié par huit. L'électrification des utilisations finales va également remodeler plusieurs secteurs, notamment celui des transports, où les véhicules électriques devraient représenter 80 % des flottes routières en 2050.

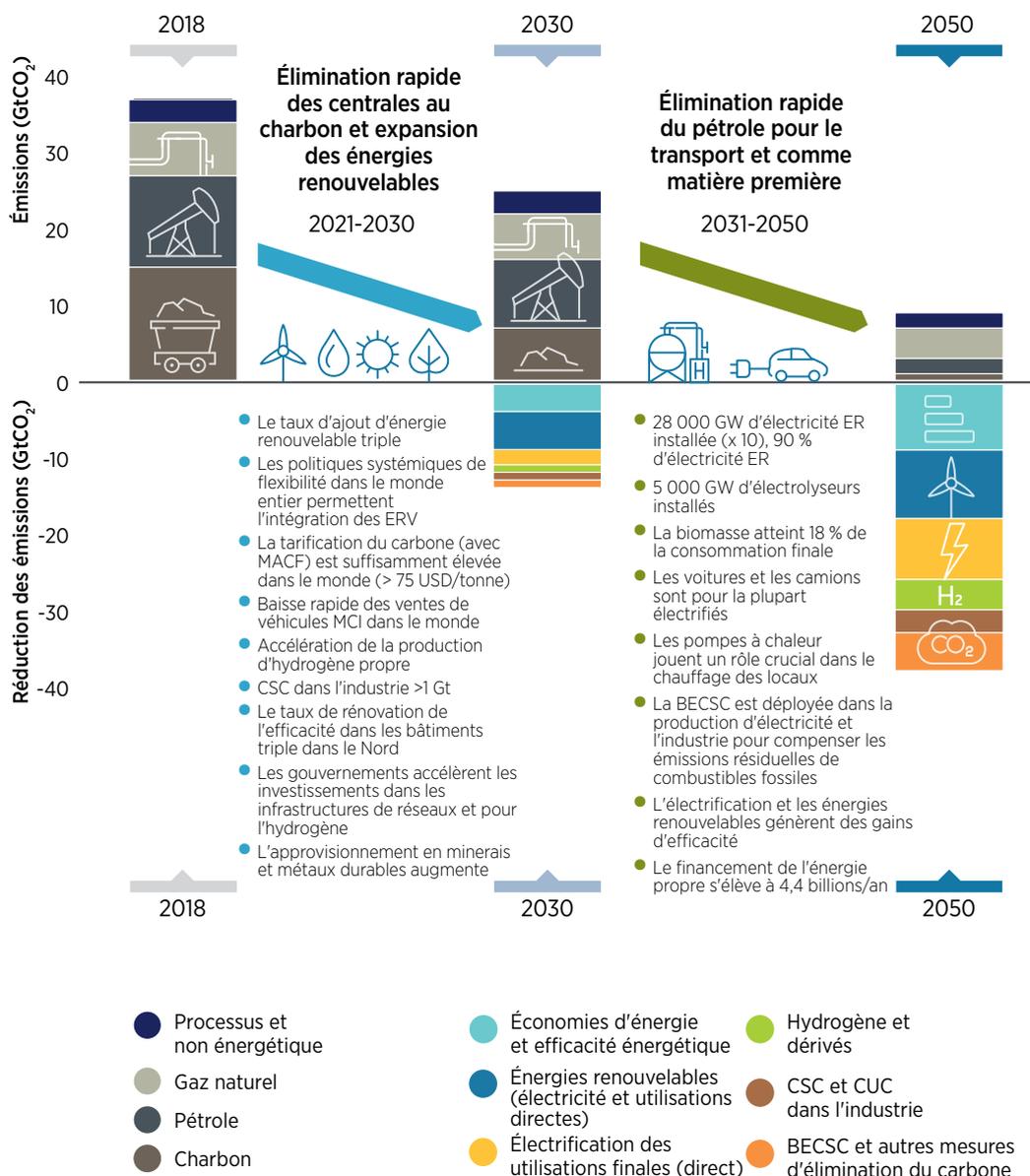
Le taux annuel d'amélioration de l'intensité énergétique doit passer à 2,9 %, soit près de deux fois et demie la tendance observée jusqu'à présent. Avec cette augmentation, l'intensité énergétique de l'économie mondiale diminuera de plus de 60 % d'ici 2050. Les technologies et les mesures d'efficacité énergétique sont des solutions « prêtes à l'emploi », disponibles dès maintenant pour une mise à l'échelle significative. Les politiques et les mesures visant à accroître les économies d'énergie et l'efficacité énergétique seront cruciales pour réduire la consommation finale totale d'énergie de 378 exajoules (EJ) en 2018 à 348 EJ en 2050. Une contribution importante viendra également des changements structurels et comportementaux, qui représenteront environ un dixième de l'amélioration de l'efficacité.

En 2050, l'hydrogène et ses dérivés représenteront 12 % de la consommation finale d'énergie. Ils joueront un rôle important dans les secteurs à forte intensité énergétique difficiles à décarboniser, comme les aciers, l'industrie chimique, les transports long-courrier, les transports maritimes et l'aviation. L'hydrogène contribuera également à équilibrer l'offre et la demande d'électricité renouvelable et servira de stockage saisonnier à long terme. Quelque 5 000 GW de capacité d'électrolyse seront nécessaires d'ici 2050, contre 0,3 GW aujourd'hui. Une croissance d'une telle ampleur accentue d'emblée l'importance de l'hydrogène à faible teneur en carbone. En 2050, deux tiers de l'hydrogène total sera vert (produit avec de l'électricité renouvelable) et un tiers bleu, à savoir produit par du gaz naturel avec captage et stockage du carbone (CSC).

La bioénergie représentera 18 % de la consommation totale d'énergie finale en 2050. L'augmentation de la production et de l'utilisation durables de la biomasse est nécessaire dans l'ensemble du système énergétique. Dans certains secteurs, elle joue un rôle important, notamment comme matière première et combustible dans l'industrie chimique et comme carburant dans l'aviation. Dans d'autres domaines, elle contribue à combler des lacunes que d'autres options ne peuvent pas entièrement résoudre, par exemple en remplaçant le gaz naturel par du biométhane dans les bâtiments qui ne peuvent pas être rénovés. De plus, la bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECCS) dans le secteur de l'électricité et dans certaines industries permettra de produire les émissions négatives nécessaires pour atteindre l'objectif de zéro émission nette.

Pour l'utilisation résiduelle des combustibles fossiles et dans le cadre de certains procédés industriels, les efforts de décarbonisation peuvent nécessiter des technologies et des mesures de captage et stockage du carbone (CSC) et d'élimination du CO₂. Dans le Scénario à 1,5°C, à l'horizon 2050, des émissions persistent du fait de l'utilisation résiduelle des combustibles fossiles et de certains procédés industriels. Par conséquent, le CO₂ restant devra être capté et séquestré. Le captage et stockage du carbone (CSC) se limite principalement aux émissions de CO₂ liées aux processus dans les industries du ciment, du fer et de l'acier, et à la production d'hydrogène bleu. L'élimination du CO₂ comprend des mesures fondées sur la nature, comme le reboisement et la BECCS, le captage et le stockage directs du carbone, ainsi que d'autres approches encore au stade expérimental.

FIGURE S.5 Évolution des émissions avec l'abandon progressif du charbon et du pétrole, 2021-2050



Remarque : ER = énergie renouvelable ; ERV = énergie renouvelable variable ; MACF = mécanisme d'ajustement carbone aux frontières ; MCI = moteur à combustion interne ; GW = gigawatt ; Gt = gigatonne ; CSC = captage et stockage du carbone ; BECSC = bioénergie avec captage et stockage du carbone ; CUC = captage et utilisation du carbone.

D'ici 2030, les énergies renouvelables devraient atteindre 10 770 GW dans le monde, presque quatre fois la capacité actuelle. Au cours de la prochaine décennie, un déploiement rapide à grande échelle est nécessaire pour préparer le terrain à la décarbonisation du système électrique et à l'électrification des utilisations finales d'ici 2050. Ce niveau de déploiement est également une recommandation clé du rapport thématique sur les transitions énergétiques réalisé par l'IRENA, le PNUE et UN ESCAP pour le Dialogue de haut niveau des Nations Unies sur l'énergie. L'abondance de potentiels renouvelables rentables dans le monde en fait une option évolutive. Pour de nombreux pays, le défi technique et économique devient ainsi un ensemble d'occasions sur les plans des investissements, de la réglementation et de la société.

Au cours de la prochaine décennie, priorité absolue doit être concédée à la mise à niveau, à la modernisation et à l'expansion des infrastructures. La mise à niveau des infrastructures en difficulté et l'investissement dans leur expansion font partie intégrante de la transition énergétique et constituent un catalyseur des technologies modernes. C'est un aspect qui sera particulièrement important au cours des dix prochaines années : la part des énergies renouvelables augmentant, la flexibilité du système et la mise en place de réseaux modernes sont nécessaires. Le développement des infrastructures doit s'aligner sur les plans à long terme et refléter des stratégies globales, comme l'intégration des marchés régionaux.

Les niveaux de déploiement nécessaires ne seront atteints d'ici 2030 que si ces pistes technologiques s'accompagnent de mesures politiques. Les politiques de déploiement soutiennent la création de marchés, ce qui accélère l'implantation à grande échelle, réduit les coûts des technologies et augmente les niveaux d'investissement alignés sur les besoins de la transition énergétique. Compte tenu de l'importance des financements publics injectés dans les économies dans le cadre des mesures de relance, ces politiques permettront de paver le chemin de la transition énergétique et de préparer le terrain pour une augmentation significative des investissements privés qui sont nécessaires jusqu'en 2050.

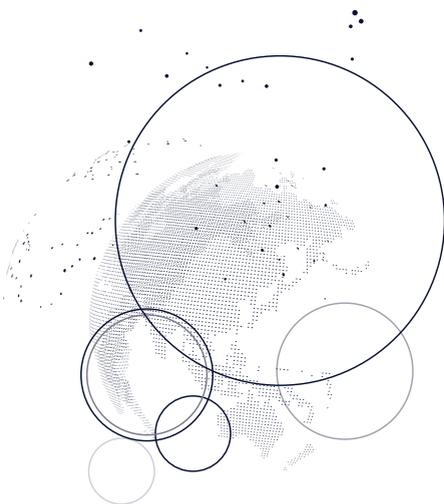


TABLEAU S.1 Panorama des politiques d'accompagnement des solutions de transition énergétique

PISTE TECHNOLOGIQUE	OBJECTIF	RECOMMANDATIONS
Énergies renouvelables (électricité et utilisations directes)	Déployer les énergies renouvelables dans les utilisations finales	Ces politiques comprennent des mesures réglementaires qui créent un marché, ainsi que des incitations fiscales et financières destinées à les rendre plus abordables et à améliorer leur compétitivité en termes de coûts par rapport aux solutions basées sur les combustibles fossiles.
	Déployer les énergies renouvelables dans le secteur électrique	Le choix de l'instrument et sa conception doivent tenir compte de la nature de la solution (échelle industrielle, distribué, hors réseau, par exemple), du niveau de développement du secteur, de la structure organisationnelle du système électrique et des objectifs plus généraux poursuivis par les politiques publiques.
Économies d'énergie et efficacité énergétique	Augmenter les économies d'énergie et l'efficacité du chauffage et du "secteur du froid"	Les politiques favorisant l'efficacité énergétique, telles que des codes de la construction plus stricts, le soutien à la rénovation des bâtiments et les normes relatives aux appareils électroménagers sont essentielles pour permettre la transition énergétique dans les bâtiments et les processus industriels.
	Accroître les économies d'énergie dans les transports	La décarbonisation du secteur des transports, entre autres mesures, nécessite de passer de modes énergivores à des modes à faible émission de carbone.
Électrification des utilisations finales	Électrifier le chauffage et le secteur du froid	Les objectifs en matière d'énergie renouvelable devraient tenir compte de la demande croissante liée à l'électrification des utilisations finales, conformément aux objectifs de décarbonisation à long terme. De plus, des politiques et une adaptation du système électrique sont nécessaires pour aider l'électrification à atteindre son plein potentiel en vue d'améliorer la flexibilité du système.
	Électrifier les transports	
Hydrogène vert	Soutenir le développement de l'hydrogène vert	Un cadre politique habilitant doit reposer sur quatre piliers essentiels : une stratégie nationale en matière d'hydrogène vert, l'établissement de priorités, des garanties d'origine et des politiques habilitantes.
Bioénergie durable	Assurer l'utilisation durable de la bioénergie	Les énergies renouvelables ne sont pas exemptes de problèmes de durabilité. Parmi eux se trouvent les émissions de gaz à effet de serre liées au changement d'affectation des sols, ainsi que les impacts sur la qualité de l'air et de l'eau et sur la biodiversité.

Financer la transition énergétique

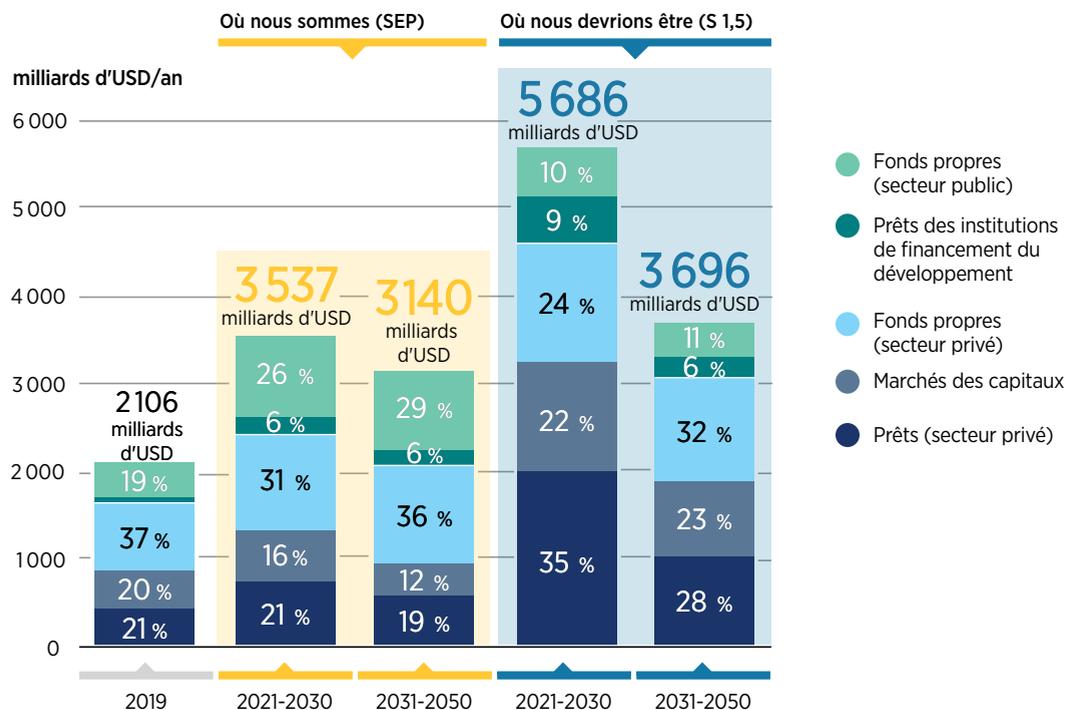
D'ici 2050, 131 milliards d'USD devront être injectés dans un système énergétique qui privilégie des pistes technologiques compatibles avec la Voie à 1,5°C. Même s'il s'agit là d'un financement important, de l'ordre de 4,4 milliards d'USD par an en moyenne, il ne représente que 20 % de la formation brute de capital fixe en 2019, soit environ 5 % du produit intérieur brut (PIB) mondial. D'ici à 2050, plus de 80 % de ce total de 131 milliards d'USD doivent être investis dans des technologies de transition technologique, portant notamment sur l'efficacité, les énergies renouvelables, l'électrification des utilisations finales, les réseaux électriques, la flexibilité, l'hydrogène et les innovations conçues pour aider les solutions émergentes et de niche à devenir économiquement viables.

Les stratégies gouvernementales actuelles prévoient déjà d'importants investissements dans le domaine de l'énergie, à savoir 98 milliards d'USD d'ici 2050. Collectivement désignées dans ces Perspectives sous le terme de Scénario énergétique programmé (SEP), ces stratégies impliquent de pratiquement doubler les investissements annuels, qui s'élevaient à 2,1 milliards d'USD en 2019. Des fonds considérables seront consacrés à la modernisation des infrastructures en difficulté et à la satisfaction d'une demande énergétique en pleine croissance. Or, la distribution du financement des technologies dans le cadre du Scénario à 1,5°C est très différente des plans actuels : d'ici 2050, 24 milliards d'USD issus des investissements prévus devront être réorientés des énergies fossiles vers les technologies de transition énergétique.

Dans le Scénario à 1,5°C, les structures de financement sont très différentes à la fois en termes de sources (publiques et privées) et de types de capitaux (fonds propres et emprunts). En 2019, 1,6 milliards d'USD d'actifs énergétiques, soit 80 % de l'investissement total dans le secteur de l'énergie, ont été financés par des sources privées. Avec le Scénario à 1,5°C, cette part augmenterait considérablement. La part du capital emprunté doit passer de 44 % en 2019 à 57 % en 2050, soit près de 20 % de plus que dans le cadre du SEP (voir figure S.6). Il devrait être de plus en plus aisé pour les technologies de transition énergétique d'emprunter à long terme et à moindre frais, tandis que les actifs « bruns », progressivement évités par les financiers privés, devraient quant à eux être contraints de s'appuyer sur des financements en fonds propres provenant de bénéfices non distribués et de nouvelles émissions d'actions. Les projets à forte intensité de capital et davantage décentralisés changeront la perception du risque par les investisseurs, ce qui pourrait devoir être encadré des politiques ciblées et des interventions sur les marchés de capitaux.

Les financements publics, qui devront quasiment doubler pour catalyser le financement privé et assurer un déroulement juste et inclusif de la transition énergétique, jouent un rôle crucial pour faciliter la transition énergétique, car les marchés ne sont pas en mesure à eux seuls d'évoluer assez rapidement. En 2019, le secteur public a injecté quelque 450 milliards d'USD sous forme de capitaux publics et de prêts octroyés par des institutions de financement du développement. Dans le Scénario à 1,5°C, ces investissements vont atteindre de l'ordre de 780 milliards d'USD. Le financement par la dette publique sera un important facilitateur pour les autres prêteurs, notamment sur les marchés en développement présentant des risques élevés, réels ou perçus. Dans certains cas, il peut s'agir de subventions pour réduire le coût du financement. Des fonds publics sont également nécessaires pour créer un environnement propice à la transition et veiller à ce que celle-ci se produise à un rythme et avec des résultats socio-économiques optimaux.

FIGURE S.6 Investissement annuel moyen total par source et type de financement : 2019, SEP et Scénario à 1,5°C (2021-2030 et 2031-2050)



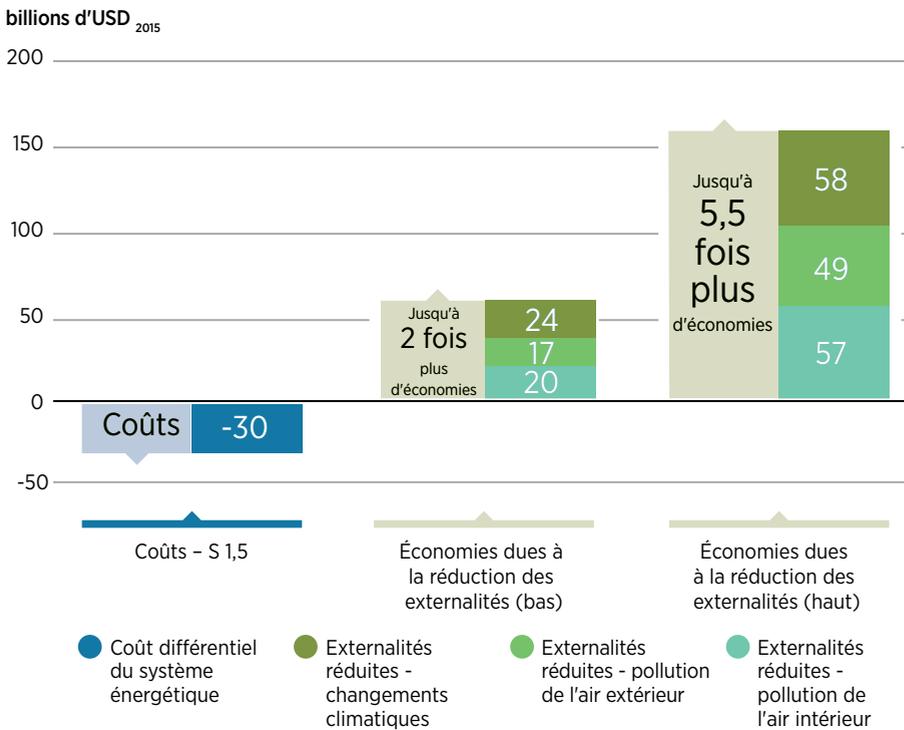
Sources : pour l'investissement 2019 : source et type de financement BNEF (2021a), IEA (2020a), IRENA et CPI (2020) ; pour le SEP et le Scénario à 1,5°C : IRENA et analyse BCG.

Des mesures visant à éliminer les distorsions du marché qui favorisent les combustibles fossiles, associées à des incitations en faveur des solutions de transition énergétique, faciliteront les évolutions nécessaires au niveau des structures de financement. Parmi ces mesures figurent la suppression progressive des subventions aux combustibles fossiles et la modification des systèmes fiscaux de sorte à refléter les coûts négatifs du système énergétique basé sur les combustibles fossiles sur les plans environnemental, sanitaire et social. Les politiques monétaires et fiscales, y compris en matière de tarification du carbone, amélioreront la compétitivité des solutions liées à la transition. Ces interventions doivent s'accompagner d'une évaluation minutieuse des aspects sociaux et de la composante équité afin de veiller à ce que la situation des populations à faible revenu, loin de s'aggraver, s'améliore.

Empreinte socio-économique de la transition énergétique

Les investissements dans le Scénario à 1,5°C produiront un retour cumulé d'au moins 61 milliards d'USD d'ici 2050. Le bilan global de la transition énergétique est positif, ses bénéfices outrepassant largement les coûts. Les coûts de l'atténuation des émissions varient en fonction de la technologie et du secteur, mais les coûts différentiels sont nettement inférieurs aux économies réalisées par la compression des coûts externes. L'IRENA estime que, dans le cadre du Scénario à 1,5°C, chaque USD dépensé pour la transition énergétique devrait générer des bénéfices provenant de la réduction des externalités liées à la santé humaine et à l'environnement de l'ordre de 2 à 5,5 USD. En termes cumulatifs, le coût supplémentaire de 30 milliards d'USD associé au Scénario à 1,5 °C d'ici à 2050 se traduira par un retour sur investissement compris entre 61 et 164 milliards d'USD.

FIGURE S.7 Différence cumulée entre coûts et économies pour le Scénario à 1,5°C par rapport au SEP, 2021-2050



La transition énergétique va bien au-delà de la technologie et suscite de profonds changements structurels, qui auront un impact considérable sur l'économie et la société. L'IRENA continue de dresser un tableau de plus en plus complet des impacts socio-économiques de la transition énergétique. Les résultats présentés dans les présentes *Perspectives* montrent que pour que les étapes vers un avenir énergétique décarbonisé aient un effet positif sur l'activité économique, l'emploi et le bien-être, un cadre politique global doit être mis en place. Dans l'analyse, les politiques actuelles des pays sont complétées par des politiques climatiques visant à atteindre les objectifs de transition énergétique tout en relevant les défis liés à une répartition juste et inclusive des bénéfices.

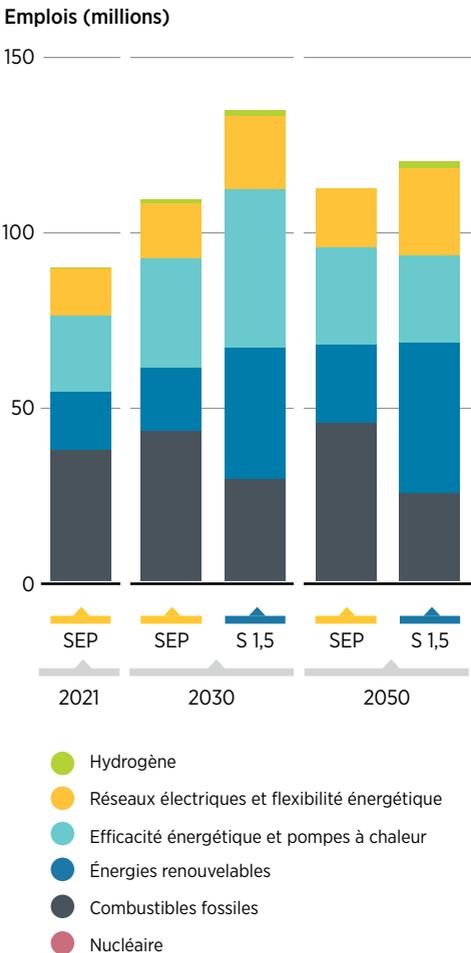
La Voie à 1,5°C aboutit à une augmentation du PIB supérieure de 2,4 % (en moyenne) à celle du SEP sur la prochaine décennie, en fonction des besoins d'une reprise post-COVID. Sur la période de transition courant jusqu'en 2050, l'amélioration moyenne du PIB est estimée à 1,2 % par rapport au SEP. La croissance supplémentaire du PIB sera stimulée par des investissements au niveau des différentes dimensions de la transition énergétique, ce qui donnera lieu à de nombreux ajustements entre des secteurs économiques interdépendants. La réduction de la demande de combustibles fossiles entraîne une baisse des revenus de l'industrie minière et celle du raffinage, ainsi que de ceux des gouvernements (en raison de la diminution des redevances sur les combustibles fossiles). Son impact est donc négatif sur le PIB de certains pays. Cette réalité met en évidence la nécessité d'un cadre politique global abordant les changements structurels causés par la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles.

Sur l'ensemble de la période de transition, l'emploi dans l'ensemble de l'économie est en moyenne 0,9 % plus élevé dans le Scénario à 1,5°C que dans le SEP. L'un des principaux impacts positifs sur l'emploi provient des investissements dans des solutions de transition énergétique, comme les énergies renouvelables, l'amélioration des réseaux et l'efficacité énergétique. Le déplacement vers la transition énergétique des investissements réalisés dans les combustibles fossiles (extraction et production énergétique), entre autres secteurs, réduit la demande de main-d'œuvre dans les secteurs liés aux combustibles fossiles et non énergétiques, ainsi que dans l'ensemble de leurs chaînes de valeur.



Une fois transformé, le secteur énergétique comptera 122 millions d'emplois en 2050. Les qualifications, les compétences et les professions dans le cadre de l'ambitieux Scénario à 1,5°C sont de plus en plus concentrées dans le secteur manufacturier, suivi de l'approvisionnement en combustible. La formation à ces métiers est relativement simple, et offre des perspectives aux travailleurs issus du secteur des combustibles fossiles. Les exigences en matière de formation de main-d'œuvre évoluent au cours de la transition, avec une augmentation continue de la part et du nombre de travailleurs ayant suivi un enseignement primaire et un pic de travailleurs diplômés de l'enseignement supérieur d'ici 2030.

FIGURE S.8 Emplois dans le secteur de l'énergie par technologie pour le SEP et le Scénario à 1,5°C (millions), résultats mondiaux



D'après une analyse de l'IRENA.

FIGURE S.9 Emplois dans le secteur de l'énergie, par segment de la chaîne de valeur, pour le Scénario à 1,5°C et le SEP (hors véhicules)



D'après une analyse de l'IRENA.

Les emplois liés aux énergies renouvelables passeront à 43 millions en 2050. Dans le SEP, les emplois liés aux énergies renouvelables augmentent de 9 % par rapport aux valeurs de 2021 pour atteindre 18 millions d'emplois en 2030 et 23 millions en 2050. En revanche, le Scénario à 1,5 °C entraîne un gain beaucoup plus important d'ici 2030, les emplois liés aux énergies renouvelables triplant voire davantage pour atteindre 38 millions au cours de la prochaine décennie. Le solaire photovoltaïque (PV) représente la part la plus importante, suivi de la bioénergie, de l'éolien et de l'hydroélectricité. La construction, l'installation et la fabrication stimulent les emplois liés aux énergies renouvelables au cours de la décennie suivante, tandis que l'exploitation et la maintenance augmentent leur poids relatif à mesure que la transition progresse dans le cadre du Scénario à 1,5 °C.

FIGURE S.10 Emplois dans le domaine des énergies renouvelables, par technologie, pour le Scénario à 1,5°C et le SEP (millions)

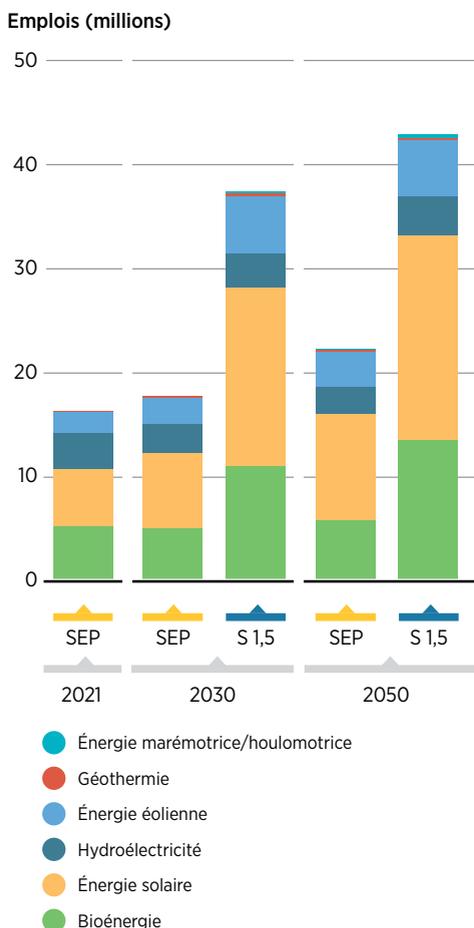
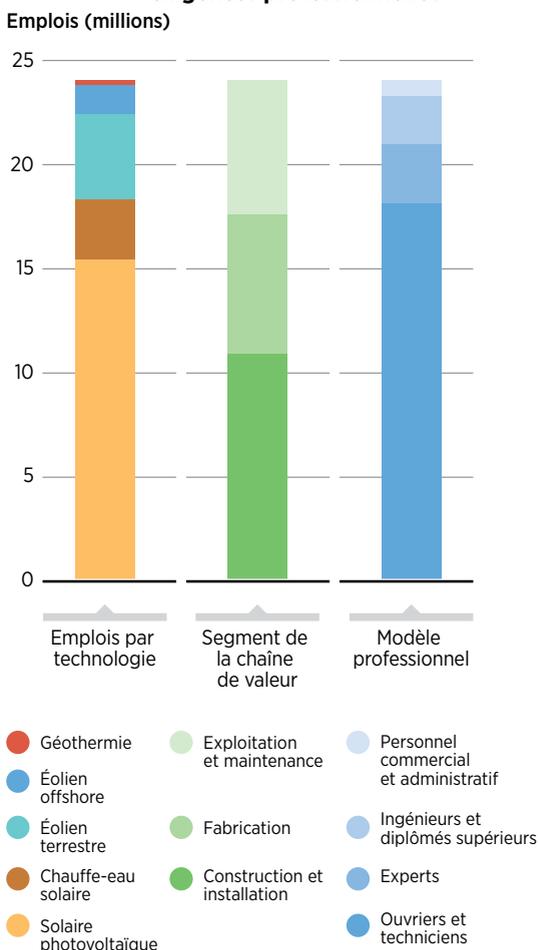


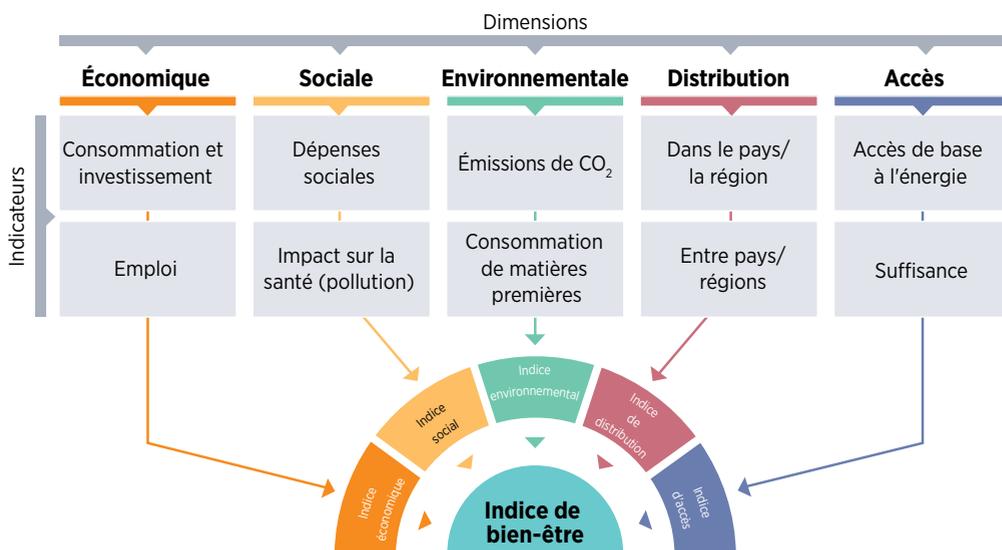
FIGURE S.11 Structure des emplois dans le Scénario à 1,5°C d'ici 2050 pour un sous-ensemble de technologies renouvelables par technologie, par segment de chaîne de valeur et par exigences professionnelles



D'après une analyse de l'IRENA.

L'indice de bien-être pour la transition énergétique de l'IRENA prend en considération les dimensions économique, sociale, environnementale, mais aussi la distribution et l'accès à l'énergie. C'est la première fois que ces deux derniers aspects, souvent négligés dans les analyses, sont pris en compte. La mesure de l'impact de la transition à travers ces dimensions fournit une base quantitative aux feuilles de route conçues pour tirer pleinement parti des avantages socio-économiques et environnementaux de la transition.

FIGURE S.12 Structure de l'indice de bien-être pour la transition énergétique de l'IRENA



Le Scénario à 1,5°C obtient de meilleurs résultats que le SEP dans toutes les dimensions de l'indice de bien-être, avec une amélioration globale de 11 % d'ici 2050.

- La **dimension économique** est similaire dans les deux scénarios, ce qui reflète la part relativement faible du secteur de l'énergie dans l'ensemble de l'économie mondiale et de la population active.
- La **dimension environnementale** présente une amélioration de 30 % par rapport au SEP avec des émissions nettement inférieures dans le cas du Scénario à 1,5°C, bien que la consommation accrue de matériaux pose des problèmes de durabilité.
- La **dimension sociale** s'améliore de 23 % dans le cadre du Scénario à 1,5°C, en grande partie grâce à l'obtention de meilleurs résultats en matière sanitaire en raison de la réduction de la pollution de l'air extérieur et intérieur. Les dépenses sociales jouent un rôle beaucoup moins important.
- La **distribution** s'améliore de 37 % par rapport au SEP ; cependant, l'indice reste faible en valeur absolue, ce qui indique des insuffisances potentielles en matière d'équité. En réalité, la dimension sociale et la distribution font baisser l'indice global de bien-être de la transition énergétique, aussi ces aspects méritent-ils une plus grande attention sur le plan des politiques publiques.
- L'**accès à l'énergie** augmente de 7 % dans le cadre du Scénario à 1,5°C par rapport au SEP, un accès universel à l'énergie et des niveaux suffisants étant atteints.

Les impacts socio-économiques varient tant au niveau régional que national. Les agrégats mondiaux masquent des disparités importantes dans la manière dont la transition énergétique affecte les régions et les pays et dans la façon dont les bénéfices sont distribués. Ce qui est clair, c'est que les feuilles de route de la transition énergétique et les implications socio-économiques qui en découlent sont étroitement liées au cadre politique, et que ces liens se renforcent à mesure que les ambitions s'alignent sur la Voie à 1,5°C. L'engagement des gouvernements dans la transition devrait s'accompagner d'une coopération internationale veillant à garantir que les bénéfices et les charges de la transition se partagent de manière équitable.

TABLEAU S.2 Aperçu des politiques de changement structurel et de transition juste

OBJECTIF	RECOMMANDATIONS
Corriger les éventuels déséquilibres sur les marchés du travail	Pour assurer une transition juste et équitable, des mesures visant à corriger les déséquilibres temporels, géographiques et en matière de compétences seront nécessaires.
Développer des chaînes de valeur locales	Le renforcement et l'exploitation des capacités nationales requièrent des incitations et des règles soigneusement élaborées, des initiatives d'incubation d'entreprises, des programmes de développement de fournisseurs, un soutien pour les petites et moyennes entreprises et la promotion de groupements industriels clés.
Fournir une éducation et renforcer les capacités	Il est vital de susciter des contacts précoces entre les jeunes gens et les thématiques et les carrières liées aux énergies renouvelables, de manière à susciter leur intérêt à mener une carrière dans le secteur, ainsi que pour renforcer l'acceptation sociale par une population bien informée.
Appuyer l'économie circulaire	Des politiques et des mesures sont nécessaires pour assurer la pérennité des solutions liées à la transition énergétique et leur intégration harmonieuse dans les écosystèmes existants en termes de durabilité, de principes d'économie circulaire et de réduction des impacts environnementaux.
Soutenir l'engagement des communautés et des citoyens	L'énergie communautaire peut jouer un rôle important dans l'accélération du déploiement des énergies renouvelables tout en générant des bénéfices socio-économiques locaux et en améliorant le soutien public aux transitions énergétiques locales.

Un cadre politique global pour la transition énergétique

Les mesures prises dans le cadre des politiques publiques ainsi que les investissements dans les transitions énergétiques peuvent conduire à un changement structurel plus large, vers des économies et des sociétés résilientes. Le secteur de l'énergie doit être considéré comme faisant partie intégrante de l'économie au sens large si l'on veut comprendre l'impact de la transition et veiller à ce qu'elle soit opportune et juste. Les régions et les pays ont des priorités socio-économiques, des ressources et des points de départ différents, qui influencent la portée et le rythme de leur transition énergétique. Les transitions énergétiques produisent des changements structurels qui apportent des bénéfices, mais posent également des défis qui se manifestent sous la forme de déséquilibres dans les finances, les marchés du travail, les systèmes électriques et le secteur de l'énergie lui-même. Ces déséquilibres, s'ils ne sont pas bien gérés, risquent de générer des inégalités et un ralentissement de la transition énergétique. Il est impératif de mettre en place des politiques justes et intégrées, mises en œuvre par des institutions fortes, si l'on veut réaliser le plein potentiel de la transition énergétique.

La coopération internationale est un élément essentiel de la transition énergétique mondiale.

Un cadre politique global est nécessaire à l'échelon mondial pour rassembler les pays et les engager dans une transition juste sans laissés pour compte et apte à renforcer les flux internationaux de financement, de capacités et de technologies. Les politiques climatiques constituent un élément essentiel de ce cadre. Parmi les autres mesures à mettre en place figurent des politiques fiscales (notamment, une tarification adéquate du carbone couvrant les émissions dans tous les secteurs) et un financement public permettant de mettre en œuvre des politiques visant à favoriser le déploiement, à créer des conditions habilitantes et à assurer une transition juste et stable. Les composantes de ce dernier impératif sont le développement industriel, l'éducation et la formation, et la protection sociale. Les ressources financières requises ne seront pas toujours disponibles à l'échelon national, aussi une coopération internationale devra-t-elle apporter le soutien nécessaire, surtout aux pays les moins avancés et aux petits États insulaires en développement.

FIGURE S.13 Cadre politique favorable à une transition énergétique juste et inclusive

