

LES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLES, UNE RÉPONSE À LA PAUVRETÉ ÉNERGÉTIQUE ?

Éric Bausson

Sur 7,8 milliards d'êtres humains en 2021, 10 % n'ont pas accès actuellement à l'électricité. Cela a un impact sur la santé et l'éducation de ces populations. Ces manques affectent la compétitivité économique des pays concernés et freinent leur développement.

Comment la chimie peut-elle contribuer à résoudre ce problème ?



La Terre la nuit, vue des lumières des villes montrant l'activité humaine © Adobe-stock

PLAN ET RESSOURCES POUR TRAITER CETTE QUESTION DU GRAND ORAL

En suivant le questionnaire ci-après et en vous appuyant sur les ressources proposées parmi toutes celles de Mediachimie, la médiathèque de la Fondation de la Maison de la Chimie, et du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (C.E.A.), il est possible de répondre à cette problématique.

- Qu'entend-on par « sources d'énergie renouvelables » ?
- Quels sont les objectifs du Conseil Mondial de l'Énergie ?
- Comment peut-on y arriver à l'horizon 2050 ?
- Comment la chimie peut-elle contribuer à réduire la pauvreté énergétique ?

● **Qu'entend-on par « sources d'énergie renouvelables » ?**

Des sources d'énergie sont dites renouvelables si elles ont un renouvellement naturel assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles peuvent être d'origines solaire, éolienne, hydraulique, géothermique ou végétale (bois, biocarburants, etc.).

On distingue ainsi parmi les sources d'énergie renouvelables, le Soleil (photovoltaïque ou thermique), le vent (éolienne), l'eau des rivières et des océans (hydraulique, marémotrice, etc.), la biomasse, qu'elle soit solide (bois et déchets d'origine biologique), liquide (biocarburants) ou gazeuse (biogaz) ainsi que la chaleur de la Terre (géothermie) et celle extraite de l'air par des pompes à chaleur.

En France, la part des sources d'énergie renouvelables était de 16,6 % de la consommation finale brute d'énergie en 2018, et de 18,9 % pour l'ensemble des 27 pays de la communauté européenne. (Source : [Ministère de la transition écologique](#))



Exemples de sources d'énergie renouvelables © Adobe-stock

● **Quels sont les objectifs du Conseil Mondial de l'Énergie ?**

Pour le Conseil Mondial de l'Énergie, dont la mission est de promouvoir la fourniture et l'utilisation durables de l'énergie pour le plus grand bien de tous, on considère habituellement qu'il y a trois objectifs principaux :

- le premier est l'accès à l'énergie « **Accessibility** » : c'est d'abord permettre un accès physique, comme dans de nombreux pays en développement sans accès à l'électricité, où pour lesquels l'accès à des modes de cuisson sont peu satisfaisants du point de vue de la santé ou de l'environnement. Mais c'est aussi l'accès économique, avec le problème de la précarité énergétique (incapacité à pouvoir chauffer correctement son logement à un coût acceptable) que l'on retrouve dans des pays proches de chez nous (Bulgarie, Lituanie, Chypre en Europe par exemple) et qui est aussi une forme de non-accessibilité.
- le deuxième enjeu est la sécurité des approvisionnements énergétiques « **Availability** » car elle peut dépendre de risques géopolitiques, comme par exemple l'accès à certaines matières premières : on pense immédiatement au problème du pétrole, du gaz naturel ou à certains métaux ou matières rares indispensables pour fabriquer certains équipements importants de nos industries et de notre quotidien.
- le troisième objectif est l'acceptabilité environnementale « **Acceptability** », c'est-à-dire retenir des choix énergétiques qui soient compatibles avec le respect de l'environnement (lutte contre le changement climatique, maintien de la biodiversité, réduction des pollutions, consommation raisonnée de l'eau). Cela devant se faire en respectant les conditions sociales.

Promouvoir la fourniture et l'utilisation durables de l'énergie pour le plus grand bien de tous

Accessibility
Availability
Acceptability

« Règle des trois A » qui gouverne la transition énergétique :

Accessibility (accessibilité), Availability (disponibilité), Acceptability (acceptabilité).

Source : [Conférence de Jean-Eudes Moncomble – Colloque Chimie et énergies nouvelles](#) - 10/02/2021

• Comment peut-on y arriver à l'horizon 2050 ?

Le Conseil Mondial de l'Énergie a construit trois scénarios possibles de transition énergétique en prenant en compte un certain nombre de conditions ainsi définies :

Scénarii	Conditions
Modern jazz	Coopération et innovation dans un monde de marché
Symphonie inachevée	Coopération et innovation dans un monde de politique publique
Hard rock	Fragmentation et innovation dans un monde à la fois politique publique et de marché

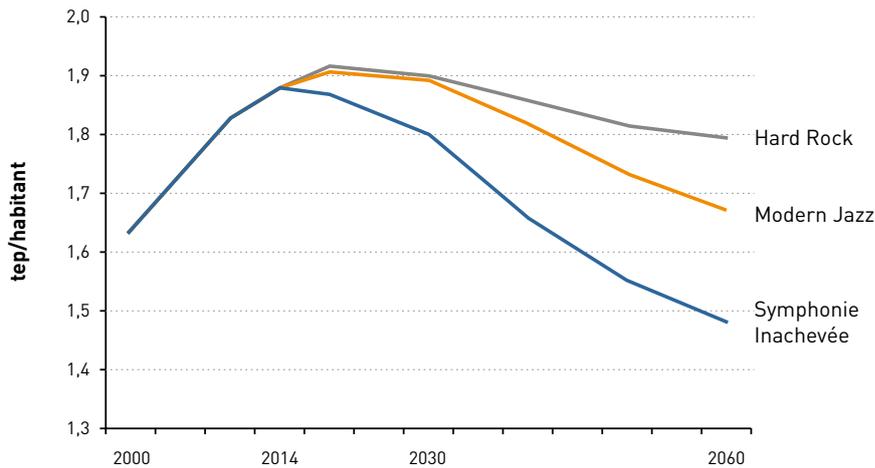


Fig. 1 : Consommation d'énergie primaire par habitant
t.e.p. : « tonne équivalent pétrole » est une unité d'énergie qui correspond à la quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole brut.

Quel que soit le scénario de modélisation utilisé, la consommation d'énergie primaire par habitant doit diminuer (Figure 1) mais c'est le scénario « symphonie inachevée » qui est le plus favorable à long terme. La production d'électricité est un enjeu important de la transition énergétique : la Figure 2 montre qu'elle doublera d'ici 2060 dans les trois scénarii, ce qui fait de l'électricité un enjeu important des transitions énergétiques. Les prévisions des demandes au niveau mondial des énergies fossiles prévoient que celles du charbon et du pétrole diminuent mais pas celle du gaz qui devrait même connaître un certain déploiement, sauf en Europe.

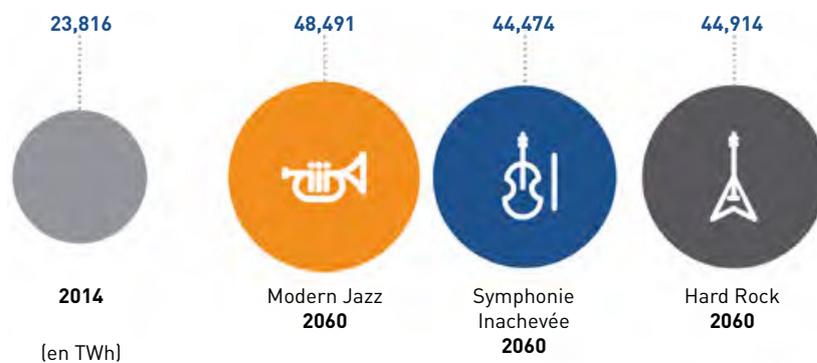


Fig. 2 : Prévisions de la production électrique en 2060
TWh : « Tera Watt heure » est une unité d'énergie. 1 TWh correspond à un milliard de kilowatt heure

C'est le scénario « symphonie inachevée » dans lequel l'innovation et la coopération sont initiées par les politiques publiques qui utiliseraient le moins d'énergies fossiles en 2060 avec 24 % de gaz, 22 % de pétrole et 5 % de charbon.

Cependant, les crises du COVID et celle plus récente en Ukraine apportent des incertitudes qui peuvent faire évoluer ces scénarii.

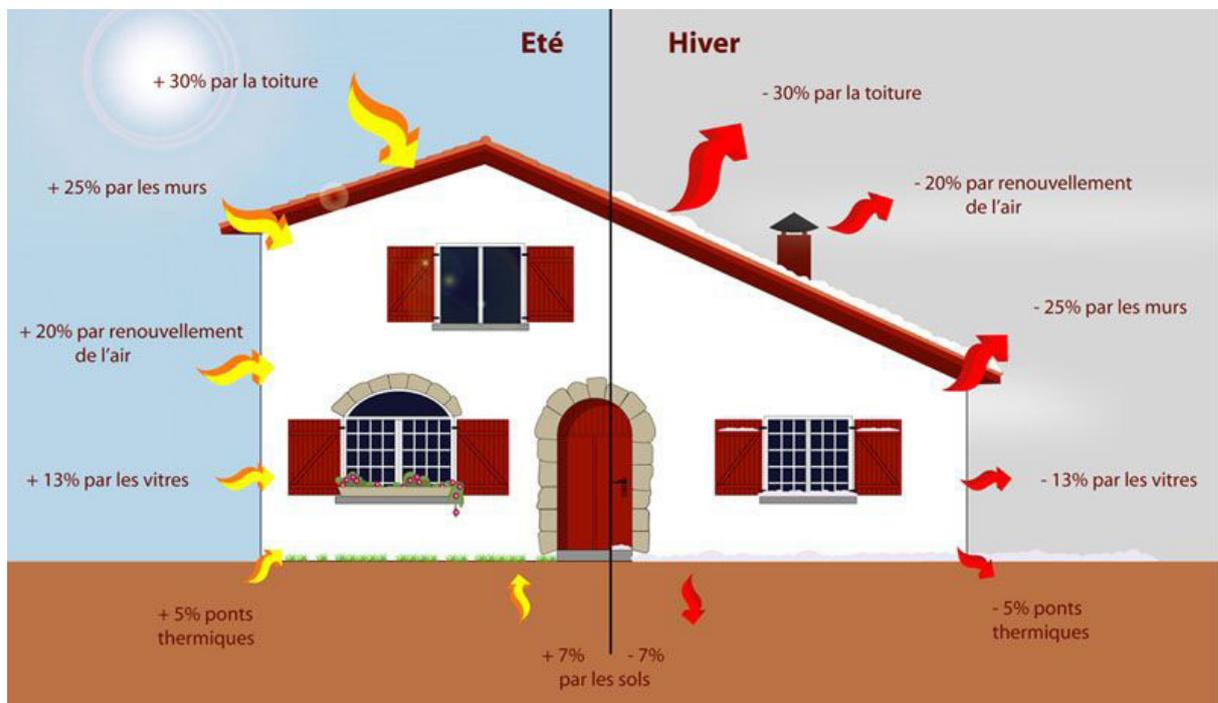
Comme le souligne le [second volet du sixième rapport](#) du groupe d'experts intergouvernemental (G.I.E.C.), le réchauffement climatique fait déjà des dégâts et la situation va s'aggraver. Entre 3,3 et 3,6 milliards de personnes vivent dans un environnement vulnérable au changement climatique.

Cela impose la mise en œuvre sans délais de nouvelles technologies matures, prêtes au déploiement industriel.

Trois catégories de sources énergétiques répondent à ce critère :

- les sources d'énergie renouvelables ;
- l'énergie nucléaire ;
- certaines énergies fossiles qui à court ou moyen terme pourraient jouer un rôle si elles sont associées à des techniques de captage, d'utilisation et de stockage du carbone.

Du côté de la demande énergétique, il faut développer les efforts dans le sens d'une plus faible consommation d'énergie (isolation de l'habitat, etc.). Le fait de ne promouvoir à court terme que des technologies matures ne veut pas dire qu'il ne faut pas s'intéresser aux technologies du futur. La géopolitique des émissions fait que la lutte contre le changement climatique ne se gagnera qu'en accompagnant les pays en développement et il faut prévoir des transferts de technologie et promouvoir des transferts de compétences.



Isolation thermique des lieux de vie © B. Duhem - architecte

Nous sommes au début d'une nouvelle décennie de haute technologie pour accompagner le défi de l'énergie zéro carbone dans les domaines suivants : l'efficacité énergétique, la décarbonation de l'électricité, l'électrification, la gestion des secteurs difficiles à décarboner ou à électrifier, la capture ou l'extraction du carbone là où c'est complémentaire et nécessaire et enfin, la disposition des matériaux qui vont servir cette transition énergétique.

Source : [Vers une énergie zéro carbone en 2050 : comment cela sera-t-il possible ?](#)

Danièle Olivier - Mediachimie

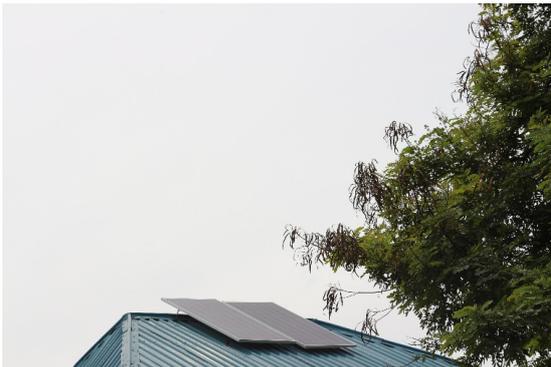
• Comment la chimie peut-elle contribuer à réduire la pauvreté énergétique ?

Pour répondre à l'urgence climatique d'une part et à l'épuisement des hydrocarbures d'autre part, l'ensemble des scientifiques, dont les chimistes, est mobilisé pour trouver comment mieux utiliser les sources d'énergie renouvelables pour produire de l'énergie sous différentes formes (électrique, chimique, thermique ou mécanique) avec le meilleur rendement possible et comment stocker l'énergie en raison de l'intermittence de certaines sources renouvelables. On peut aussi chercher à imiter le Soleil en réalisant la fusion de noyaux atomiques. C'est par exemple le [projet international ITER](#). La transformation de la biomasse peut également participer à la transition énergétique.

La chimie joue donc un rôle considérable dans le domaine de l'énergie car elle permet de la stocker, produire des (bio)carburants, d'élaborer de nouveaux matériaux et d'améliorer l'isolation des bâtiments.

Prenons appui sur l'exemple des panneaux photovoltaïques pour mieux comprendre les enjeux. Pour les personnes non connectées à un réseau électrique, la production d'électricité avec ce type d'installation individuelle permet de produire sa propre électricité, directement consommée par leurs appareils électriques.

Voici l'exemple d'une installation domestique :



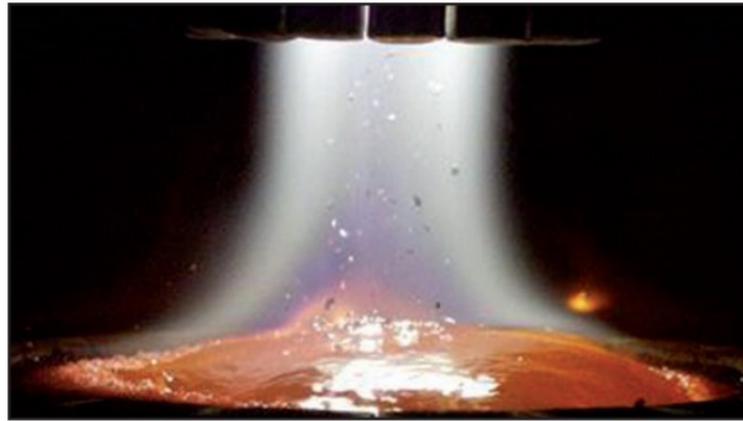
À gauche : Panneaux photovoltaïques sur le toit d'une maison individuelle en Tanzanie.

À droite : Onduleur « pure sinewave inverter » permettant de convertir le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif sinusoïdal. Sous cet onduleur, est placée une batterie permettant de stocker l'énergie produite avant conversion. Entre la batterie et le panneau, nous avons le contrôleur (« charge controller »).

Voici quelques étapes lors desquelles la chimie intervient :

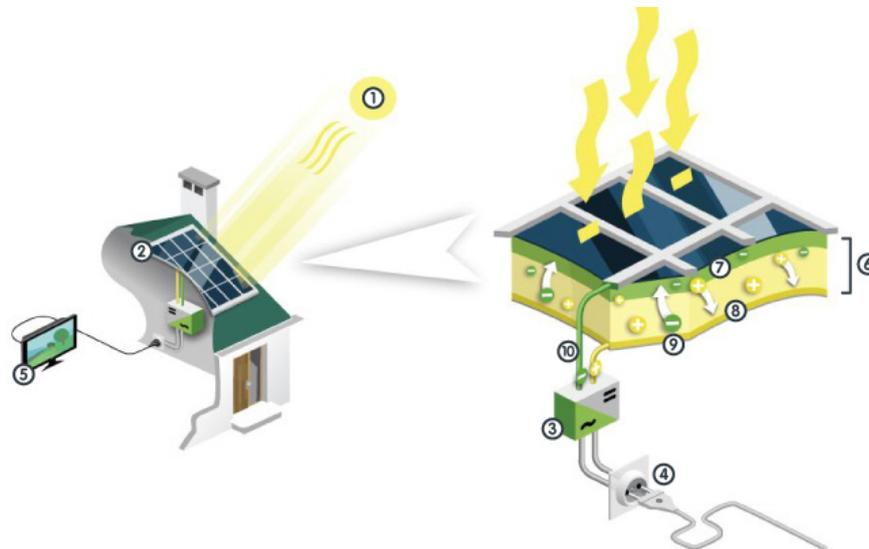
- Les matériaux utilisés dans les panneaux photovoltaïques classiques font appel à des éléments chimiques (silicium (Si), phosphore (P), bore (B), etc.), le silicium étant la matière première pour fabriquer un panneau solaire. Il est extrait de différents minéraux, comme le sable, qui contiennent de la silice (SiO_2). Après fusion, en utilisant un four à arc dont la température peut atteindre $3000\text{ }^\circ\text{C}$, le silicium obtenu apparaît sous forme liquide avec une pureté de 98 à 99 %.

Les impuretés (azote, soufre, etc.) se plaçant en surface, il est possible de les vaporiser en utilisant un plasma (jet de gaz chauds) ou par voie chimique.



Vaporisation des impuretés avec un plasma sur du silicium liquide © Photosil®

- La conception classique des panneaux photovoltaïques, obtenus en juxtaposant des cellules solaires contenant du silicium dopé d'un côté par du phosphore et de l'autre par du bore est une prouesse car le phosphore et le bore sont incorporés dans de très faibles proportions (de l'ordre d'un atome de bore ou de phosphore pour dix milliards d'atomes de silicium), et ce en atmosphères contrôlées dans des salles blanches. En absorbant une faible partie du rayonnement solaire, ces panneaux photovoltaïques créent un courant électrique continu alimentant un circuit extérieur.



- ① Rayonnement solaire ② Panneau photovoltaïque ③ Onduleur ④ Prise secteur ⑤ Appareil récepteur ⑥ Couche de silicium
 ⑦ Silicium dopé N (+) ⑧ Silicium dopé P (-) ⑨ Electron (charge négative) ⑩ Conducteur

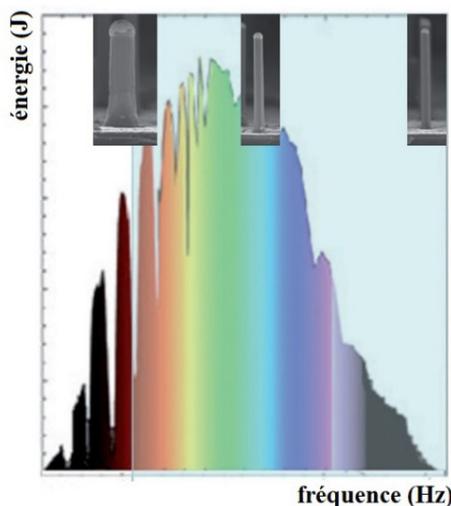
Installation domestique avec des panneaux photovoltaïques © J'apprends l'énergie

Le schéma de principe et son explication en détail est disponible sur le site du C.E.A. en cliquant [ici](#) pour télécharger une infographie claire et bien détaillée.

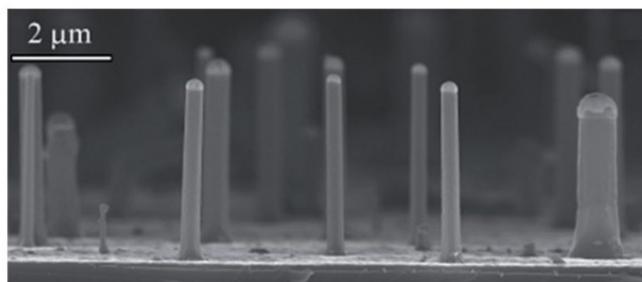
Le rendement de ce type de panneaux photovoltaïques ne dépasse pas 30 % car une partie du rayonnement solaire passe à travers les cellules sans être absorbée et des pertes thermiques abaissent le rendement.

En théorie, il serait possible d'approcher les 90 % ! En laboratoire de recherche, les prototypes ne dépassent pas 50 % pour le moment.

Des innovations technologiques récentes permettent d'étendre l'absorption du rayonnement solaire pour en accroître le rendement. Elles mettent en jeu des nanofils de silicium placés sur les cellules solaires. Les dimensions différentes de ces nanofils de silicium sont obtenues en utilisant des catalyseurs distincts, un catalyseur provoquant une réaction chimique par sa seule présence sans être consommé.



Domaines d'absorption du rayonnement solaire en fonction des dimensions des nanofils de silicium.



Intégration de nanofils de silicium dans une cellule solaire

D'autres techniques prometteuses, issues de la recherche, comme celle des « couches minces » utilisent d'autres éléments chimiques déposés en très fines couches superposées sur du verre grâce à des électrolyses (voir la rubrique « Pour aller plus loin »). Un des matériaux phares a pour formule $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. Il est très prometteur car il n'engage aucun élément chimique rare, donc cher. N'oublions pas que le principal frein est le coût des panneaux photovoltaïques, estimé en France par l'Agence de la transition écologique (ADEME) entre 9 000 € et 12 000 € TTC pour un panneau de 3 kWc (puissance maximale théorique).

- La chimie intervient également pour la **fiabilité** des panneaux photovoltaïques pour augmenter leur durée d'exploitation (en rendant les matériaux moins sensibles aux agressions naturelles dues à l'air, à l'eau, au rayonnement solaire, etc.), tout en optimisant leur **écoconception** (recycler le plus possible de matériaux).
- En raison de l'**intermittence** de l'énergie électrique produite, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas forcément disponibles au moment voulu (conditions météorologiques, etc.), l'utilisation de **batteries** s'avère indispensable en cas de non-raccordement à un réseau, car l'énergie produite y est **stockée** grâce à la **conversion de l'énergie électrique en énergie chimique**. D'autres procédés, comme celui du stockage avec le dihydrogène (développé dans le premier dossier du [grand oral](#)), laissent entrevoir des perspectives très intéressantes.

Sources :

Conférence de M. Bigot « [La chimie, une science au cœur des énergies d'avenir](#) »
Colloque « Chimie et enjeux énergétiques – 14/11/2012

Conférence de M. Guillemoles « [Chimie et photovoltaïque : d'Edmond Becquerel à nos jours, un parcours radieux](#) » – Colloque « Chimie et lumière » – 26/02/2020

Conférence de M. Candel « [La chimie face aux défis de la transformation du système énergétique](#) »
Colloque « Chimie et changement climatique » – 18/11/2015

Vidéo « [Couches minces et énergie](#) » – Médiachimie / Universcience

Article « [Le Soleil : un sacré producteur d'électricité](#) » – Médiachimie

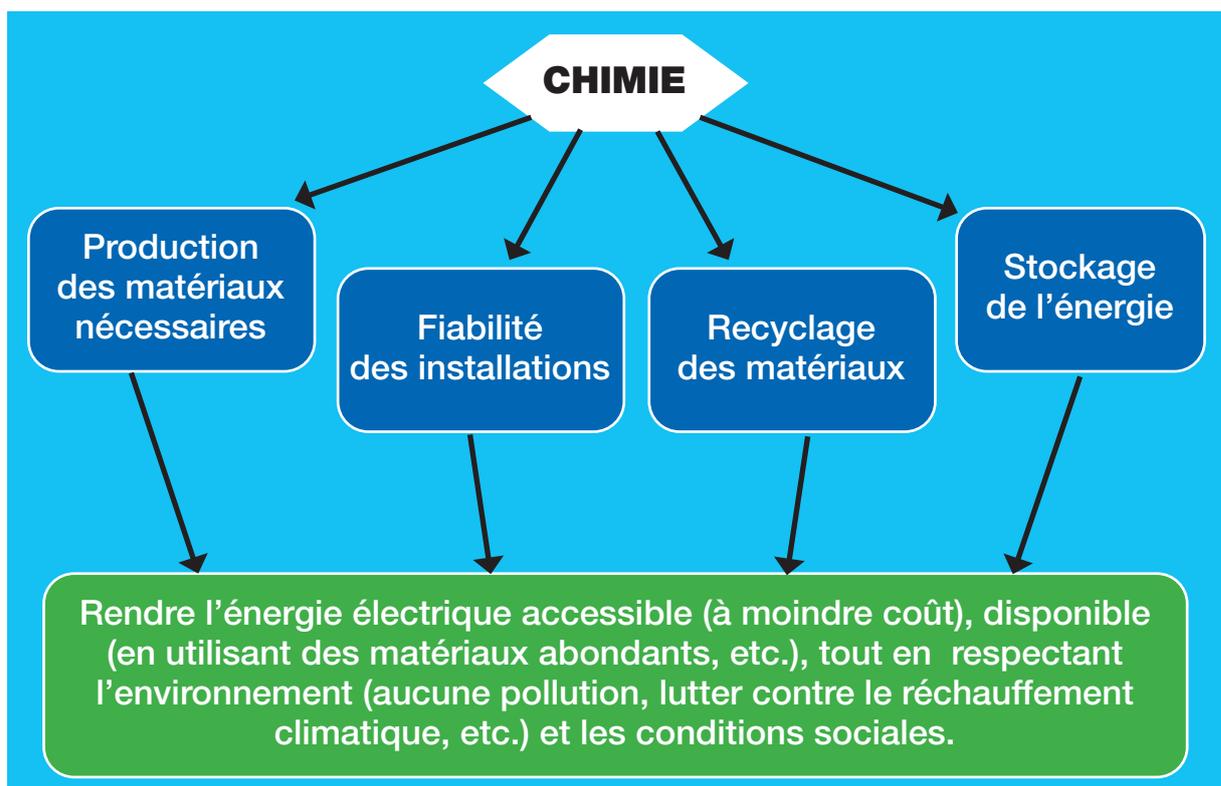
Conseils

Pour éviter un effet catalogue, très souvent peu apprécié par le jury du Grand oral, nous avons proposé le seul exemple du photovoltaïque. Vous pouvez bien entendu décider de traiter la biomasse par exemple, autre source d'énergie qui fera partie du mix énergétique d'avenir.

Conclusion

Pour atteindre les objectifs du Conseil Mondial de l'Énergie, les sources d'énergie renouvelables, en particulier les panneaux photovoltaïques, sont une source d'espoir. Pour que cela soit envisageable pour les personnes n'accédant pas actuellement à l'électricité, il faut obligatoirement que les coûts de fabrication et d'exploitation soient bien moins élevés. La chimie laisse entrevoir cette possibilité car les matériaux utilisés en recherche sont disponibles en très grande quantité et donc à un prix modique. Les recherches sont aussi très actives pour rendre les panneaux photovoltaïques plus fiables et recyclables en fin de cycle de vie. De plus, pour limiter l'impact de la production de l'énergie électrique sur le réchauffement climatique, des actions sont menées par des organisations non gouvernementales (O.N.G.) ou des agences gouvernementales pour favoriser la transition énergétique, comme celle menée actuellement en Bolivie par l'Agence Française de [Développement](#). Il faut veiller à ce que le bilan carbone soit très favorable de la production des panneaux photovoltaïques jusqu'à leur recyclage grâce à la production d'électricité décarbonée lors de leur usage. Il faut bien entendu prendre en compte les autres sources d'énergie renouvelables (biomasse, éolien, etc.) pour élargir l'offre électrique. Mais il faut avoir à l'esprit que l'énergie ne se crée pas et que toute transformation d'une forme à une autre s'accompagne de pertes... il n'y a donc pas de solution miracle !

En résumé



Pour aller plus loin :

- [Le challenge de l'électricité verte](#) – Mediachimie
- [L'essentiel sur les cellules photovoltaïques](#) – C.E.A.
- [Fonctionnement et utilisation d'un électrolyseur](#) – Mediachimie
- Conférence de M. Larcher « [Avancées et perspectives dans le domaine du stockage électrochimique de l'énergie \(batteries\)](#) » – Colloque Chimie et énergies nouvelles – 10/02/2021
- Les chimistes dans : [Les énergies nouvelles face au développement durable](#) – F. Brénon et G. Roussel – Mediachimie
- Les chimistes dans : [L'économie circulaire](#) – F. Brénon et G. Roussel – Mediachimie
- Les chimistes dans : [L'aventure des nouveaux matériaux](#) – F. Brénon et G. Roussel – Mediachimie
- Conférence de M. Rous « [La biomasse, matière première renouvelable d'avenir](#) » – Colloque Chimie et enjeux énergétiques – 14/11/2012
- Quiz « Les éléments chimiques dans les énergies renouvelables d'origines éoliennes et photovoltaïques » - www.mediachimie.org/ressource/2-les-éléments-chimiques-dans-les-énergies-renouvelables-d'origines-éolienne-et
- Colloque « [Chimie et lumière](#) » – 26/02/2020 – Maison de la Chimie
- Colloque « [Chimie et changement climatique](#) »
- Colloque « [Chimie et enjeux énergétiques](#) » – 14/11/2012 – Maison de la Chimie
- [Les promesses de la mer](#), Revue de Chimie de Paris
- [Vers une société et un habitat « décarbonés »](#), ressource Chimie et... en fiches
- le site Connaissances des énergies - Fiches pédagogiques - [énergies renouvelables](#)
- pour un exemple de chimie douce : « [Les matériaux bio-inspirés - De l'art du feu à la chimie douce](#) » par Jacques Livage
- Livre : *La guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique* – Guillaume Pitron (poche) : ce livre soulève les conséquences écologiques et les importants enjeux géopolitiques associés.

LE PROJET PROFESSIONNEL

Métiers et voies de formation

Pour découvrir les leviers sur lesquels les chimistes peuvent agir, des fiches métiers et les voies de formation qui y mènent sont présentées dans [l'espace métiers du site mediachimie](#).

De niveau BAC à BAC + 8, les chimistes, associés aux scientifiques des autres disciplines (physicien(ne)s, électrotechnicien(ne)s, électronicien(ne)s, biochimistes, biologistes...), ont les compétences et la créativité pour aborder le défi de la transition énergétique sous des angles d'attaque très différents.

Ils interviennent à tous les stades clefs pour la conversion des énergies décarbonées. Il s'agit à la fois de trouver des modes de transformation en recherche et développement, d'optimiser les procédés et les productions, de mettre au point les matériaux nécessaires aux diverses transformations et au stockage et de prévoir le recyclage final par la déconstruction et le traitement et recyclage des déchets.

Les chimistes sont aussi impliqués dans la chimie douce qui consiste à économiser l'énergie dans un certain nombre de procédés chimiques existants et à venir.

[Les chimistes dans les énergies nouvelles face au développement durable](#)

[Les chimistes dans l'aventure des nouveaux matériaux](#)

[Les chimistes dans l'économie circulaire](#)



Conceptualisation des énergies renouvelables © vegefox.com

Citons quelques exemples de métiers ciblés et certaines formations :

[Ingénieur de recherche / Chercheur \(H/F\)](#)

[Ingénieur/e en R et D en énergies renouvelables](#) (sur le site de l'ONISEP)

[Technicien \(H/F\) matériaux](#) et [Ingénieur \(H/F\) matériaux](#)

[Technicien Génie des procédés / Génie chimique \(H/F\) procédés](#)

[Ingénieur spécialisé en énergie et procédés](#), formation assurée par l'ENSPM

[Ingénieur en électrochimie et procédés pour l'énergie et l'environnement](#), formation assurée par PHELMA Grenoble