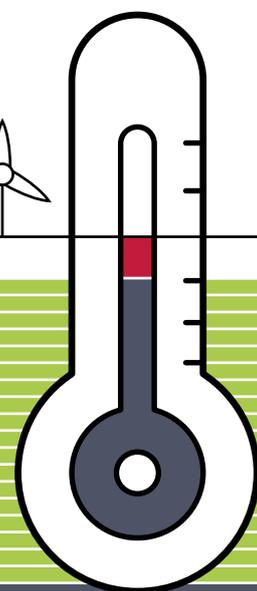


TRANSFORMER LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE



... POUR LIMITER
LA HAUSSE DES
TEMPÉRATURES
MONDIALES

CHIFFRES CLÉS

110

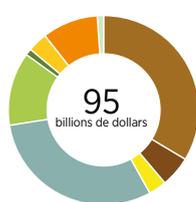
billions de dollars

d'investissement nécessaires dans le secteur d'ici 2050 pour parvenir à la

TRANSFORMATION DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE

+15 billions de dollars
par rapport aux

TRAJECTOIRE ACTUELLE



Investissements accrus et **modification du bouquet énergétique**

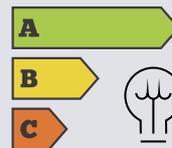
Investissements dans l'efficacité énergétique :

37 billions de dollars
contre 29 billions de dollars



Investissements dans les énergies renouvelables :

27 billions de dollars
contre 12 billions de dollars

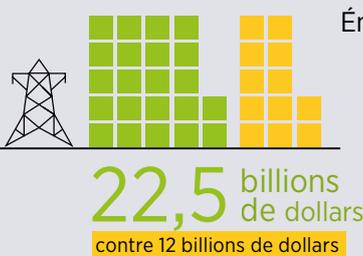


Évolution des **dépenses commerciales** et des modèles d'investissement



2,5% de croissance du PIB

Électricité



Énergies finales



Biocarburants



7 millions d'emplois supplémentaires*



* Création d'emplois nette en croissance de 0,15 % en 2050 dans l'ensemble de l'économie, grâce à la **TRANSFORMATION ÉNERGÉTIQUE**, par rapport à la **TRAJECTOIRE ACTUELLE**

PRINCIPALES CONCLUSIONS

L'Accord de Paris se fixe pour objectif de « contenir l'élévation de la température de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels », ce qui permettrait de réduire largement les risques liés aux changements climatiques et à leurs retombées. Il nous reste aujourd'hui moins de deux décennies pour réduire drastiquement nos émissions de carbone. Si nous échouons, selon le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC, 2018), nous pourrions franchir le seuil de basculement dans un avenir marqué par des changements climatiques catastrophiques.¹

Des investissements ambitieux dans le secteur de l'énergie, notamment la transformation de la production d'électricité, des transports et d'autres utilisations de l'énergie, tant du côté de l'approvisionnement que de la demande, peuvent compter parmi les succès qui sont à notre portée pour un avenir durable. Les sources d'énergie renouvelables, associées à une amélioration constante de l'efficacité énergétique, constituent la solution la plus pratique et la plus rapidement disponible dans les délais fixés par le GIEC. En entamant dès maintenant une transformation énergétique globale, il est possible de commencer à bâtir un meilleur système énergétique, c'est-à-dire un système capable de garantir qu'à la fin du siècle, les températures planétaires n'augmenteront pas de plus de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels.

Actuellement, dans le monde entier, les plans énergétiques nationaux et les contributions déterminées au niveau national (NDC) sont loin d'atteindre les réductions d'émissions nécessaires. À ce rythme, le monde épuisera son « budget carbone » du siècle d'ici dix ans seulement, pour ce qui concerne les émissions dues à la production d'énergie. Pour rester sous les 1,5 °C, les émissions cumulées de dioxyde de carbone (CO₂) dues à l'énergie doivent être inférieures de 400 gigatonnes (Gt) d'ici 2050 par rapport à ce que les politiques et plans actuels prévoient.

L'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) a exploré deux grandes pistes pour l'avenir : **la trajectoire actuelle** (c'est-à-dire le cap fixé par les politiques actuelles et planifiées) d'une part et d'autre part la voie à suivre pour une **transformation énergétique** propre et à l'épreuve du climat.² L'analyse de l'IRENA montre que la construction d'un tel avenir, offrant des garanties pour climat et à faible émission de carbone, comporterait toute une série d'avantages socio-économiques. Pour y parvenir, il faut toutefois accélérer sans tarder le rythme et l'importance des investissements consentis en faveur des énergies renouvelables.

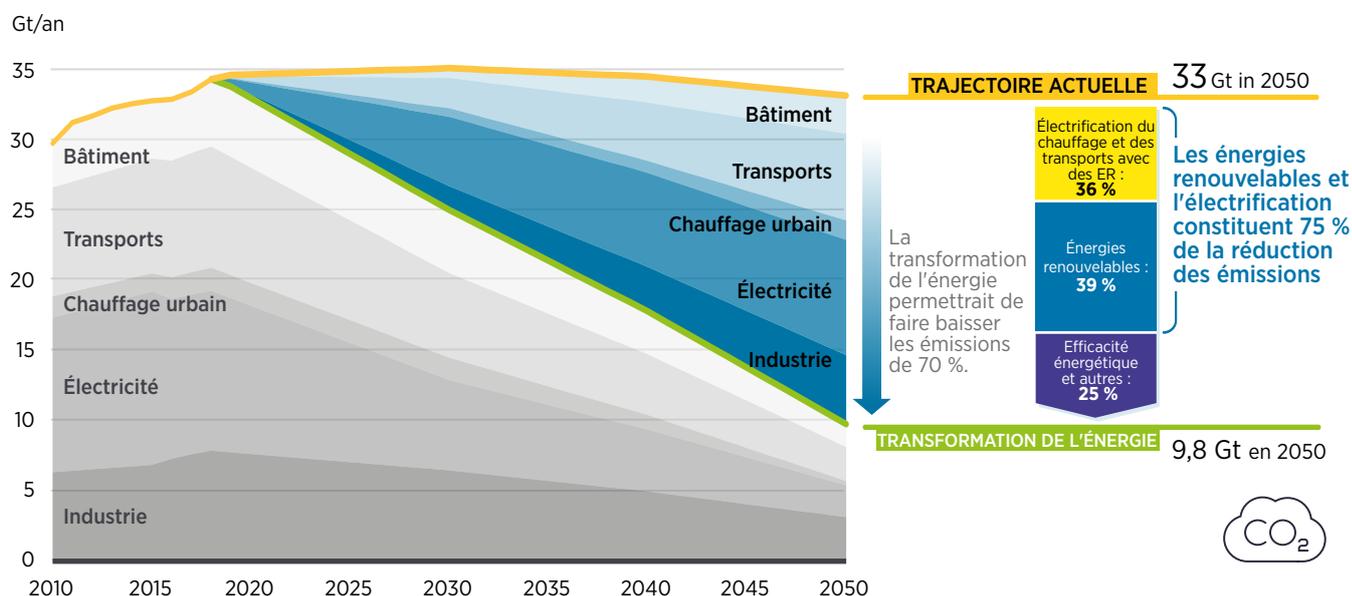
Les technologies liées aux énergies renouvelables ne permettront pas, à elles seules, une décarbonisation suffisante. Le futur système énergétique comprend trois éléments interdépendants : les énergies renouvelables, qui ne sont que l'un de ces éléments, doivent s'accompagner de l'amélioration constante de l'efficacité énergétique et de l'électrification accrue des secteurs d'utilisation finale. L'équation des coûts est également importante, car des énergies renouvelables abordables permettent un remplacement plus rapide et plus rentable des systèmes conventionnels basés sur les hydrocarbures et le charbon.

Les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique, optimisées par l'électrification, peuvent permettre de réduire de plus de neuf dixièmes les émissions de CO₂ liées à l'énergie

¹ Accord de Paris, teneur de l'art. 2 1) a).

² « Transformation énergétique mondiale : une feuille de route jusqu'en 2050 » (IRENA, 2019) analyse et compare ces deux stratégies d'investissement et de développement jusqu'au milieu du siècle.

Émissions et réductions annuelles de CO₂ liées à l'énergie, 2010-2050



Options concrètes pour la décarbonisation énergétique mondiale

L'IRENA a exploré les options de développement énergétique mondial selon deux scénarios principaux : le cap fixé par les politiques actuelles et planifiées ; et une voie plus propre et résiliente au changement climatique, fondée sur une adoption plus ambitieuse des énergies renouvelables et des technologies qui leur sont associées. Tout au long de ce rapport, le premier scénario (la **trajectoire actuelle**) est employée comme référence pour illustrer une **transformation énergétique** plus ambitieuse.

Le rapport intitulé « *Transformation énergétique mondiale : une feuille de route jusqu'en 2050* » (IRENA, 2019) analyse et compare ces deux stratégies d'investissement et de développement jusqu'au milieu du siècle.

L'analyse continue de la feuille de route (qui est mise à jour chaque année) suit plusieurs étapes clés :

- L'identification des **trajectoire actuelle** de développement énergétique mondial servant de scénario de référence pour comparer les options d'investissement à l'échelle mondiale jusqu'en 2050. Ce scénario se fonde sur les plans actuels des pouvoirs publics en matière d'énergie et sur d'autres objectifs et stratégies planifiés, notamment les engagements climatiques pris depuis 2015 dans le cadre des contributions déterminées au niveau national en vertu de l'Accord de Paris ;

- L'évaluation du **potentiel supplémentaire** d'élargissement ou d'optimisation des technologies et des approches à faible émission de carbone, notamment les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et l'électrification, tout en tenant compte du rôle des autres technologies ;
- L'élaboration d'un scénario réaliste et pratique de **transformation énergétique**, appelé dans d'autres publications le scénario REmap. Ce dernier exige un déploiement beaucoup plus rapide des technologies à faible émission de carbone, fondées en grande partie sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique, en vue d'une transformation de la consommation d'énergie visant à maintenir la hausse des températures mondiales pendant ce siècle à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels. Le scénario se concentre principalement sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) liées à l'énergie, qui représentent environ les deux tiers des émissions mondiales de gaz à effet de serre ;
- **Analyse du coût, des avantages et des besoins en termes d'investissement** liés aux technologies à faible émission de carbone pour réaliser la transformation énergétique envisagée à l'échelle planétaire.

Pour en savoir plus sur la feuille de route globale et les analyses qui la sous-tendent, consultez www.irena.org/remap.

En outre, la baisse des coûts des énergies renouvelables présente une synergie cruciale avec la mobilité électrique et le chauffage. Les solutions de chauffage et de transport basées sur les énergies renouvelables pourraient à elles seules fournir les deux tiers des réductions d'émissions consécutives à la production d'énergie et qui sont nécessaires pour atteindre les objectifs climatiques internationaux accordés.

Une infrastructure de réseau moderne et de plus en plus « intelligente » permet une flexibilité sans précédent dans la production, la distribution et l'utilisation de l'énergie. Mais, pour tirer le meilleur parti de ces avantages, des investissements sont nécessaires.

Les modèles d'investissement doivent changer

En dépit de l'urgence climatique, les modèles d'investissement actuels présentent un décalage flagrant avec la voie à suivre pour rester sous les 1,5 °C. Les investissements dans des solutions énergétiques à faible émission de carbone ont stagné au cours des trois dernières années.

Les pouvoirs publics prévoient actuellement d'investir au moins 95 billions de dollars dans des systèmes énergétiques sur les trois prochaines décennies. Mais ces plans et les investissements connexes ne sont pas toujours orientés vers des systèmes à l'épreuve du changement climatique. Les investissements doivent donc être réorientés.

Pour assurer un avenir sans danger pour le climat, il faut investir dans un système énergétique qui accorde la priorité aux énergies renouvelables, à l'efficacité et aux infrastructures énergétiques connexes. Avec un bouquet d'investissement énergétique différent et un investissement complémentaire de 15 billions de dollars seulement, il est possible de bâtir un système énergétique mondial à l'épreuve des changements climatiques, avec des technologies liées aux énergies renouvelables rentables, s'appuyant sur une utilisation efficace de l'énergie.

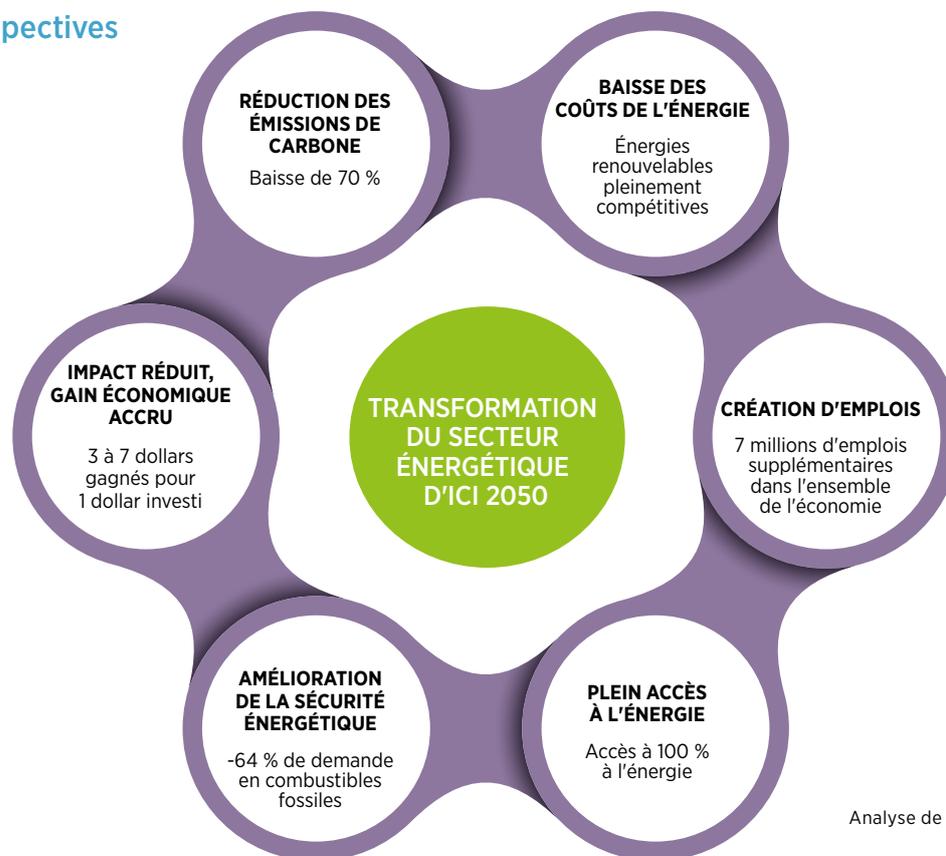
Il faudrait investir chaque année 3,2 billions de dollars, soit environ 2 % du produit intérieur brut (PIB) mondial, pour réaliser cette transformation énergétique à faible émission de carbone. Cela constitue un demi-billion de dollars de plus que ce que prévoit la trajectoire actuelle. Dans ce scénario, les investissements énergétiques mondiaux cumulés jusqu'en 2050 auraient augmenté de 16 % ; leur composition globale s'éloignerait de manière décisive des combustibles fossiles.

Pour transformer le système énergétique, il faudra investir deux fois plus dans la production d'énergie de sources renouvelables et ce au cours des trois décennies à venir.

Les énergies renouvelables et les infrastructures connexes représentent près de la moitié de la différence, le reste étant absorbé par l'efficacité énergétique et les applications de transport et de chauffage électrifiés :

- Les investissements destinés à renforcer la capacité de production d'énergies renouvelables doivent être deux fois plus élevés que ce qui est actuellement prévu et atteindre 22,5 billions de dollars d'ici 2050.
- Il faut investir 1,1 billion de dollars par an dans l'efficacité énergétique, soit plus du quadruple que le niveau actuel.
- Avec la montée en puissance des énergies solaire et éolienne, les exploitants de réseaux ont besoin de nouveaux équipements pour assurer un fonctionnement souple de l'ensemble du système électrique. Certaines solutions sont axées sur le marché, d'autres exigent des investissements dans des solutions technologiques modernes. Parmi les domaines du système électrique dans lesquels il est judicieux d'investir, on peut citer entre autres le développement rapide de systèmes de production thermique auxiliaires, les centrales hydroélectriques de pompage, les réseaux de transport et de distribution renforcés, l'équipement de commande numérique, une capacité de stockage considérablement accrue ainsi que la gestion de la demande au moyen de pompes à chaleur, de chauffe-eaux électriques et de batteries hors réseau.
- Un système énergétique transformé comprendrait plus d'un milliard de véhicules électriques à l'échelle mondiale d'ici 2050. Les investissements combinés dans l'infrastructure de charge et l'électrification des chemins de fer pourraient s'élever à 298 milliards de dollars par an.
- L'industrie et le bâtiment pourraient quant à eux intégrer plus de 300 millions de pompes à chaleur à haut rendement énergétique, soit dix fois plus qu'aujourd'hui. Cela représente des investissements de l'ordre de 76 milliards de dollars par an.
- Pour renforcer encore davantage les synergies du système, près de 19 exajoules de la demande énergétique mondiale pourraient être satisfaits à l'aide d'hydrogène renouvelable (c'est-à-dire de l'énergie obtenue en brûlant de l'hydrogène produit à partir de sources renouvelables). Cela impliquerait toutefois d'augmenter de près de 1 térawatt la capacité d'électrolyse d'ici 2050 ; l'investissement moyen à consentir serait de l'ordre de 16 milliards de dollars par an à l'échelle mondiale.
- Les investissements dans le chauffage, les carburants renouvelables et les utilisations directes, qui se sont montés à environ 25 milliards de dollars l'an dernier (AIE, 2019), doivent quasiment tripler et atteindre 73 milliards de dollars par an au cours des trois prochaines décennies.
- Les investissements annuels les plus élevés dans la transformation de l'énergie jusqu'en 2050 seraient effectués en Asie de l'Est, avec 763 milliards de dollars, suivie de l'Amérique du Nord avec 487 milliards de dollars. L'Afrique subsaharienne et l'Océanie présenteraient les investissements les plus faibles, avec 105 milliards de dollars et 34 milliards de dollars par an, respectivement.

Besoins et perspectives



Pour rester en deçà de la limite de 1,5 °C recommandée par le GIEC, nous devons transférer d'ici 2050 près de 18,6 billions de dollars des investissements énergétiques cumulés consentis à l'échelle mondiale en faveur des combustibles fossiles vers les technologies à faible teneur en carbone. Les investissements annuels moyens dans les combustibles fossiles au cours de la période chuteraient alors pour s'établir à 547 milliards de dollars, soit la moitié environ de ce que le secteur des combustibles fossiles a investi en 2017.

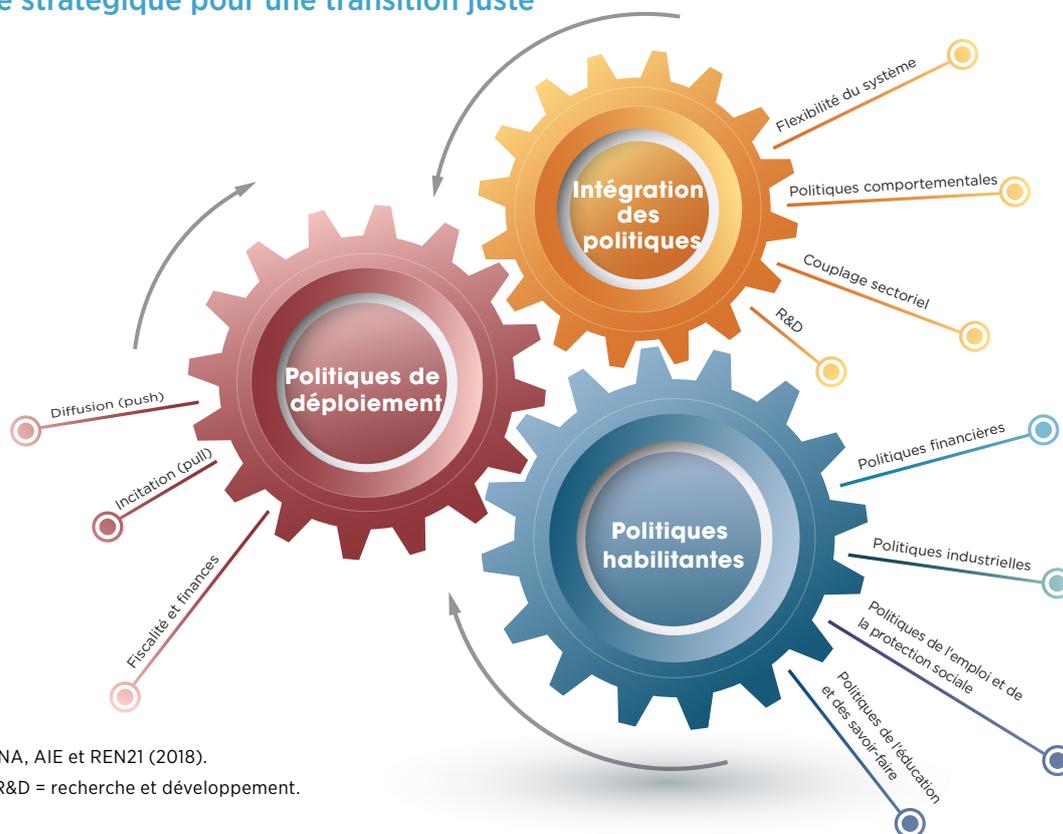
Chaque dollar dépensé peut rapporter jusqu'à sept dollars en économies de carburant, éviter des investissements inutiles et réduire les dommages pour la santé et l'environnement

Pour le monde, ces investissements, réorientés seront bien plus rentables. Fort heureusement, la transformation du système énergétique s'avère moins coûteuse que l'inaction. Cela reste vrai même sans tenir compte des avantages de l'atténuation des changements climatiques et de la durabilité à long terme. À l'horizon 2050, les sommes économisées grâce à la réduction des subventions nettes en matière d'énergie et à la réduction des dommages causés à la santé et à l'environnement seraient trois à sept fois supérieures aux investissements.

L'analyse de l'IRENA montre que, par rapport à la trajectoire actuelle, les investissements dans la transformation énergétique pourraient créer des gains de PIB supplémentaires de près de 98 billions de dollars d'ici 2050.

Avec la transformation, les emplois dans le secteur de l'énergie augmenteraient de 14 %. La création de nouveaux emplois l'emporterait sur les emplois perdus, même en tenant compte de la baisse des emplois liés aux combustibles fossiles. D'ici 2050, les emplois liés aux énergies renouvelables devraient augmenter d'environ 64 %, quelle que soit la technologie employée.

Le cadre stratégique pour une transition juste



Basé sur IRENA, AIE et REN21 (2018).

Remarque : R&D = recherche et développement.

Si ces indicateurs sont très encourageants, les investissements dans le secteur de l'énergie ne peuvent plus être réalisés sans tenir compte d'un contexte socio-économique plus large. À mesure que les pays adoptent de plus en plus les énergies renouvelables, le besoin d'un cadre politique global pour la transformation qui s'ensuivra se révèle. Si l'on souhaite une transition juste et rapide, les plans et les stratégies d'investissement doivent s'accompagner d'une évaluation claire et intégrée de la façon dont le système énergétique interagit avec l'économie en général.

Les pays qui cherchent à stimuler la croissance économique peuvent à la fois optimiser les effets des énergies renouvelables et réduire au minimum le coût des ajustements économiques et de l'emploi. Des politiques d'investissement énergétiques clairvoyantes, lorsqu'elles sont associées à des politiques socio-économiques judicieuses, peuvent contribuer à assurer une transformation juste qui ne laisse personne sur le carreau.

Grâce à des investissements éclairés, les pays et les communautés peuvent, dès aujourd'hui, augmenter la part des énergies renouvelables de manière rentable, en retirant des bénéfices réguliers en matière d'efficacité énergétique et réaliser des synergies

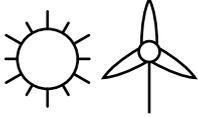
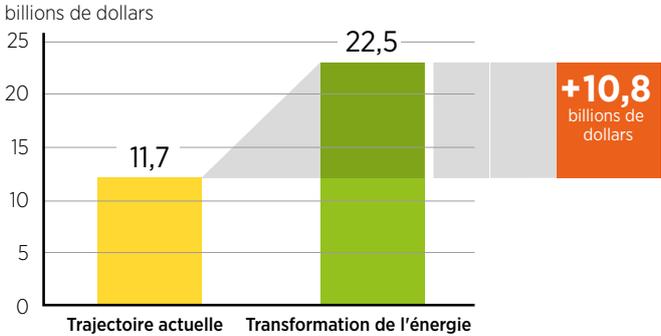
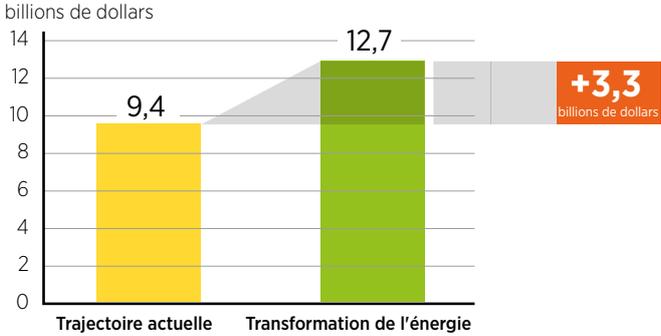
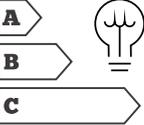
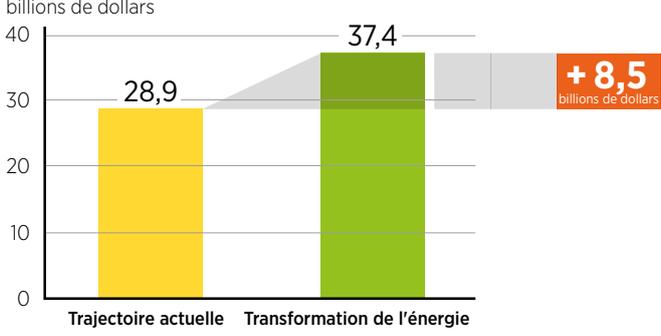
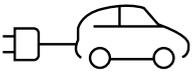
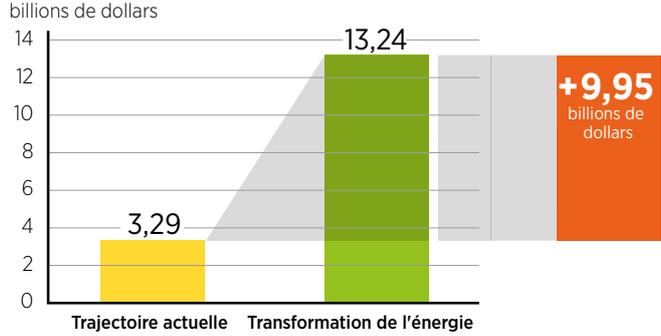
Un système énergétique transformé contribuerait à la réalisation des objectifs de développement durable et stimulerait les bénéfices dans de multiples secteurs.

extraordinaires grâce à l'électrification. Un système énergétique transformé d'ici 2050 devrait être en mesure de répondre aux besoins mondiaux pour la seconde moitié du siècle.

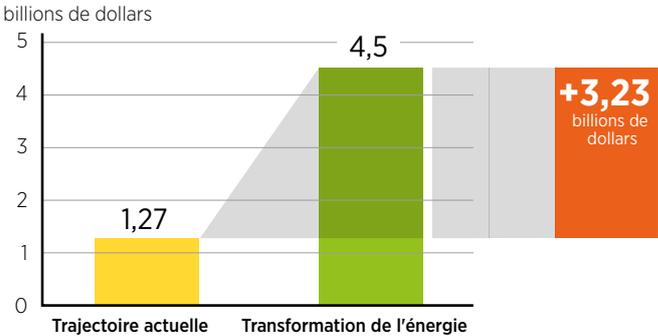
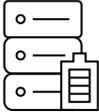
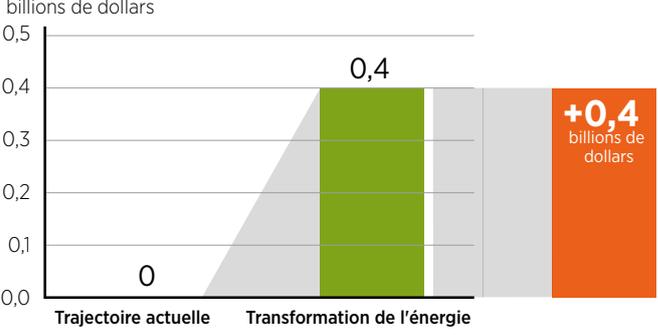
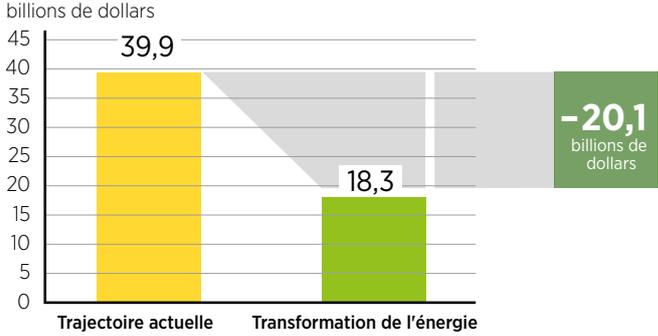
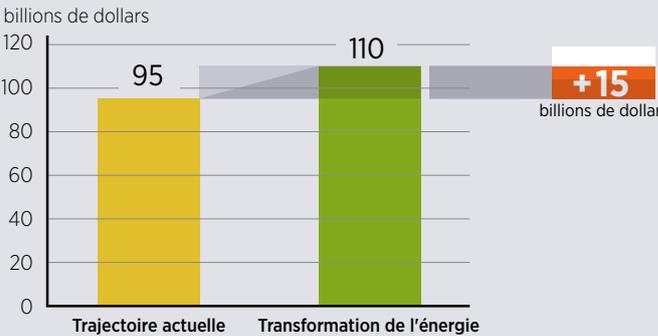
Si les besoins et les aspirations socio-économiques sont satisfaits en parallèle, ces changements seront plus facilement acceptés et perdureront même au-delà des changements qu'il est urgent d'entreprendre actuellement pour atténuer les changements climatiques. Alors, et alors seulement, la transformation énergétique mondiale sera véritablement durable.

Investissements nécessaires jusqu'en 2050 technologie par technologie :

Trajectoire actuelle ■ vs. transformation énergétique ■

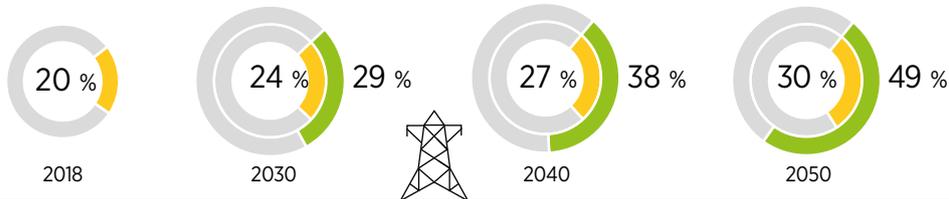
| Catégorie | Investissements cumulés de 2016 à 2050 | Différence | Commentaires |
|--|--|---|--------------|
| Capacité de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables (hors électrification)  | billions de dollars  <p>Trajectoire actuelle : 11,7 Transformation de l'énergie : 22,5 Différence : +10,8 milliards de dollars</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Principalement la construction d'une capacité de production alimentée par les énergies éolienne et solaire photovoltaïque | |
| Réseaux électriques et flexibilité  | billions de dollars  <p>Trajectoire actuelle : 9,4 Transformation de l'énergie : 12,7 Différence : +3,3 milliards de dollars</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 80 % pour l'extension et le renforcement des réseaux de transport et de distribution • Le reste pour les compteurs intelligents, le stockage de l'énergie (hydroélectricité pompée, stockage en batteries) et une capacité de production modernisée ou nouvelle pour assurer une puissance de réserve adéquate | |
| Efficacité énergétique dans les secteurs d'utilisation finale (hors électrification)  | billions de dollars  <p>Trajectoire actuelle : 28,9 Transformation de l'énergie : 37,4 Différence : +8,5 milliards de dollars</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 50 % pour la rénovation de bâtiments et la construction de nouveaux bâtiments efficaces • Le reste pour l'amélioration des transports et de l'industrie | |
| Électrification des secteurs d'énergie finale  | billions de dollars  <p>Trajectoire actuelle : 3,29 Transformation de l'énergie : 13,24 Différence : +9,95 milliards de dollars</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 80 % pour les infrastructures de recharge des véhicules électriques et l'électrification des chemins de fer • Le reste pour des pompes à chaleur dans le bâtiment (12 %) et l'industrie (8 %) • Moins de 1 % pour construire 1 TW de capacité d'électrolyse produisant 19 exajoules d'hydrogène | |

Remarque : EJ = exajoule ; PEM = membrane électrolytique polymère ; PV = photovoltaïque ; TW = térawatt.

| Catégorie | Investissements cumulés de 2016 à 2050 | Différence | Commentaires |
|--|---|---|--------------|
| Applications directes des énergies renouvelables  | billions de dollars  | <ul style="list-style-type: none"> • 42 % pour la production de biocarburants, afin de décarboniser le secteur des transports, en particulier l'aviation et les transports maritimes • 40 % pour les déploiements solaires thermiques dans l'industrie (principalement) et le bâtiment • 11 % pour la biomasse moderne ; le reste pour le déploiement de la géothermie | |
| Autres  | billions de dollars  | <ul style="list-style-type: none"> • Comprend le captage et le stockage du carbone dans l'industrie et l'amélioration de l'efficacité des matériaux | |
| Énergies non renouvelables  | billions de dollars  | <ul style="list-style-type: none"> • Plus de 90 % du changement dû à la baisse des dépenses en combustibles fossiles (approvisionnement en amont, capacité de production) • Le solde représente les investissements évités dans la production d'énergie nucléaire | |
| Différence totale | billions de dollars  | <div style="border: 1px solid white; padding: 10px; background-color: #e67e22; color: white; text-align: center;"> <p>Les besoins globaux d'investissements supplémentaires s'élèvent à 15 milliards de dollars.</p> </div> | |

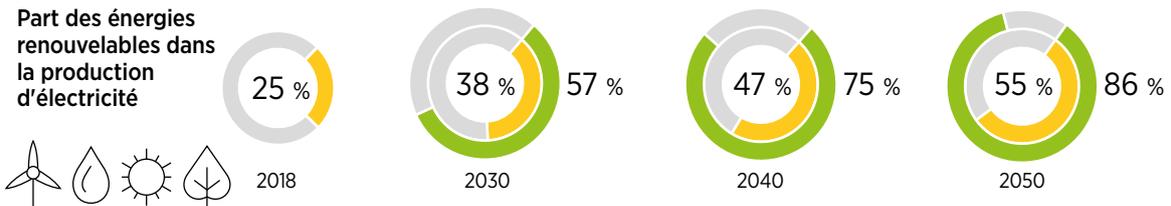
Indicateurs clés pour deux scénarios : Trajectoire actuelle ■ vs. transformation énergétique ■

Part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie

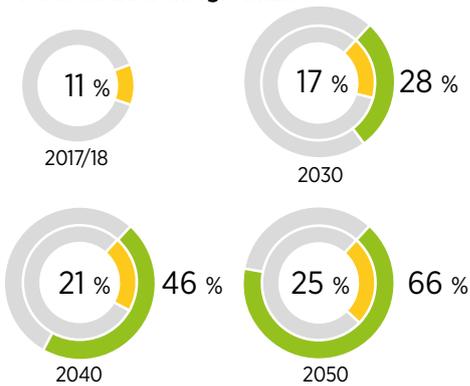


TRAJECTOIRE ACTUELLE
TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE

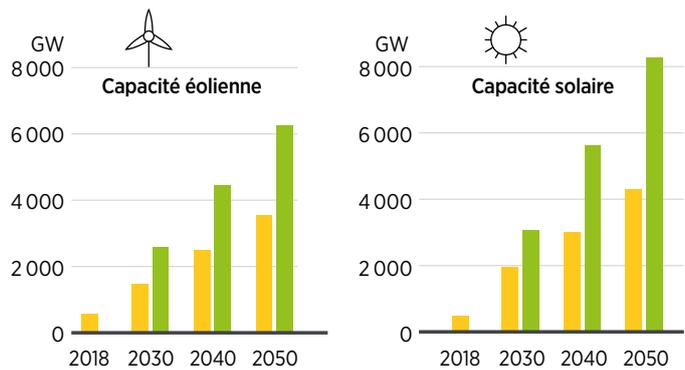
Part des énergies renouvelables dans la production d'électricité



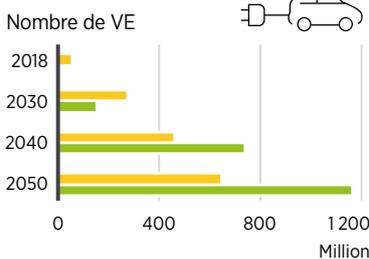
Part des énergies renouvelables dans les secteurs d'énergie finale



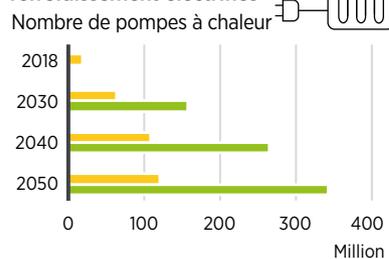
Capacité variable des énergies renouvelables



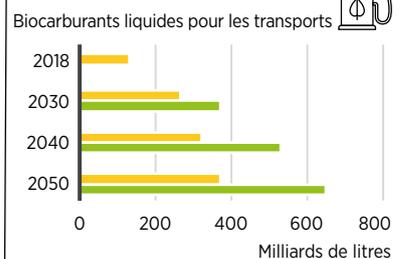
Transport électrifié



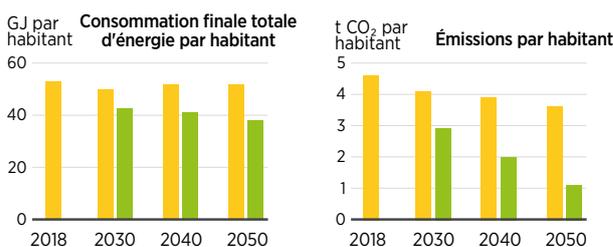
Chauffage et refroidissement électrifiés



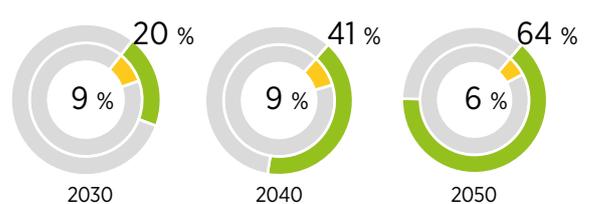
Biocarburants pour les transports



Efficacité énergétique



Baisse de la demande totale de combustibles fossiles par rapport à aujourd'hui



Analyse de l'IRENA.

Remarque : La capacité éolienne totale comprend l'énergie éolienne terrestre et l'énergie éolienne en mer ; la capacité solaire photovoltaïque totale comprend aussi bien les structures de production commerciales qu'à petite échelle.

VE = véhicules électriques ; GJ = gigajoule ; GW = gigawatt.

« Le marché a donné le signal avec des technologies compétitives en termes de coût. Les décideurs doivent maintenant mettre en place des cadres propices à l'accélération des investissements à l'épreuve du changement climatique. Nous devons créer un système énergétique à faible émission de carbone pour faire face à la hausse des températures mondiales. C'est à notre portée. »

Francesco La Camera

Directeur général
de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables

À propos de l'IRENA

L'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) est une organisation intergouvernementale qui fait office de principale plate-forme de coopération, est un centre d'excellence, un référentiel de connaissances politiques, technologiques, sur les ressources et financières, et de moteur de l'action sur le terrain pour faire progresser la transformation du système énergétique mondial. L'IRENA encourage l'adoption généralisée et l'utilisation durable de toutes les formes d'énergies renouvelables, y compris la bioénergie, l'énergie géothermique, l'hydroélectricité, les énergies marines, les énergies solaires et l'énergie éolienne dans la poursuite du développement durable, de l'accès à l'énergie, de la sécurité énergétique, de la croissance économique faible en carbone et de la prospérité.

Ce document résume le rapport intitulé « Transformer le système énergétique... pour limiter la hausse des températures mondiales » (***Transforming the energy system - and holding the line on the rise of global temperatures***), de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), Abou Dhabi, 2019 (ISBN 978-92-9260-149-2).

Le rapport et le résumé peuvent être téléchargés à l'adresse suivante : www.irena.org/publications

Pour de plus amples renseignements ou pour nous faire part de vos commentaires : info@irena.org

Avis de non-responsabilité :

Les désignations employées et la présentation des documents figurant dans le présent rapport sont fournies « en l'état », uniquement à des fins d'information, sans aucune condition, garantie ou engagement, explicite ou implicite, de la part de l'IRENA, de ses fonctionnaires et agents, y compris, sans s'y limiter, les garanties d'exactitude, d'intégralité et d'aptitude pour un usage particulier ou l'utilisation d'un tel contenu.

Les informations contenues dans le présent document ne reflètent pas nécessairement le point de vue de tous les membres de l'IRENA et ne constituent pas non plus une approbation d'un projet, d'un produit ou d'un prestataire de services. Les désignations employées et la présentation des documents figurant dans le présent rapport n'impliquent de la part d'IRENA aucune prise de position quant au statut juridique des régions, pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

TRANSFORMER LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE

**PRINCIPALES CONCLUSIONS
ET CHIFFRES CLÉS**

www.irena.org