

# L'innovation énergétique

---

*Pourquoi elle s'impose, et comment  
la rendre possible*

BY BILL GATES

---

30 NOVEMBRE 2015

# Introduction

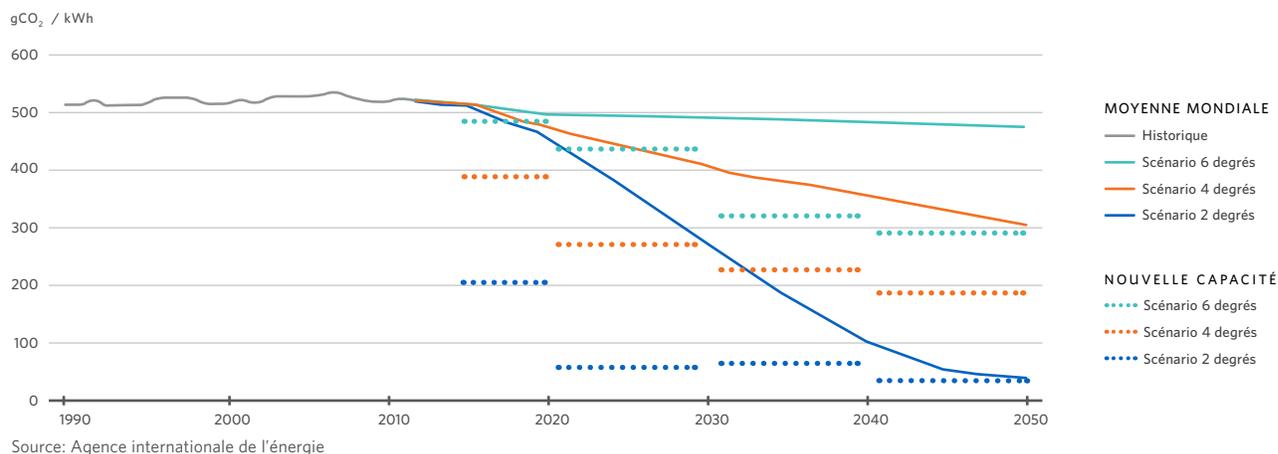
Dans 30 ans, le monde consommera beaucoup plus d'énergie qu'à l'heure actuelle. Cela devrait être une bonne nouvelle. En effet, plus un pays a accès à des sources d'énergie fiables et abordables, plus la qualité de vie y augmente. Toutefois, à l'heure actuelle, plus d'un milliard de personnes n'ont pas accès aux services énergétiques les plus élémentaires. L'énergie permet aux écoles et aux entreprises de fonctionner, aux villes d'être éclairées, aux tracteurs de labourer la terre et aux voitures et camions de circuler. Sans énergie abondante, le taux de pauvreté n'aurait pas chuté de plus de moitié depuis 1990, et des centaines de millions d'êtres humains auraient été privés de la possibilité d'améliorer leur existence. Il n'y aurait ni acier, ni engrais, ni ciment, ni bon nombre de ces autres matériaux qui rendent la vie moderne possible.

Bien sûr, cette tendance énergivore de plus en plus marquée n'a pas que des avantages. Plus de 80 %<sup>1</sup> de l'énergie que nous consommons aujourd'hui provient des combustibles fossiles, qui produisent des gaz à effet de serre et sont le moteur du changement climatique. Les scientifiques conviennent généralement que pour maintenir le réchauffement

climatique sous la barre des deux degrés Celsius (à minima), les principaux émetteurs de dioxyde de carbone doivent réduire leurs émissions de 80 % d'ici à 2050, et que tous les pays doivent complètement cesser d'émettre du CO<sub>2</sub> d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.

## IMPACT DE LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS SUR L'AUGMENTATION DE LA TEMPÉRATURE AU NIVEAU MONDIAL

La courbe bleue montre à quel point il est crucial que nous réduisions les émissions provenant de la production d'énergie si nous voulons limiter le réchauffement planétaire à 2 degrés Celsius.



<sup>1</sup> Vaclav Smil, *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*.

La principale source d'émissions est de loin la production d'énergie, qui représente environ deux tiers des gaz à effet de serre résultant de l'activité humaine<sup>2</sup>. Rationaliser l'utilisation de l'énergie peut être utile, mais pour réduire drastiquement les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> ou les éliminer, il n'existe qu'une seule solution : passer à des sources d'énergie qui n'émettent pas de dioxyde de carbone.<sup>3</sup>

L'accès à des énergies fiables et abordables devrait être une priorité même s'il n'y avait pas de problème climatique. De telles énergies aideraient des millions de personnes supplémentaires à s'affranchir de la pauvreté et à devenir plus autonomes. Elles apaiseraient les tensions internationales, renforceraient la sécurité mondiale et rendraient plus de pays autosuffisants en énergie. Elles ouvriraient de nouveaux débouchés économiques dans un secteur en pleine croissance représentant plusieurs billions de dollars. Elles atténueraient les problèmes associés à l'extraction des combustibles fossiles, opération coûteuse et souvent dangereuse. Elles réduiraient la pollution de l'air, responsable du décès de millions de personnes chaque année.<sup>4</sup> Pour finir, elles stabiliseraient les prix de l'énergie, avec à la clé des retombées encore plus importantes sur l'économie mondiale à l'heure où nous sommes de plus en plus nombreux à dépendre de l'énergie au quotidien.

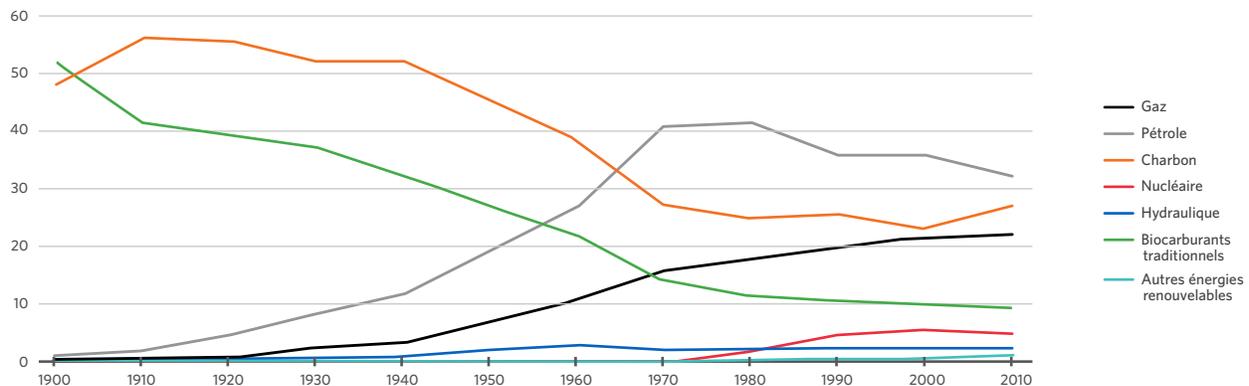
Cette opportunité est particulièrement évidente pour les pays en développement, pour lesquels l'impératif le plus immédiat consiste à assurer le fonctionnement des écoles et des hôpitaux et la croissance économique. Contraints de choisir entre une énergie propre et une énergie fiable et abordable, il serait tout à fait responsable de leur part de considérer que la santé et le bien-être de leurs habitants aujourd'hui passent avant les implications du changement climatique – qui sont lourdes de conséquences, mais dans un avenir incertain. Pour résoudre ce dilemme, nous devons rendre l'énergie fiable, abordable et propre.

Autrement dit, passer à de nouvelles sources d'énergie n'est pas qu'une réponse avisée face à la menace du changement climatique : c'est aussi l'occasion de rendre le monde plus sûr et plus équitable.

L'argumentaire que je souhaite développer ici est le suivant : même si nous avons réalisé d'importants progrès dans la lutte contre le changement climatique, nous devons progresser à un rythme beaucoup plus soutenu. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) souligne que « les tendances récentes mettent [...] en évidence la nécessité d'accélérer l'innovation en matière de technologies énergétiques ».<sup>5</sup> Pour pouvoir passer à la vitesse supérieure, les gouvernements et le secteur privé devraient investir beaucoup plus dans la recherche, le développement et la mise en place des énergies propres.

## LES TRANSITIONS ÉNERGÉTIQUES PRENNENT DES DIZAINES D'ANNÉES

Pourcentage de l'approvisionnement énergétique mondial total



Source: Vaclav Smil

<sup>2</sup> Agence internationale de l'énergie, rapport *Energy Technology Perspectives 2015* (Perspectives pour les technologies de l'énergie).

<sup>3</sup> Il faut aussi réduire les émissions mondiales dans d'autres secteurs, comme le secteur manufacturier. Ainsi, la fabrication de l'acier et du ciment implique des réactions chimiques qui dégagent du dioxyde de carbone. Le bétail produit du méthane, autre gaz à effet de serre. Les sources d'énergie à émissions de carbone nulles ne changeront rien à ces faits. Mais comme l'énergie participe si largement aux émissions à échelle mondiale, il n'est pas possible de résoudre les enjeux climatiques sans l'adoption de l'énergie sans carbone. Bien que nécessaire, elle ne suffit toutefois pas.

<sup>4</sup> Organisation mondiale de la Santé (<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/fr/>).

<sup>5</sup> Agence internationale de l'énergie, rapport *Energy Technology Perspectives 2015* (Perspectives pour les technologies de l'énergie).

Ce travail doit intervenir dès maintenant. L'histoire des transitions énergétiques est éloquent : il faut plusieurs années pour mettre au point de nouvelles sources d'énergie, et plusieurs décennies pour qu'elles jouent un rôle significatif dans le bouquet énergétique. Aujourd'hui, moins de 5 % de l'énergie mondiale provient des énergies renouvelables. Or, il a fallu quarante ans pour que la part du pétrole dans l'approvisionnement énergétique mondial passe de 5 à 25 %. Pour le gaz naturel, il a fallu plus longtemps encore.<sup>6</sup>

Je suis convaincu que nous pouvons accélérer cette transition, d'une part parce que le rythme d'innovation est de plus en plus rapide, et d'autre part parce que c'est la première fois que nous avons une raison aussi impérieuse de passer d'une source d'énergie à une autre. Certains critiques avancent que seuls les gouvernements peuvent gérer une transition de cette ampleur. D'autres sont d'avis que seul le secteur privé est capable de créer les innovations nécessaires. Les deux arguments se tiennent. Les sociétés privées finiront par faire des percées importantes dans le domaine énergétique. Cela dit, leur travail reposera sur le type de recherches fondamentales que seuls les gouvernements sont en mesure de financer. Les principaux moteurs de l'innovation sont la recherche gouvernementale et les investissements privés à haut risque.

L'AIE plaide à la fois pour le déploiement de « solutions immédiatement disponibles » et le développement de « solutions plus complexes, indispensables à une décarbonation approfondie à long terme ».<sup>7</sup> Or, la plupart des débats sur l'énergie et le climat s'intéressent seulement aux premières solutions. Si importantes soient-elles, elles ne doivent pas nous faire négliger le deuxième type de solutions : les innovations révolutionnaires qui permettront in fine de résoudre le problème à l'échelle mondiale. En investissant judicieusement, nous pouvons donner à la planète les outils capables de répondre à ses besoins énergétiques croissants, tout en ramenant nos émissions de carbone à un niveau proche de zéro.

## Pourquoi l'innovation énergétique est une nécessité

Ces dix dernières années, des progrès remarquables ont été réalisés dans le domaine des technologies zéro carbone, notamment dans les énergies solaire photovoltaïque (PV) et éolienne. Les cellules solaires PV sont près de dix fois moins chères que par le passé. Il est indéniable que ces technologies peuvent jouer un rôle majeur au sein du bouquet énergétique décarboné mondial ; l'AIE estime que d'ici 2050, les énergies éolienne et solaire photovoltaïque pourraient réduire de 22 % les émissions annuelles associées à la production d'électricité.<sup>8</sup>

Pourquoi pas une réduction de 100 % ? L'une des raisons tient au fait que les énergies solaire PV et éolienne sont des sources intermittentes. Or, les clients ont besoin d'électricité même en l'absence de soleil et de vent.

À l'heure actuelle, cela implique l'existence d'un système parallèle alimenté par des combustibles fossiles. Lors des beaux jours d'été, les deux systèmes produisent conjointement une telle quantité d'électricité que les prix tombent sous zéro, et les entreprises de services publics en paient alors d'autres pour qu'elles utilisent leur produit. À l'inverse, la nuit, la seule source d'électricité provient des combustibles fossiles. Comme les fournisseurs d'énergie ont besoin de récupérer leurs coûts d'investissement et qu'ils ne sont pas rentables pendant la journée, ils doivent augmenter le prix de l'énergie pendant la nuit, faute de quoi ils vont lentement à la faillite.

Ce problème pourrait être résolu en stockant de l'énergie solaire et éolienne en masse pour l'utiliser lors des journées couvertes ou sans vent. Une autre solution consisterait à déployer ces ressources lors des journées de grand vent ou de grand soleil, et à les raccorder à d'autres lieux au moyen d'un réseau à haute tension. Ces options sont déjà utilisées à certains endroits, mais il faut les rendre moins coûteuses et plus performantes.

<sup>6</sup> Vaclav Smil, *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Le schéma sur la part actuelle des énergies renouvelables dans l'énergie mondiale ne tient pas compte de l'énergie hydraulique.

<sup>7</sup> Agence internationale de l'énergie, rapport *Energy Technology Perspectives 2015* (Perspectives pour les technologies de l'énergie).

<sup>8</sup> Agence internationale de l'énergie, rapport *Energy Technology Perspectives 2015* (Perspectives pour les technologies de l'énergie).

Par exemple, avec les technologies actuelles, il est économiquement insensé de stocker d'importants volumes d'énergie solaire ou éolienne pour les utiliser en l'absence de soleil et de vent. Selon le type d'accumulateur utilisé, il faut payer entre 30 et 80 cents pour stocker un kilowatt-heure d'électricité.<sup>9</sup> Or, aux États-Unis, le prix de l'électricité est d'environ 10 cents par kilowatt-heure<sup>10</sup> : autrement dit, les coûts du stockage rendraient l'électricité au moins trois fois plus chère, même si la production de l'électricité elle-même était gratuite. On retrouverait des augmentations tout aussi spectaculaires dans les pays de l'Union européenne, où le prix de l'électricité avoisine 20 cents par kilowatt-heure, et en Inde, où ils s'échelonnent entre 2 et 15 cents.<sup>11</sup>

De nos jours, les accumulateurs ont aussi une densité d'énergie bien inférieure à celle des combustibles fossiles (ils ont une capacité de stockage moins importante par rapport à leur poids). Le charbon fournit 37 fois plus d'énergie par kilogramme que les accumulateurs lithium-ion les plus performants à l'heure actuelle. Quant à l'essence, elle en fournit 60 fois plus.<sup>12</sup> C'est la raison pour laquelle les voitures électriques ont une autonomie inférieure aux voitures à hydrocarbures, et cela explique aussi pourquoi il n'y a pas d'avions, de camions ou de cargos électriques. Tout accumulateur suffisamment volumineux pour les alimenter serait aussi beaucoup trop lourd pour être exploitable.

Pour pouvoir tirer le meilleur parti du solaire PV, de l'énergie éolienne et des accumulateurs (surtout s'ils sont destinés à alimenter des usines, des gratte-ciel et d'autres bâtiments très énergivores), il faut trouver le moyen de les combiner de façon innovante au sein d'un système fiable et abordable.

Ces technologies sont l'une des trajectoires possibles vers un avenir sans CO<sub>2</sub>, mais pas la seule. Vu l'ampleur du défi à relever, nous devrions étudier toutes les voies possibles, et c'est une mission qui incombe à la fois au secteur public et au secteur privé.

## Arguments en faveur des investissements publics

Les programmes de recherche financés par les fonds publics sont à l'origine de nombreuses innovations que l'on associe à la vie moderne. Ainsi, pendant la Guerre froide, le Département de la défense des États-Unis a mis au point des réseaux informatiques capables de résister à une attaque nucléaire. Le fonctionnement d'Internet repose aujourd'hui sur cette même technologie. Les sociétés privées ont fait d'Internet un carrefour mondial de communications et d'échanges commerciaux, mais la Toile n'existerait pas si le gouvernement n'avait pas préalablement investi dans les puces informatiques et les technologies de communication. La révolution numérique, qui a habilité de larges parties de la population mondiale, doit beaucoup à la recherche financée par le gouvernement fédéral.

Les investissements publics renforcent également les institutions universitaires, où naissent tant d'innovations. Ce n'est pas le fruit du hasard si les meilleures écoles informatiques au monde (comme Stanford, Carnegie Mellon ou le MIT) sont situées dans un pays qui a considérablement investi dans ce domaine. Le gouvernement américain a octroyé des fonds substantiels à la recherche biologique, et un nombre colossal d'innovations médico-sanitaires proviennent des États-Unis : là non plus, ce n'est pas une coïncidence.

Dans le même ordre d'idées, la recherche financée par le gouvernement américain conditionne l'état de la technique en matière de production énergétique depuis la Seconde Guerre mondiale. Ce sont les fonds fédéraux qui ont permis de réaliser les premières avancées dans les énergies éolienne et solaire. Par ailleurs, la recherche dans le domaine de l'énergie offre d'excellents retours sur investissement. Le Département de l'énergie des États-Unis a constaté que les 17,5 milliards de dollars (chiffre corrigé en fonction de l'inflation) investis dans la recherche entre 1978 et 2000 avaient rapporté 41 milliards de dollars. Une étude de l'OCDE a établi qu'il existait un lien

<sup>9</sup> Sur la base du coût d'investissement d'un accumulateur, amorti au cours de sa vie utile.

<sup>10</sup> U.S. Energy Information Administration ([http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.cfm?t=epmt\\_5\\_6\\_a](http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_5_6_a)).

<sup>11</sup> Eurostat (<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=fr&pcode=ten00117&plugin=1>) ; gouvernement de l'Inde, ministère des Affaires économiques (<https://data.gov.in/resources/state-wise-average-rate-electricity-domestic-and-industrial-consumers/download>).

<sup>12</sup> Sur la base d'une densité d'énergie de 0,2 kilowatt-heure par kg pour les accumulateurs. Les chiffres concernant la densité d'énergie du charbon et de l'essence proviennent du guide *Energies: An illustrated Guide to the Biosphere and Civilization*, de Vaclav Smil.

étroit entre l'augmentation des fonds en R&D et l'augmentation des brevets à forte valeur ajoutée dans le domaine des technologies énergétiques propres.<sup>13</sup>

Si les investissements dans la recherche énergétique sont si utiles, pourquoi ne pas laisser le marché les guider ? Parce que le secteur énergétique se distingue radicalement des autres secteurs.

La plupart des sociétés du secteur de la technologie savent en l'espace d'une année ou deux si l'une de leurs innovations va être rentable. Pour les firmes technologiques et les entreprises pharmaceutiques, le délai est sensiblement le même. En revanche, dans le domaine de la recherche énergétique, des décennies peuvent s'écouler avant que l'on puisse savoir si une innovation va être payante, parce que c'est le temps qu'il faut pour qu'une nouvelle technologie soit adoptée. Rudolf Diesel a inventé son moteur éponyme à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, mais il aura fallu attendre bien après sa mort en 1913 pour que son invention fasse partie de notre quotidien.

Le temps qui s'écoule entre une invention et son impact explique pourquoi l'industrie énergétique tend à moins investir que les autres secteurs dans la recherche, le développement et le déploiement. Aux États-Unis, les entreprises pharmaceutiques consacrent 20 % de leurs revenus à ces activités. Dans l'industrie de l'informatique et des semi-conducteurs, cet investissement représente environ 15 % des revenus. Pour les sociétés du secteur de l'énergie, ce chiffre est de 0,23 %.<sup>14</sup>

## RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

### Quel est l'investissement des industries américaines dans la R&D ?

Pourcentage des revenus (2010)

SECTEUR	INVESTISSEMENT DANS LA R&D
PHARMACEUTIQUE	20 %
INFORMATIQUE	15 %
ÉNERGÉTIQUE	0.23 %

Source : Agence internationale de l'énergie, *Global Gaps in Clean Energy R&D* (2010).

Voilà pourquoi les gouvernements jouent un rôle indispensable dans le financement de la recherche énergétique. Ce secteur

prendra de plus en plus d'importance dans les années à venir. Les besoins mondiaux en énergie ne cessent de croître, et dans le même temps, des gens brillants débordant d'idées nouvelles vont affluer là où l'on encourage les efforts visant à produire de l'énergie fiable, propre et à bas coût. Tout pays désireux de devenir un leader mondial de l'innovation et de l'autosuffisance énergétique devrait mettre les bouchées doubles en ce qui concerne la recherche dans ce domaine.

Combien les gouvernements investissent-ils à l'heure actuelle ? Le budget fédéral des États-Unis pour la recherche énergétique étant supérieur à celui de n'importe quel autre pays, il s'agit d'un bon indicateur. Dans le tableau ci-dessous, les deux premières colonnes correspondent aux dépenses totales et au budget des États-Unis consacré à la recherche dans trois secteurs : l'énergie, la santé et la défense. La troisième colonne indique le ratio de la recherche publique par rapport aux dépenses totales dans chaque secteur.<sup>15</sup>

Le contraste est frappant. Le ratio de la R&D publique par rapport aux dépenses totales en matière d'énergie est de 0,4 %. Pour la santé, le ratio représente plus du double. Pour la défense, il est 22 fois plus élevé.

	DÉPENSES SECTORIELLES TOTALES DES ÉTATS-UNIS (2013)	DÉPENSES PUBLIQUES EN R&D DES ÉTATS-UNIS (2013)	PART DES DÉPENSES CONSACRÉES À LA R&D PAR RAPPORT AUX DÉPENSES TOTALES DU SECTEUR (2013)
ÉNERGIE	1,4 BILLION DE \$	5,3 MILLIARDS DE \$	0,4 %
SANTÉ	2,9 BILLIONS DE \$	31 MILLIARDS DE \$	1,1 %
DÉFENSE	640 MILLIARDS DE \$	69,8 MILLIARDS DE \$	11 %

En d'autres termes : aux États-Unis, les consommateurs dépensent plus en essence en une semaine que le gouvernement en recherche sur les énergies propres en un an.<sup>16</sup>

Certains pays relèvent ce défi et investissent davantage dans la recherche sur les énergies propres. A travers la Mission Innovation ([www.mission-innovation.net](http://www.mission-innovation.net)), plus de dix gouvernements se sont engagés en faveur d'augmentations significatives. Je suis certain qu'il est possible de faire rapidement bon usage de ces financements grâce aux

<sup>13</sup> Agence internationale de l'énergie, *Global Gaps in Clean Energy R&D* (2010).

<sup>14</sup> Agence internationale de l'énergie, *Global Gaps in Clean Energy R&D* (2010).

<sup>15</sup> Les chiffres qui figurent dans le tableau proviennent de la U.S. Energy Information Administration (Administration de l'information énergétique des États-Unis, [http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec1\\_13.pdf](http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec1_13.pdf) et [http://www.eia.gov/state/seds/data.cfm?incfile=/state/seds/sep\\_sum/html/sum\\_ex\\_tx.html&sid=US](http://www.eia.gov/state/seds/data.cfm?incfile=/state/seds/sep_sum/html/sum_ex_tx.html&sid=US)), des Centers for Medicare and Medicaid Services (Centres pour les services Medicare et Medicaid, <https://www.cms.gov/Research-Statistics-Data-and-Systems/Statistics-Trends-and-Reports/NationalHealthExpendData/NationalHealthAccountsHistorical.html>), du Belfer Center for Science and International Affairs at Harvard University (Centre Belfer de sciences et affaires internationales de l'Université de Harvard, [http://belfercenter.ksg.harvard.edu/publication/24065/doe\\_budget\\_authority\\_for\\_energy\\_research\\_development\\_demonstration\\_database.html](http://belfercenter.ksg.harvard.edu/publication/24065/doe_budget_authority_for_energy_research_development_demonstration_database.html)), et du U.S. Bureau of Economic Analysis (Bureau de l'analyse économique des États-Unis, [http://www.bea.gov/industry/xls/io-annual/GDPbyInd\\_GO\\_NAICS\\_1997-2014.xlsx](http://www.bea.gov/industry/xls/io-annual/GDPbyInd_GO_NAICS_1997-2014.xlsx)). La catégorie relative aux dépenses sectorielles pour la défense correspond au budget de la défense des États-Unis.

<sup>16</sup> Selon la U.S. Energy Information Administration (<http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=23&t=10>), en 2014, les Américains ont utilisé plus de 1,4 milliard de litres d'essence par jour. À 0,67 \$ le litre en moyenne, cela correspond à plus de 6,5 milliards de dollars par semaine.

extraordinaires systèmes universitaires et de laboratoire déjà en place aux États-Unis et dans d'autres pays. La capacité de recherche est là ; elle a simplement manqué de financements.

## Le rôle des marchés

Le secteur privé, de par ses efforts, correspond au pendant de la recherche publique. Le secteur de l'énergie représente déjà un marché de plusieurs billions de dollars, et il pourrait un jour en être de même pour celui des énergies propres. Mais les investisseurs privés sont réticents à l'idée de se lancer dans ce domaine, et ce pour la même raison que les sociétés d'énergie ont tendance à investir trop peu en R&D : les percées peuvent mettre plusieurs dizaines d'années à se faire sentir, et le retour sur investissement pour les inventeurs est trop faible. Si les motivations lucratives ne sont certes pas inexistantes, elles passent inaperçues parce que les investisseurs n'ont que peu d'incitations à prendre des risques. Concepts prometteurs et produits viables sont séparés par une « vallée de la mort » que ni les financements publics, ni les investisseurs habituels ne peuvent complètement combler.

Un point clé de la solution est d'attirer des investisseurs qui peuvent se permettre de faire preuve de patience, et dont l'objectif est tout autant d'accélérer l'innovation que de la transformer en bénéfice. J'ai donc allié mes forces à celles d'un certain nombre d'autres investisseurs qui ont la chance de se trouver dans une telle position.

Ensemble, nous avons créé la Breakthrough Energy Coalition ([breakthroughenergycoalition.com](http://breakthroughenergycoalition.com)), un groupe mondial d'investissement privé qui a pour but d'aider les approches prometteuses à franchir cette vallée de la mort, c'est-à-dire à prendre les risques qui permettent aux sociétés de sortir les innovations des laboratoires pour les lancer sur les marchés. Nous nous centrerons sur les sociétés émergentes qui pourraient mettre les énergies à émissions de carbone nulles fiables à la disposition de tout un chacun. Certaines d'entre elles échoueront. Nous prévoyons que celles qui réussiront attireront d'importants placements de capitaux traditionnels à mesure qu'elles se développeront et feront leurs preuves.

Au cours des douze prochains mois, nous analyserons les investissements potentiels, nous créerons les instruments visant à soutenir ces efforts et nous élargirons le groupe d'investisseurs au sein de la coalition. Et dans l'intervalle, nous sommes convenus de **cinq principes** pour guider nos travaux. Notre investissement sera :

### ① UN INVESTISSEMENT PRÉCOCE

Nous ferons preuve de souplesse dans notre approche de l'émergence, apportant capitaux d'amorçage, providentiels et de catégorie A, dans l'espoir qu'une fois le risque éliminé, les capitaux commerciaux traditionnels prendront la relève.

### ② UN INVESTISSEMENT ÉLARGI

Il est encore trop tôt pour prédire les voies qui aboutiront à un avenir basé sur des énergies propres ; nous soutiendrons donc toute une gamme d'approches dans plusieurs secteurs : génération et stockage d'électricité, transports, usages industriels, agriculture et efficacité des systèmes énergétiques.

### ③ UN INVESTISSEMENT AUDACIEUX

Nous rechercherons des technologies inédites et des méthodes pour rendre les technologies existantes sensiblement moins chères, plus efficaces ou plus exploitables à grande échelle. Nous aurons besoin d'un chemin crédible vers une mise à l'échelle rapide, apportant une énergie abordable au plus grand nombre sans pour autant taxer de manière excessive les ressources essentielles.

### ④ UN INVESTISSEMENT JUDICIEUX

Cet effort exige une excellente compréhension de sciences et technologies des plus complexes, ainsi que des politiques publiques. Nous travaillerons avec de grandes institutions tant publiques que privées et des experts de renom du secteur de l'énergie afin de guider nos décisions.

### ⑤ UN INVESTISSEMENT CONJOINT

Tant de percées dépendent de la recherche publique ; nous concentrerons donc nos investissements sur les pays qui s'engagent à financer davantage leurs recherches en matière d'énergies propres, fiables et abordables. Les pays qui se sont rassemblés au sein de l'initiative Mission Innovation ([www.mission-innovation.net](http://www.mission-innovation.net)) font preuve d'un excellent leadership en la matière.

# Une recherche prometteuse

En tant qu'investisseur, j'ai participé à de nombreuses sociétés qui travaillent à des solutions énergétiques prometteuses. J'aimerais qu'il y en ait beaucoup plus. Il devrait exister de par le monde des centaines, si ce n'est des milliers, de sociétés comme celles-ci, à la recherche de diverses approches.

Je cite ci-dessous trois exemples de technologies prometteuses dont j'ai appris l'existence. Les chercheurs étudient également d'autres idées des plus enthousiasmantes. Je ne mentionne celles-ci que pour illustrer quelques-uns des types d'idées qui méritent notre appui. Il y a peu de chance que l'une d'entre elles soit prête à être mise en œuvre avant au moins dix ans, si tant est qu'elle le soit un jour. Mais ces idées démontrent comment des chercheurs astucieux, aux États-Unis et dans le monde entier, mettent au point des méthodes qui pourraient résoudre le problème énergétique. Plus vite les gouvernements et les investisseurs accéléreront la recherche, plus vite nous ferons la transition en direction d'une énergie propre, fiable et abordable.

## LA TECHNOLOGIE CHIMIQUE SOLAIRE

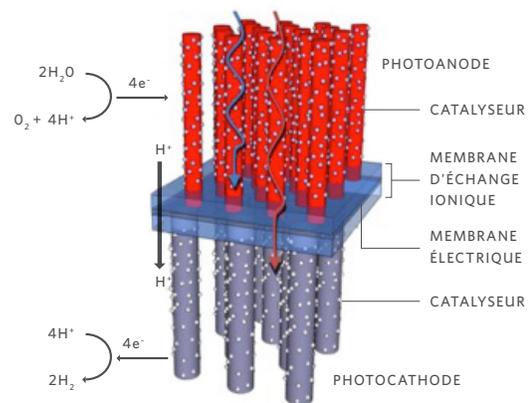
### L'opportunité

La technologie photovoltaïque solaire utilise des photons pour générer de l'électricité à partir de la lumière du soleil. La technologie thermique solaire utilise des miroirs pour canaliser la chaleur du soleil. La technologie chimique solaire, elle, a une approche différente : elle utilise l'énergie solaire pour créer du carburant.

Le concept est très similaire à la photosynthèse d'une plante pour convertir la lumière du soleil en glucides. L'application la plus simple repose sur une sorte de sandwich de cellules : une série de catalyseurs séparés par une membrane avec un revêtement capteur de lumière sur le dessus et le dessous. Ces cellules utilisent la lumière du soleil pour générer suffisamment d'énergie pour séparer l'eau en oxygène et hydrogène, ce dernier pouvant servir directement de carburant ou dans des procédés commerciaux comme la production d'engrais. Une autre approche utilise l'eau, le dioxyde de carbone et la lumière du soleil pour créer

des hydrocarbures, permettant ainsi de produire et de consommer des carburants sans apport ou perte nette de dioxyde de carbone dans l'air.

La technologie chimique solaire nous lance sur la voie de la décarbonation des secteurs de l'électricité et des transports. Elle serait également très utile pour résoudre le problème du stockage, car le monde est déjà très avancé dans le stockage des carburants et leur circulation par pipelines et pétroliers, entre autres infrastructures.



### Les cellules chimiques solaires utiliseraient la lumière du soleil pour créer du carburant.

Le concept est très similaire à la photosynthèse d'une plante pour convertir la lumière du soleil en glucides. L'application la plus simple comprend des cellules qui utilisent la lumière du soleil pour générer suffisamment d'énergie pour séparer l'eau en oxygène et hydrogène, ce dernier pouvant servir directement de carburant ou dans des procédés commerciaux comme la production d'engrais.

Source: Institut californien de technologie

### Le défi

Nous n'en sommes toujours qu'à la première génération de cette technologie. L'un des défis consiste pour les chercheurs à mettre au point un absorbeur de lumière (la tranche de pain du dessus du sandwich) qui fonctionnera dans les mêmes conditions que toutes les autres tranches.

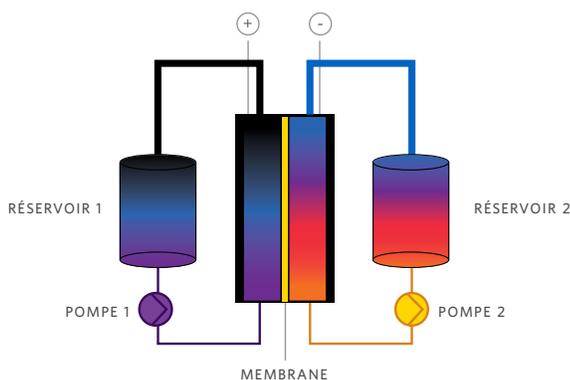
## LES PILES À FLUX

### L'opportunité

À l'heure actuelle, l'étalon-or du stockage de l'électricité est l'accumulateur lithium-ion. Certains chercheurs tentent d'optimiser cette technologie, dont les applications sont importantes, notamment dans les voitures. La pile à flux

constitue une autre technologie de stockage prometteuse qui mérite un investissement plus significatif. Plutôt que des cellules autonomes, comme dans les batteries lithium-ion, les piles à flux utilisent un électrolyte liquide rechargeable situé dans deux paires de réservoirs : deux de réception et deux de stockage. Durant le chargement de la pile, le liquide circule des réservoirs de réception aux réservoirs de stockage par un ensemble d'ailettes ressemblant à un radiateur qui chargent le liquide en énergie. L'énergie est libérée lors du déversement du liquide des réservoirs de réception dans les réservoirs de stockage en passant par les ailettes. La taille de ces réservoirs peut aller de celle d'un aquarium à celle d'une piscine ; plus ils sont grands, plus ils peuvent contenir d'énergie.

Si les piles à flux sont peu pratiques pour les appareils personnels (imaginez un téléphone portable de la taille d'un bocal à poisson), le fait qu'elles soient évolutives peut être très utile pour les industries de grande taille. Autre avantage : contrairement aux accumulateurs lithium-ion, dont la capacité chute de moitié après 1 500 chargements, une pile à flux pourrait durer des dizaines et des dizaines d'années et le liquide à électrolyte serait rechargeable indéfiniment.



**Les piles à flux dureraient plus longtemps et stockeraient plus d'énergie que les piles disponibles à l'heure actuelle.**

Elle met en œuvre un électrolyte liquide rechargeable contenu dans deux paires de réservoirs : deux de réception et deux de stockage. L'énergie est stockée et déchargée en déplaçant le liquide d'un réservoir à un autre. La taille de ces piles peut aller de celle d'un aquarium à celle d'une piscine, les rendant plus intéressantes pour l'usage industriel que les accumulateurs actuels.

**Le défi**

De nombreux prototypes en cours utilisent du vanadium, élément relativement rare, comme électrolyte actif. Les systèmes du futur devront utiliser un électrolyte plus courant avant d'être commercialisables.

**LA PEINTURE SOLAIRE**

**L'opportunité**

Le coût des panneaux solaires est en train de chuter, mais leur installation et leur entretien restent onéreux. L'idée de la peinture solaire est de rendre l'énergie solaire beaucoup moins chère et plus facile à installer. N'importe quelle surface ou presque pourrait se transformer en un panneau solaire à bas coût : les toits, les murs, les voitures, les téléphones portables, pour ne citer que quelques exemples. Il s'agit d'appliquer une couche conductrice, puis une couche de base blanche, et enfin un colorant photosensible sur le dessus (qui génère l'électricité), avant de faire sécher la peinture à la chaleur. En théorie, tout le monde pourrait le faire ; ce serait aussi simple que de peindre un mur chez soi.



**La peinture solaire transformerait n'importe quelle surface ou presque en un panneau solaire à bas coût.**

Elle pourrait fonctionner sur les toits, les murs, les voitures, les téléphones portables, etc. Il s'agit d'appliquer une couche conductrice, puis une couche de base blanche, et enfin un colorant photosensible sur le dessus (qui génère l'électricité), avant de faire sécher la peinture à la chaleur. En théorie, ce serait aussi simple que de peindre un mur chez soi.

Source : NDnano, Université de Notre Dame

**Le défi**

Les chercheurs tentent de perfectionner les colorants photosensibles générateurs d'électricité. Les plus efficaces sont issus d'une famille de produits chimiques appelés pérovskites, qui convertissent environ 20 % de l'énergie solaire en électricité, plus que les panneaux solaires les plus efficaces actuellement sur le marché. Malheureusement, ces colorants contiennent du plomb, toxique. (Les États-Unis ont interdit les peintures à base de plomb dans les maisons et les bâtiments publics.) Les chercheurs devront donc mettre au point un colorant non toxique efficace, stable et directement utilisable par tout un chacun, partout où la lumière du soleil est disponible.

# Conclusion

---

Difficile d'exagérer l'impact qu'aura l'énergie propre, fiable et abordable. Elle assurera l'autosuffisance énergétique de la plupart des pays, stabilisera les prix et fournira aux pays à faibles et moyens revenus les ressources dont ils ont besoin pour développer leurs économies et aidera davantage de gens à s'extraire de la misère, tout en évitant à la température à l'échelle mondiale d'augmenter de plus de deux degrés. J'ai bon espoir que les quinze années à venir verront les grandes percées dont nous avons besoin pour atteindre tous ces objectifs.

Nous avons là une opportunité extraordinaire. Mais il s'agit également d'un indubitable défi. L'homme a déjà changé son régime énergétique par le passé, mais jamais aussi rapidement qu'il le faut aujourd'hui. Jamais nous n'avons évolué aussi rapidement. Raison de plus pour commencer dès aujourd'hui.