

RAISON PRÉSENTE

LES LUMIÈRES ET LES HOMMES

Avant-propos.

Michèle Leduc & Michel Morange

Brève histoire des théories de la lumière.

Michel Blay

Les lumières du ciel.

Jean Audouze

Lumière du ciel, énergie de la Terre. La conversion photovoltaïque au service des hommes.

Daniel Lincot

Éclairage, efficacité énergétique, lumière pour tous, qualité de vie. Le prix Nobel de physique 2014.

Claude Weisbuch

La lumière au figuré. La peinture selon Eugène Chevreul.

Claude Frontisi

Espace et lumière au cinéma.

Michelle Lannuzel

François Arago (1786-1853) et les lumières photographiques.

Monique Sicard

De « l'illumination du 8 décembre » à la « fête des lumières ». Considérations sur un rituel urbain.

Philippe Dujardin

Qu'est-ce que les lumières ?

Gerhardt Stenger

Note de lecture : Michel Blay, *Isaac Newton, Optique* et Christian Huygens, *Traité de la lumière*

Michèle Leduc

Trimestrielles

Sciences, cinéma, théâtre, atlas des arts vivants, à travers quelques livres, notes de lecture

LUMIÈRE DU CIEL, ÉNERGIE DE LA TERRE LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE AU SERVICE DES HOMMES

*Daniel Lincot**

LA RESSOURCE

Tout commence à 150 millions de km de la Terre avec le soleil, cet immense réacteur nucléaire de 700 000 km de RAYON : les atomes d'hydrogène y fusionnent pour donner des atomes d'hélium au cours d'une réaction qui se produit avec une petite perte de masse. Il en résulte une production d'énergie correspondant à la célèbre relation d'Einstein reliant la masse et l'énergie. Ce sont ainsi chaque seconde 4,3 millions de tonnes d'hydrogène qui sont transformées en une quantité absolument phénoménale d'énergie sous forme de neutrinos et de photons, émise ensuite dans tout l'espace à partir de la surface du soleil. Alors que les neutrinos, extrêmement énergétiques, foncent tête baissée en traversant tout sur leur passage, les photons, beaucoup plus civilisés car moins énergétiques, acceptent d'être absorbés par la matière et d'y déposer leur énergie. Ce dialogue fondamental entre les photons et la matière est notre grande chance ; c'est lui qui permet à la surface de la Terre, baignant dans la lumière solaire, même à 150 millions de km du soleil, de recevoir une quantité considérable d'énergie à l'échelle humaine (près de 7000 fois plus importante que la consommation mondiale), de la vie et d'y puiser l'essentiel de son énergie.

Chaque mètre carré de l'espace face au soleil au niveau de la Terre reçoit ainsi une puissance lumineuse continue d'environ 1 350 Watt. C'est ainsi l'équivalent de la puissance de près de 100 millions de réacteurs EPR que la Terre intercepte en permanence sous forme de lumière. La lumière du ciel est donc une formidable source d'énergie disponible à la surface de la Terre, de loin beaucoup plus importante que les autres sources non solaires comme les marées (d'origine lunaire) ou la chaleur terrestre profonde (d'origine nucléaire et thermique). La traversée de l'atmosphère s'accompagne d'une diminution d'environ 30 % de cette puissance du fait des pertes par réflexion et absorption. Une valeur de 1 000 W par

* Directeur de recherche au CNRS, Directeur de l'Institut de Recherche et Développement sur l'Énergie Photovoltaïque (IRDEP)

m^2 est retenue comme la valeur standard au niveau du sol (soleil au zénith par temps clair avec un angle de 45°), ce qui représente pratiquement la puissance d'un réacteur nucléaire par km^2 de ciel bleu. Contrairement à la situation hors atmosphère, la puissance au niveau du sol dépend des cycles jour-nuit, des saisons, des conditions locales de météo, donnant à la ressource solaire un caractère variable et intermittent. On raisonne alors plutôt en considérant la quantité d'énergie solaire moyenne, correspondant au produit de la puissance par le temps cumulé sur une période donnée, un an en général. La ressource énergétique solaire annuelle, exprimée en MWh (1 000 kWh), va de 0,7 MWh à près de 3 MWh par m^2 dans la majeure partie du globe terrestre, en fonction de la latitude. Une façon commode de se rendre compte de la quantité très importante d'énergie que cela représente est d'utiliser l'équivalence avec la tonne équivalent-pétrole, qui est de 11,6 MWh.

LES PROCESSUS DE TRANSFORMATION PHYSIQUE

Pour que la Terre et donc l'homme puissent bénéficier de l'énergie solaire, tout est affaire de transformation. Il faut que l'énergie lumineuse puisse être convertie en d'autres formes d'énergie utilisables. Notre chance est que les photons solaires soient très bien absorbés par les électrons présents dans les liaisons chimiques assurant la cohésion des atomes dans la matière, auxquels ils transfèrent leur énergie sous forme électrique. Ces électrons dits « excités » transfèrent ensuite leur énergie sous forme de vibrations mécaniques des atomes dans la matière (phonons) et donc produisent un échauffement. De lumineuse, l'énergie devient électrique puis thermique. Ce processus physique d'élévation de la température génère ensuite en cascade, en fonction des milieux où il intervient, les énergies physiques telles que le vent, les courants marins, les vagues, qui représentent environ 26 fois la consommation annuelle d'énergie par l'humanité. Il est aussi responsable de l'évaporation de l'eau qui induit le cycle des transformations hydrologiques, ce qui correspond à 2800 fois la consommation annuelle, soit encore beaucoup plus. A ces transformations physiques il faut en ajouter une autre très minoritaire, d'origine chimique liée au cycle du vivant et équivalent à environ six fois la consommation énergétique mondiale : la formation de biomasse par photosynthèse. En fin de course, l'équilibre global est réalisé à la fois par réflexion de la lumière incidente et par le renvoi dans l'atmosphère du rayonnement infra-rouge associé à la température d'équilibre de la Terre.

UN PHÉNOMÈNE EXCEPTIONNEL DE CONVERSION CHIMIQUE : LA PHOTOSYNTHÈSE

Les processus physiques décrits précédemment sont à l'œuvre dans tous les corps célestes, plus chauds ou plus froids que la Terre, où l'eau peut être remplacée par de l'ammoniac, du gaz carbonique ou des acides. Toutefois ce qui distingue la Terre, c'est l'émergence de la vie et de toute une chimie biologique qui tire son énergie de la lumière. À la base, on retrouve toujours le phénomène quantique fondamental d'absorption des photons par les électrons de la matière décrit précédemment, réalisant la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Mais au lieu de se dérouler dans un matériau inerte, aboutissant à la conversion thermique, il se produit dans le milieu moléculaire du vivant, hautement organisé et fonctionnalisé, issu des centaines de millions d'années d'évolution, qui a permis la séquence : énergie lumineuse – énergie électrique – énergie chimique. Il s'agit de la photosynthèse. L'absorption de la lumière a lieu dans des molécules de chlorophylle, très bien adaptées à l'absorption des photons dans le jaune, au maximum du spectre solaire. L'énergie électrique des électrons excités par la lumière s'y convertit directement en énergie chimique, via de véritables petites usines moléculaires qui permettent l'électrolyse des molécules d'eau, abondante sur terre, en présence d'oxyde de carbone (abondant dans l'atmosphère primitive), pour former des molécules carbonées réductrices (sucres) et de l'oxygène. Ces produits de réaction et leurs dérivés dans la chaîne des transformations biologiques (ATP, cellulose, biomasse...) stockent ainsi de l'énergie lumineuse, restituable à tout instant grâce à des réactions inverses avec l'oxygène, permettant à la vie de se développer sur terre et à des stocks non utilisés de s'accumuler. Ainsi peu à peu, la photosynthèse a enrichi progressivement l'atmosphère en oxygène, tandis que la biomasse se transformait en charbon, pétrole ou gaz. Ce processus de transformation énergétique est fondamentalement différent de celui des conversions physiques directes en ce sens qu'il permet l'accumulation, année après année, d'énergie chimique d'origine solaire. Cela a permis à l'homme de franchir des étapes fondamentales de son évolution, avec le passage des énergies de flux (vent, rivières) à des énergies de stock (charbon, pétrole, gaz), et ceci pour le meilleur pendant des siècles. Il se pourrait que cela devienne pour le pire avec le déclenchement anthropique de l'effet de serre par accumulation de CO₂ atmosphérique depuis quelques décennies et l'épuisement rapide des ressources stockées facilement exploitables.

LA LONGUE MARCHÉ SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE VERS LA MAÎTRISE DE LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

L'homme a su tirer parti de l'énergie solaire sous toutes ses formes dérivées en s'affranchissant rapidement, lors de la révolution industrielle au XIX^e siècle, des contraintes imposées par les énergies physiques de flux (vent, hydraulique), pour s'appuyer de plus en plus exclusivement sur les énergies chimiques de stock (charbon puis hydrocarbures) accumulées par la photosynthèse. Il les a transformées de façon toujours plus efficace pour des applications thermiques (chauffage), mécaniques, puis thermique et mécanique avec la machine à vapeur et enfin thermique, mécanique et électrique. Cependant aucune d'entre elles ne relevait de l'utilisation directe de la première étape de conversion de la lumière en énergie électrique lors de l'absorption des photons par les électrons, que l'on peut qualifier d'*effet photovoltaïque naturel*. La nature grâce à la photosynthèse avait réussi ce tour de force en utilisant les molécules de chlorophylle qui ont la propriété exceptionnelle d'extraire l'électron excité de sa localisation d'origine pour l'engager dans des réactions électrochimiques, au lieu de se désexciter sur place en créant de la chaleur ou de la lumière, comme c'est le cas pour l'absorption dans un atome ou un corps simple. La photosynthèse s'appuie donc sur les milliards de millions de cellules photovoltaïques naturelles contenues dans les feuilles des forêts, les herbes des prairies et le plancton des océans, et représentant une puissance « installée » de 100 TW, à comparer aux 17 TW utilisés par l'humanité ! Le monde du vivant repose donc sur d'immenses fermes photovoltaïques naturelles.

Cet effet photovoltaïque fondamental n'a été découvert qu'au début du XIX^e siècle, en 1839, par Edmond Becquerel dans l'élan donné par la découverte de l'électricité par Alessandro Volta. Edmond Becquerel, considéré comme le découvreur de l'effet photovoltaïque, remarqua que l'éclairement de lames métalliques, de cuivre par exemple, corrodées au contact d'un électrolyte, conduisait à l'apparition d'un courant électrique dans le circuit extérieur. C'était en fait la première fois que l'homme était capable d'extraire les électrons générés dans la matière éclairée. Cette découverte était fondamentale : ainsi des électrons, et donc de l'électricité, pouvaient être extraits artificiellement de la matière éclairée... mais comment l'expliquer ? En fait cela tient à un mécanisme de séparation des charges que la nature ne semblait pas avoir utilisé : par le champ électrique. Celui-ci, présent dans les couches de corrosion formées à la surface des électrodes, permet de tirer les électrons vers l'électrolyte et les trous dans le sens opposé comme pour la photosynthèse. On

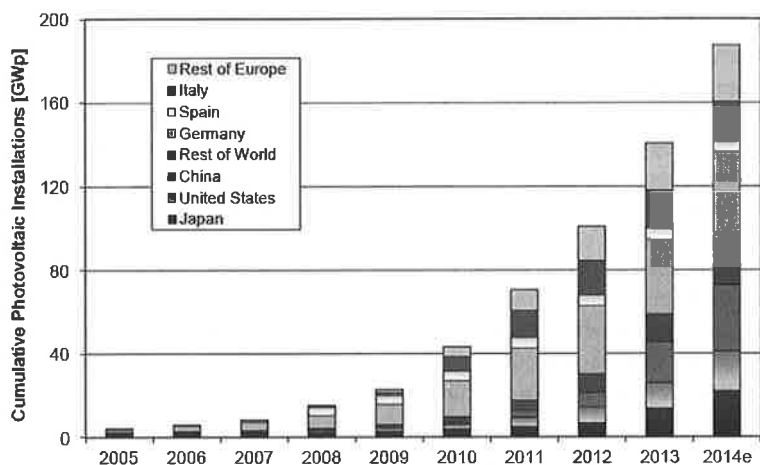
découvrira ensuite que les matériaux impliqués, des oxydes ou iodures métalliques, se formant au contact avec l'air ou l'électrolyte lui-même, appartiennent à une classe de matériaux qui allaient marquer le xx^e siècle : les semi-conducteurs, avec l'avènement du silicium et de l'ère de l'électronique.

C'est à partir de cette association intime entre l'effet photovoltaïque et l'électronique que seront mises au point en 1954 les premières cellules photovoltaïques efficaces en silicium ? Celles-ci s'appuieront sur la technologie naissante des jonctions p-n, constituées par la superposition de silicium contenant un peu de bore et de silicium contenant du phosphore qui crée un champ électrique très important à leur interface. De 1 % au début des années 50 le rendement record des cellules bondit en quelques années à 11 % en 1958, pour atteindre aujourd'hui 25,6 % pour les cellules silicium. D'autres technologies utilisant des matériaux à base d'arséniure de gallium atteignent 30 %, une valeur proche de 33 %, rendement théorique maximum pour des cellules photovoltaïques simples sous éclairement solaire standard. On peut mesurer ainsi les progrès considérables faits dans la conversion photovoltaïque directe de l'énergie solaire, qui voit son rendement s'approcher de celui de la production thermoélectrique d'environ 33 % et ceci sans cycle de vapeur, sans pièces mécaniques tournantes...

Et ce n'est qu'un début. En effet, le rendement théorique absolu de la conversion photovoltaïque est d'environ 85 %. Ainsi le potentiel de progression est encore considérable. Par exemple des multi-jonctions en cascade permettent de convertir sélectivement différentes plages de longueur d'onde du rayonnement solaire et d'additionner leurs effets ; déjà avec quatre jonctions superposées on atteint des rendements de conversion record de 45,6 %. On assiste aujourd'hui à un foisonnement sans précédent des recherches sur la conversion photovoltaïque, avec pour objectif l'obtention de très hauts rendements, largement au-delà de la limite des simples jonctions. Le rendement énergétique des cellules photovoltaïques dépasse aujourd'hui très largement le rendement global de la photosynthèse, qui est de près de 1 % pour les plantes. En effet celles-ci ont pu se consacrer uniquement à la fonction de conversion énergétique lumière-électricité, tandis que la photosynthèse devait répondre à des besoins multiples associés à toutes les fonctions du vivant, intégrant également la transformation chimique dans la séquence énergétique.

LE DÉCOLLEMENT INDUSTRIEL DE LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

La mise au point des premières cellules photovoltaïques en 1954 fut immédiatement utilisée pour alimenter les premiers satellites et ensuite permettre les plus belles aventures spatiales de l'humanité, de la station spatiale internationale aux robots martiens, et nous faire récemment rêver avec le petit Philae qui s'est même posé sur une comète. Mais aussi belle et utile fut elle, l'énergie solaire photovoltaïque est restée pendant des décennies l'apanage de l'espace, l'énergie de la conquête spatiale, parfaitement au point techniquement mais chère, très chère, et ne représentant qu'une goutte d'énergie par rapport à ses consœurs terrestres fossiles issues de la photosynthèse naturelle... Pourtant, dès les premières cellules au sélénium, précurseurs des cellules au silicium mais avec des rendements très faibles, les chercheurs rêvaient déjà de les utiliser sur Terre. Il a fallu en fait passer le cap du troisième millénaire pour que ce rêve commence vraiment à se concrétiser, après une première tentative manquée au début des années 1970 lors du premier choc pétrolier. C'est en effet à partir des années 2000 que la question climatique est arrivée au cœur des discussions stratégiques, faisant de la limitation des énergies fossiles carbonées un impératif majeur pour nos sociétés et remettant en selle l'énergie solaire et les énergies renouvelables. Plusieurs pays, sous l'impulsion de l'Allemagne, ont alors adopté avec succès des politiques volontaristes pour promouvoir l'énergie solaire. L'effort a commencé en France en 2006 et maintenant il se développe dans des dizaines de pays au monde, en Espagne, en Italie au Japon, aux États-Unis et aussi en Chine, en Amérique latine, en Inde, en Afrique... Et le moteur industriel semble bien avoir démarré, permettant en quelques années de décoller d'une contribution absolument négligeable de l'énergie photovoltaïque au bilan énergétique mondial (dans l'épaisseur du trait comme on dit familièrement), pour monter aujourd'hui à 180 GW installés sur l'ensemble de la planète, soit près de 1 % de la production mondiale d'électricité. Ainsi le photovoltaïque fournit 7 % de l'électricité en Allemagne avec 38 GW installés. Au point que l'Agence internationale de l'énergie (AIE), très longtemps réservée quant au développement de l'énergie solaire photovoltaïque, a dû réviser sa copie et considère maintenant que celle-ci deviendra une des sources principales dans le monde d'ici 2050. De plus, l'énergie photovoltaïque est maintenant entrée dans une spirale positive, où le développement industriel entraîne un abaissement des coûts, le renforcement des recherches améliore en retour les performances des modules et au final un abaissement du coût de production de l'électricité solaire. Celle-ci devient aujourd'hui compétitive sur le



Évolution des capacités cumulées de production d'électricité solaire photovoltaïque au niveau mondial (Source PV Status report 2014). En cinq ans la production photovoltaïque est passée de 0,1 % de la production électrique mondiale en 2009 à près de 1 % en 2014.

marché, avec des coûts de production du kWh inférieurs au prix de vente du kWh sur le réseau dans plusieurs pays et régions du monde (ce que l'on appelle la parité réseau). Les États-Unis du Président Obama ne s'y sont pas trompés qui, tout en accompagnant la politique des gaz de schistes, lançaient le projet SunShot en 2008. Ce défi vise à faire que l'énergie solaire photovoltaïque puisse atteindre un prix symbolique de 1 dollar par watt de puissance installée en 10 ans, soit un coût de production de l'électricité à 6 cents par kWh. Par analogie avec le projet Moonshot du Président Kennedy en 1963, à savoir qu'un homme marche sur la lune avant la fin de la décennie, le pari SunShot est en passe de se réaliser. Nous observons déjà les mutations économiques et industrielles qui accompagnent cette transition, avec les changements intervenant dans la politique des grands groupes industriels de l'énergie qui révisent maintenant leur stratégie pour intégrer cette nouvelle donne.

QUEL AVENIR POUR L'ÉNERGIE SOLAIRE ?

Avec la maîtrise de la conversion photovoltaïque, l'homme est maintenant capable de se brancher directement à la fontaine de lumière qui alimente la Terre en énergie, en reproduisant la première étape où l'énergie des photons est transformée de façon très efficace en énergie électrique. Il y gagne en rendement, en simplicité, et n'est

plus dépendant exclusivement de l'utilisation des énergies dérivées physiques issues de la chaleur, ou chimiques résultant de la photosynthèse comme ce fut le cas jusqu'à présent. En ce sens, l'accès à l'énergie photovoltaïque représente une rupture scientifique et technologique majeure de ce début de XXI^e siècle. C'est aussi une rupture sur le plan philosophique, culturel et éthique, avec un retour aux énergies renouvelables naturelles que l'avènement de l'ère industrielle avait balayées, et une remise en cause des modes de production centralisés qui l'ont accompagné. Il se profile une nouvelle approche décentralisée de la production d'énergie, permettant un accès permanent à l'énergie au niveau mondial pour de nombreuses populations qui en sont encore privées. Il nous faut enfin souligner que cette évolution va dans le sens de la lutte contre le changement climatique en réduisant de façon potentiellement très importante les émissions de CO₂.

Qui aurait pensé, il y a seulement dix ans, que l'énergie solaire photovoltaïque serait aujourd'hui au niveau de fournir 7 % de l'électricité en Allemagne, et près de 1 % dans le monde, et que l'AIE lui prévoirait une part de 16 % en 2050, faisant mentir la plupart des scénarios antérieurs caractérisés par des objectifs largement sous-estimés. On peut d'ailleurs légitimement se poser la question suivante : est-ce que les scénarios actuels, dont celui de l'AIE qui prévoit une stagnation de la part de l'énergie photovoltaïque à partir de 2030, ne seraient pas encore eux aussi sous-estimés ? Cette question est importante car le développement d'une technologie dans la société est un mélange complexe entre ses fondamentaux scientifiques et économiques et le niveau de volontarisme, pour une part subjectif, induit souvent par des scénarios et des feuilles de route établis en fonction de l'ambition des objectifs affichés. Alors pourquoi ne pas considérer que la contribution de l'énergie photovoltaïque puisse aller largement au-delà des 16 % de l'électricité mondiale en 2050, soit seulement 2 à 3 % de la consommation énergétique primaire, ce qui est finalement très peu lorsque l'on se resitue dans un contexte énergétique global.

Faisons donc l'hypothèse que l'énergie photovoltaïque puisse contribuer à une part beaucoup plus importante de l'énergie primaire mondiale. Nous savons qu'il faudrait pour cela être capable de capter l'énergie solaire sur des milliers de kilomètres carrés. Pour fixer les idées, la consommation française annuelle d'électricité (environ 540 TWh) correspond environ à l'énergie solaire annuelle reçue sur 500 km², et pour la consommation totale d'énergie primaire environ 5 fois plus, soit 2 500 km². Pour des systèmes de rendement global de 15 %, il faudrait donc une surface de 37 000 km². On voit donc qu'il faudrait trouver une possibilité d'installer plusieurs milliers de

km². La surface de la France métropolitaine étant de 550 000 km², cette surface correspondrait à un peu moins de 7 % du territoire, ce qui à première vue apparaît considérable et irréalisable. Cependant, lorsqu'on considère les espaces appelés artificialisés (routes, zones urbaines), ceux-ci couvrent environ 9 % du territoire soit près de 50 000 km². Il y a donc près de 50 000 km² dont l'équipement peut être considéré en priorité car il n'empiète pas sur les surfaces agricoles et naturelles. Il s'agit d'un gisement exploitable considérable, avec cependant des difficultés intrinsèques de coût et de faisabilité lorsqu'il s'agit d'équiper des toitures biscornues, des routes, mais le défi est là, formidable et utile, et les technologies photovoltaïques actuelles ainsi que leurs évolutions à venir (performances, coûts) peuvent relever une bonne partie de ce défi. Le potentiel de l'énergie solaire photovoltaïque ouvre donc bien la perspective d'aller vers une utilisation beaucoup plus importante que celle qui est généralement considérée. Après la surface à trouver, le deuxième point dur, souvent avancé comme insurmontable, est celui de l'intermittence et de la variabilité de la ressource solaire (jour-nuit, pluie-beau temps, saisons...) qui peut conduire à une production proche de la pleine puissance à certains moments et nulle à d'autres sans correspondance avec la demande énergétique. Là encore les solutions existent, à commencer par une adaptation du réseau électrique (on parle alors de réseau intelligent), mais aussi une modification des usages en faisant coïncider la demande et la production, par exemple avec des usines associées à des sources photovoltaïques en utilisation directe. Et là nous disposons aujourd'hui d'un formidable outil avec internet : on parle de la civilisation de l'internet de l'énergie. Mais il est clair qu'il faudra aller plus loin et finalement remettre nos pas dans ceux de la nature, en associant production et stockage. Ainsi, nos millions de panneaux solaires devront être couplés à des moyens de stockage, et là encore ce ne sont pas les solutions qui manquent. On dispose de batteries de nouvelle génération comme celles au lithium ou demain au sodium plus abondant, de batteries à électrolyte de type redox et, pour le stockage sur les temps longs, en produisant de l'hydrogène en faisant, comme dans la nature, la chimie par électrolyse de l'eau. On peut aussi envisager de produire de nouveaux hydrocarbures en utilisant également le CO₂. Cette séquence lumière-électricité-hydrogène-stockage est une formidable opportunité, qui commence à prendre forme avec ce qu'on nomme « power to gas », l'hydrogène pouvant directement se substituer aux énergies carbonées, servir de base pour une industrie chimique de nouvelle génération, ou être reconverti en électricité grâce aux piles à combustible. Ainsi, de la plus petite installation à la ferme photovoltaïque de grande taille, l'électricité produite pourra toujours être utilisée de façon adéquate, soit en injection sur le réseau, soit en auto

consommation, soit en dérivés de stockage aussi bien au niveau local qu'à celui d'une région ou d'un pays.

LA PART DE RÊVE

Comme dans toute révolution des signes annonciateurs apparaissent, qui donnent à l'observateur averti une vision de ce que pourrait être l'avenir. Lorsqu'il y a près de deux siècles Edmond Becquerel voyait l'aiguille de son galvanomètre dévier sous éclaircissement, lorsqu'un peu plus tard Auguste Mouchot, intégrant la découverte de la machine à vapeur, faisait fonctionner une presse à l'énergie solaire à l'exposition universelle de 1898 à Paris, prédisant qu'un jour l'énergie solaire pourrait remplacer à nouveau le charbon, ou encore lorsque le satellite Vanguard en 1958 emportait les premières cellules solaires au silicium, toutes ces avancées étaient des prémisses annonçant le développement massif de l'énergie photovoltaïque terrestre auquel nous assistons actuellement. Et aujourd'hui que voyons-nous ? Un avion s'élever dans les airs et parcourir des milliers de kilomètres, de jour comme de nuit, sans une goutte d'essence, en utilisant uniquement la lumière solaire comme source d'énergie. Ce rêve extraordinaire est devenu réalité en associant justement les trois pôles que nous avons proposés pour les applications terrestres, lumière-électricité photovoltaïque-stockage, dans une sorte de mini laboratoire mettant en œuvre des trésors d'ingéniosité, d'innovation et de courage. De même des bateaux solaires font le tour du monde, anticipant l'évolution vers des transports solaires. Des signes encourageants viennent également des nouvelles générations de cellules solaires qui apparaissent dans les laboratoires, dont certaines s'inspirent directement de la photosynthèse naturelle en utilisant des colorants, mais également de nouveaux matériaux organiques (photovoltaïque plastique) ou hybrides organiques / inorganiques comme les perovskites, très à la mode. Plus fines, plus légères, plus flexibles, plus performantes, dotées de nouvelles fonctionnalités, par exemple le stockage moléculaire intégré comme dans les plantes, et économes en matière, les cellules photovoltaïques de demain émergeront des travaux que la recherche actuelle laisse entrevoir. Elles pourraient être déployables et rétractables à volonté sur terre comme en mer, et pourquoi pas dans les airs, sans conflit d'encombrement stérique, inaugurant ce que l'on pourrait appeler des « saisons photovoltaïques » où l'hydrogène source d'énergie serait produit au gré de la lumière du ciel.

C'est justement ce mode de production au gré du soleil et la disponibilité du sol qui ouvre des perspectives encore plus surprenantes, même si elles sont encore lointaines. Imaginons que les jours

de plein soleil, que ce soit en été, après les moissons par exemple, ou même en hiver, les champs de la Beauce ou d'ailleurs se couvrent en partie de revêtements photovoltaïques ultralégers et rétractables, et qu'ils produisent de l'hydrogène que l'on pourra récolter collectivement, stocker, ou transformer, comme c'est le cas pour le lait... Au côté des installations fixes fonctionnant à l'année sur les toitures et façades, se développera un mode de collecte complémentaire fonctionnant de façon temporaire sur des surfaces pouvant être beaucoup plus importantes, qui pourra contribuer à augmenter de façon décisive la part de l'énergie solaire dans l'approvisionnement énergétique mondial de demain. Ainsi, comme le blé pousse au printemps et en été, l'électricité solaire serait une récolte d'été mais aussi de belles journées d'hiver, ce qui serait pour le coup une innovation par rapport aux cycles naturels.

Ainsi, l'humanité toute entière pourra entrer dans une nouvelle ère de l'énergie solaire, transformant la pénurie en abondance et la crainte en espoir, mais il lui faudra également lutter contre les excès qui peuvent en résulter, d'une exploitation inconsidérée et s'écartant de l'intérêt commun.



Les débuts de l'énergie photovoltaïque saisonnier dans l'agriculture. Coïncidence de vue avec un dessin présenté à l'exposition sur l'avion solaire « solar impulse » à la cité des sciences (Paris) été 2015. (Pierre Samson).

BULLETIN D'ABONNEMENT À RAISON PRÉSENTE

Je m'abonne

J'offre un abonnement à

Mme, M.	Nom	Prénom
.....
Numéro	Voie (rue, avenue, etc.)	
.....	
Code postal	Commune	
.....	
Pays		
.....		
Profession		
.....		

Tarifs	Raison présente (4 numéros)	Raison présente + les Cahiers rationalistes + l'adhésion à l'UR
France	50 €	109 €
Étranger	58 €	114 €
Institutions		180 €
<i>France</i>	90 €	
<i>Étranger</i>	98 €	
Tarif réduit		50 €
<i>France</i>	25 €	
<i>Étranger</i>	28 €	
Vente au numéro : 15 € (+ 3 € de frais de port en France)		

Chèque à l'ordre de : Nouvelles Éditions rationalistes
14, rue de l'École Polytechnique
75005 Paris

Virement bancaire : CCP : Paris 12 389 32 W 020
IBAN : FR 96 3004 1000 0112 3893 2W02 088
BIC : PSSTFRPPAR