

# Energie renouvelable et énergie fossile

## Deux facettes d'un même paradigme ?

Basile Grandjean

Reçu le 26.11.2015 – Accepté le 14.01.2016

### Título / Title / Titolo

Energías renovables y energía fósil. ¿Dos caras del mismo paradigma?  
Renewable Energy and Fossil Energy: Two Sides of the Same Paradigm?  
Energie rinnovabili ed energia fossile. Due facce della stessa paradigma?

### Résumé / Resumen / Abstract / Sommario

Énergie renouvelable, ou encore énergie verte, font désormais partie de mots clés utilisés quotidiennement en guise de réponse à la crise énergétique et écologique actuelle. Ces concepts sont familiers, et leur définition fait appel au bon sens : on entend généralement par ‘renouvelable’ l’énergie qu’il serait imaginable de tirer de l’environnement de manière durable, c’est à dire sans consommer de ressources qui ne peuvent se régénérer à une échelle de temps humaine. Mais aujourd’hui, l’énergie renouvelable reste une toute petite part de la consommation totale d’énergie, les principaux obstacles à son développement étant notamment le stockage, le transport et le prix – ce type d’énergie n’étant pas toujours disponible au moment et à l’endroit de la demande. Et si la question n’était pas posée dans les bons termes ? C’est-à-dire, est-ce que la notion d’énergie – renouvelable ou non – constitue un outil pertinent pour identifier et comprendre les enjeux sociétaux et environnementaux actuels ?

La energía verde, o energía renovable, forman parte de las palabras claves que se usan en respuesta a la crisis energética y ecológica actual. Estos conceptos son conocidos y su definición se apoya en el sentido común: en general se consideran “renovable” la energía cuya extracción del medio ambiente puede imaginarse como sostenible, o sea, cuando no consume recursos que no puedan regenerarse en un tiempo a escala humana. Pero la energía renovable sigue siendo una pequeñísima parte del consumo total; los principales obstáculos para su desarrollo son su almacenamiento, transporte y precio. Además este tipo de energía no está siempre disponible en el momento y el lugar en que se la necesita. ¿Y si el problema no estuviera formulado en términos adecuados? O sea, ¿es la noción de energía –renovable o no– un útil pertinente para identificar y comprender los desafíos sociales y ambientales actuales.

Renewable energy, or green energy, is now among the key words used daily in response to the current energy and ecological crisis. These concepts are familiar and their definition appeals to common sense: as a rule, energy is considered «renewable» when its extraction from the environment can be conceived as sustainable, that is, when it does not consume resources that cannot be regenerated at a human temporal scale. Yet renewable energy still constitutes a very small part of the overall consumption of energy; the main obstacles to its development are its storage, transportation, cost and availability. But, what if the question were not well formulated? In other words, is the notion of energy –whether or not renewable– a pertinent tool to identify and understand the today’s major societal and environmental issues?

Energia verde, energie rinnovabili sono alcune delle parole utilizzate in risposta alla crisi energetica ed ecologica attuale. Questi termini ci sono ormai familiari e la loro definizione si basa sul senso comune: generalmente l’energia è considerata “rinnovabile” quando la sua estrazione è ritenuta sostenibile, cioè quando non consuma risorse che non possono essere rigenerate su una scala umana. Ma le energie rinnovabili costituiscono una parte molto piccola del consumo totale di energia; i principali ostacoli allo sviluppo sono lo stoccaggio, il trasporto, il prezzo e la disponibilità. E se il problema non fosse stato formulato nei termini appropriati? In altre parole, ci chiediamo, è il concetto di energia —rinnovabile o no— un criterio pertinente per identificare e comprendere le attuali sfide sociali e ambientali fondamentali?

### Mots-clé / Palabras clave / Keywords / Parole chiave

Énergie renouvelable, énergie fossile, paradigme énergétique, concept d’énergie

Energía renovable, energía fósil, paradigma energético, concepto de energía

Renewable energy, fossil fuel, energy paradigms, concept of energy

Energie rinnovabili, energia fossile, paradigma energetico, concetto di energia

## 1. Introduction

Énergie renouvelable, ou encore énergie verte, font désormais partie des mots clés utilisés quotidiennement – aussi bien dans les milieux scientifiques, économiques, que politiques – en guise de réponse à la crise énergétique et écologique actuelle. Ces concepts sont familiers, et leur définition – à défaut de pouvoir imaginer une mesure scientifique absolue de la durabilité – fait appel au bon sens : on entend généralement par renouvelables des modes de production d'énergie qu'il serait imaginable de tirer de l'environnement de manière durable, c'est-à-dire sans consommer de ressources qui ne peuvent se régénérer à une échelle de temps humaine. Par exemple, en Suisse, le concept de « la société à 2000 watts » (Jochem, 2004 : 7) désigne une société dans laquelle chaque individu consommerait en moyenne une quantité d'énergie de 2000 joules par secondes, et cette quantité serait l'emblème d'une société durable.

Aujourd'hui, l'énergie renouvelable ne représente toutefois qu'une toute petite part de la consommation totale d'énergie. Les principaux obstacles au développement des énergies renouvelables sont notamment le stockage, le transport et le prix de ce type d'énergie – qui n'est pas toujours disponible au moment et à l'endroit de la demande.

Mais, en amont des difficultés techniques que présentent les énergies renouvelables, on peut se demander si les termes dans lesquels se pose la question de la crise énergétique ne sont pas trompeurs. Plus spécifiquement : est-ce que la notion d'énergie – renouvelable ou non – constitue un outil pertinent pour identifier et comprendre les enjeux sociétaux et environnementaux actuels ?

Pour tenter d'apporter quelques éléments de réponse à ce questionnement, nous exposerons tout d'abord qu'il règne une certaine confusion entre des conceptions différentes de la notion d'énergie, bien que dans la pratique elles soient souvent utilisées indifféremment. Ensuite, après un bref aperçu historique du développement du concept d'énergie, nous montrerons que la notion d'énergie renouvelable repose sur une certaine vision de

l'environnement, elle-même construite autour de l'abondance de l'énergie fossile et de la facilité de son utilisation. Enfin, nous expliquerons comment, dans la pratique, la conception mentale d'une séparation entre un environnement fournisseur d'énergie d'une part, et une société utilisatrice de cette énergie d'autre part, entraîne certaines incohérences techniques et méthodologiques qui constituent un frein à la transition énergétique.

## 2. L'énergie, un concept qui prête à confusion

Tout d'abord, quelle est cette énergie qu'il s'agit d'économiser ou de rendre renouvelable ? R. Bruce Lindsay pose la question dans ces termes :

[there is] an obvious difficulty with the concept of energy from the standpoint of popular understanding: just what is it, after all? You have heard that everything in your experience is intimately connected with the transfer and transformation of energy. But what is this thing that is transferred and transformed? (Lindsay, 1975 : 5).

En effet, pour les physiciens, contrairement à la matière, la lumière, ou même encore la chaleur, l'énergie est une quantité physique qui ne peut jamais être observée à l'état pur : elle ne se manifeste pas sous la forme d'une substance, mais se caractérise par sa propriété de conservation lors de processus de conversion – c'est-à-dire, par la transformation d'une certaine forme d'énergie vers une autre (par exemple de mouvement à chaleur). Ce principe de conservation donne à l'énergie un rôle de valeur de comparaison entre des grandeurs de nature différente, c'est-à-dire qu'il constitue en quelque sorte une monnaie d'échange commune entre des phénomènes physiques différents. Ainsi, une intensité lumineuse éclairant une surface pendant un certain temps peut se quantifier en termes d'énergie (par exemple en joules), tout comme on peut quantifier l'énergie potentielle d'une masse à une certaine hauteur au-dessus du sol, ou celle d'une quantité d'eau chaude dans un réservoir. En ce sens, l'énergie ne peut pas être détruite, mais uniquement transférée d'un objet à un autre ou transformée d'une *forme* vers une

autre - par exemple d'énergie sous forme électrique à de l'énergie sous forme thermique.

Pourtant, en faisant chauffer de l'eau dans sa bouilloire, le sens commun est d'avoir utilisé – et donc détruit – une certaine quantité d'énergie pour faire un café, et non pas que le café représente de l'énergie *en soi* : à la fin du mois, la facture inclut la part d'énergie électrique consommée par la machine à café et il est impossible – même d'un point de vue purement théorique – d'inverser l'opération et de récupérer son argent. En effet, bien qu'étant toujours conservée en quantité sur un plan théorique, cette énergie a été irréversiblement dégradée<sup>1</sup> sous une forme de chaleur ambiante à l'équilibre thermique avec l'environnement, et n'est plus directement utilisable. Elle n'est donc plus considérée comme de l'énergie au sens commun du terme, où elle est inextricablement liée à l'usage. Dans sa conception la plus répandue, l'énergie est effectivement imaginée comme une substance qui permet de faire avancer une voiture, allumer une lampe, ou envoyer un satellite en orbite. En d'autres termes, le concept d'énergie, bien qu'il renvoie à l'image d'un absolu quantifiable, est souvent utilisé dans un sens éloigné de son sens purement scientifique. De fait la définition et l'utilisation du concept d'énergie dépassent largement la science ou la technique. Par exemple, Mirowski l'illustre comme suit :

The denizen of the late twentieth century who fills his automobile with gasoline, covers himself with suntan lotion to block out the ultraviolet, turns on his VCR by means of a remote control device and worries about the nuclear power plant just down the river probably feels himself to be quite at home with the concept of energy (Mirowski, 1989 : 11).

Le concept d'énergie est tellement familier qu'il paraît aller de soi, alors qu'il recouvre des réalités très différentes. Or, ces diverses utilisations présentent des incompatibilités qui méritent d'être développées.

<sup>1</sup> Le terme « dégradée » est utilisé en ingénierie pour distinguer de l'énergie de différente qualité, en fonction de la possibilité théorique de convertir cette énergie en mouvement, ou force de travail. Par exemple, la qualité de l'énergie électrique est supérieure à la qualité de l'énergie thermique.

Prenons par exemple le concept de la société à 2000 watts, mentionné ci-dessus, et comparons-le quantitativement avec la définition  $E=mc^2$  d'Einstein, qui quantifie l'équivalence entre l'énergie et la matière. Selon cette définition, l'énergie d'un objet au repos est égale à sa masse multipliée par la vitesse de la lumière au carré. Dans le système d'unités « naturelles » utilisé en physique théorique, la vitesse de la lumière est d'ailleurs fixée à 1 (sans unités), de sorte que masse et énergie se fondent dans un même objet, reflétant ainsi que la distinction entre ces deux objets découle de notre expérience et conception de la nature dans un contexte donné, mais non de son fonctionnement propre tel qu'il est décrit par la science.

En imaginant une hypothétique « source » d'énergie d'une puissance continue de 2000 watts, il faudrait plus de 100 millions d'années pour aboutir à l'énergie qui compose un être humain de 80 kg. De la sorte, la quantité de 2000 watts, ou plus largement la comptabilisation de l'énergie « consommée » (qu'elle soit renouvelable ou fossile) ne peut désigner qu'une infime partie des multiples échanges imbriqués et complexes entre l'homme et son environnement. En conséquence, la classification de certaines catégories d'objets comme énergie (par exemple un morceau de charbon) et d'autres comme n'en étant pas, revient à effectuer une sélection et une interprétation de ces catégories en fonction d'un point de vue spécifique, imprégné du contexte technique et social actuel – qui, nous le verrons, est largement dominé par l'énergie fossile, tant sur le plan technique que conceptuel.

### 3. La découverte de la conservation de l'énergie

Pour tenter de définir ce qu'est cette énergie, qu'il est impossible de représenter sous la forme d'une substance particulière (en tout cas dans son sens physique), Lindsay explique :

L'idée centrale est simple : quelque chose reste constant au sein du changement. Qu'est-ce que cela signifie? Vraisemblablement la caractéristique la plus évidente de l'expérience humaine est le changement. Même pour une personne sédentaire, les choses

ne restent jamais identiques très longtemps. Nous sommes bien sûr tous à la merci de la transition entre le jour et la nuit et inversement, sans mentionner les variations de la météo. [...] Le nombre de tels événements chaque jour de nos vies est si grand qu'il serait ridicule et fastidieux de les énumérer. D'un point de vue scientifique, en effet, nous pourrions décrire ces changements tels qu'ils se produisent, et traiter chacun séparément sans aucune relation avec d'autres expériences. Mais il y a longtemps, certaines personnes brillantes ont décidé que de rechercher activement quelque chose qui reste constant au sein des changements observés pourrait aider notre compréhension de l'expérience [...]. Le succès de cet effort a propulsé le concept d'énergie à la place qu'il occupe actuellement comme fondement principal de la science toute entière (Lindsay, 1975 : 6).

Ainsi, l'énergie constituerait une brillante construction intellectuelle visant à identifier des constantes au sein du changement. S'il convient de prendre en compte cette dimension sociale et construite du principe de conservation de l'énergie, il ne s'agit pas pour autant de réduire la science à une pure invention ou d'ignorer la spécificité de l'entreprise scientifique. Pour reprendre les mots de David Cassidy :

Science is not just a body abstract, mathematical concepts invented and manipulated by a small scientific elite, but a living part of human culture and experience, a product of the unending human quest to understand our world and ourselves [...]. (Cassidy, 2009 : 9).

Pour illustrer la découverte du principe de conservation de l'énergie et donner un rapide aperçu de cette « quête » mentionnée par Cassidy, nous ouvrons une brève parenthèse historique. Le but est d'établir une esquisse du contexte historique particulier qui a vu émerger l'idée de la conservation de l'énergie en se focalisant sur une de ses premières formulations. En effet, le concept d'un principe de conservation serait indissociable de la signification d'« énergie » (Mirowski, 1989 : 13). Ce contexte historique est d'autant plus intéressant que, comme mentionné ci-dessus, cette « découverte » est considérée en histoire des sciences comme un exemple de découverte *simultanée*.

L'historien des sciences Thomas Kuhn retrace l'histoire de la découverte simultanée du principe de conservation de l'énergie comme suit :

Entre 1842 et 1847, Mayer, Joules, Colding et Helmholtz, savants dispersés dans différents pays d'Europe, annoncèrent tous quatre l'hypothèse de la conservation de l'énergie – sans que les trois premiers aient eu connaissance des travaux des autres. Il s'agit là d'une coïncidence manifeste : toutefois ces quatre énoncés ne sont singuliers qu'en ce qu'ils réunissent la généralité d'une formulation avec des applications quantitatives concrètes. En effet, Sadi Carnot, avant 1832, Marc Séguin en 1839, Karl Holtzmann, en 1845 et G. A. Hirn, en 1854, ont chacun exprimé, de façon indépendante, la conviction que la chaleur et le travail pouvaient s'échanger quantitativement, et ils ont calculé, chacun de leur côté, la valeur du coefficient de conversion ou de son équivalent. La convertibilité de la chaleur et du travail n'est, bien entendu, qu'un cas particulier de la conservation de l'énergie, mais le manque de généralité de ce second groupe d'énoncés se retrouve dans d'autres écrits de cette période. Entre 1837 et 1844, C. F. Mohr, William Grove, Faraday et Liebig décrivent tous l'univers des phénomènes comme étant gouvernés par une « force » unique, se manifestant sous forme électrique, thermique, dynamique, ou sous d'autres formes encore sans qu'elle puisse jamais être créée ou détruite au cours des transformations. Ce que l'on désigne par « force » est ce que les savants nommeront plus tard « énergie ». L'histoire des sciences ne connaît pas d'exemple plus éclairant du phénomène que l'on appelle découverte simultanée (Kuhn, 1959 : 111).

En ce qui concerne Mayer, Mirowski (1989 : 36) rappelle que

Julius Robert Mayer is frequently credited with making the first coherent statement of the principle of the conservation of energy, although usually grudgingly so. The credit is awarded for the earliest publication of a quantitative estimate of the mechanical equivalent of heat and a sketchy discussion of some of its consequences. The credit is grudging because Mayer was an outsider — not a physicist, not recognized by other natural scientists — and because he did not pursue his thesis by means of the then-sanctioned procedures of scientific research.

En effet, George Sarton et al. soulignent que Mayer aurait découvert le principe de conservation de l'énergie par une intuition qui lui serait venue lors d'un voyage en bateau<sup>2</sup>. C'est-à-dire que Mayer raisonne sur la base d'une intuition, et non sur une base inductive à partir de résultats expérimentaux. Il imagine une famille d'ob-

<sup>2</sup> In the course of his service as a doctor aboard a Dutch ship he discovered the law of conservation of energy, by a sudden intuition (Sarton et al., 1929 : 19).

jets, appelés « forces », qu'il présente comme différentes formes sous lesquelles un unique et même objet se manifeste.

Whereas the term matter implies the possession, by the object to which it is applied, of very definite properties, such as weight and extension; the term force conveys for the most part the idea of something unknown, unsearchable, and hypothetical (Mayer, 1842 : 233).

Ce terme « forces », employé par Mayer, diffère de la notion de force utilisée aujourd'hui en physique, mais correspond à ce que nous appelons aujourd'hui « énergie ». L'intuition de Mayer est que ces « forces » constitueraient des causes de phénomènes observables, et que ces causes seraient égales en intensité à leurs effets. Cette première propriété de ces forces les rendraient indestructibles (car sinon elles ne pourraient être égales à leur effet).

If the given cause  $c$  has produced an effect  $e$  equal to itself [Mayer parle ici en intensité et non pas en nature], it has in that very act ceased to be:  $c$  has become  $e$  ; if, after the production of  $e$ ,  $c$  still remained in whole or in part, there must be still further effects corresponding to this remaining cause : the total effect of  $c$  would thus be  $>e$ , which would be contrary to the supposition  $c = e$  (Mayer, 1842 : 233).

Cette première formulation du principe de conservation de l'énergie est ainsi étonnamment présentée comme relevant d'une vérité *à priori* évidente et intériorisée dans le contexte scientifique de l'époque (la cause est égale à l'effet). Dans ce sens, une analogie pourrait être faite avec des adages du type « on n'a rien sans rien », ou « il n'y a pas de fumée sans feu », qui ne relèvent pas à proprement du domaine scientifique, mais plutôt dire du bon sens, ou d'une expérience de vie dans laquelle ces principes constituent une évidence.

La base du principe de conservation trouverait donc ses racines dans les conceptions inhérentes à une certaine vision du monde répandue à cette époque. En effet, les recherches scientifiques sont toujours menées dans un contexte intellectuel spécifique, s'inscrivant dans un contexte plus global que celui de la discipline

même. En d'autres mots, le scientifique fait partie du monde qu'il étudie, et le contexte (intellectuel, social, etc.) dans lequel il se trouve détermine l'angle sous lequel il voit le monde. Pour Mayer, le concept que nous appelons aujourd'hui « énergie » relève presque d'une conviction en l'existence d'un objet insaisissable, qui serait une cause universelle des effets observables. Par la suite, des résultats expérimentaux ont rapidement renforcé sa théorie, qui connut dès lors un large succès :

As long as it remained a mathematical abstraction, it was considered with general indifference or scepticism, but as soon as the experimental confirmations were provided, the whole scientific world, with but few exceptions, hastened to accept it (Sarton et al., 1929 : 21).

#### Kuhn se demande

Pourquoi, dans les années 1830-1850, tant d'expériences et tant de concepts nécessaires à une formulation complète de la conservation de l'énergie sont-ils parvenus si près de la surface de la conscience scientifique ? (Kuhn, 1959 : 117).

#### Pour lui

[C]'est en isolant les éléments qui participèrent à ce climat dans les travaux de ceux qui en subirent l'influence que l'on pourra se faire une idée de la nature de la découverte simultanée. Il est même possible d'envisager de fournir ainsi de la substance à ces truismes évidents, bien que totalement dénués de contenu : « une découverte scientifique doit correspondre à son temps » ou « l'époque doit être mûre » (Kuhn, *id.* : 114).

Kuhn identifie ensuite plusieurs facteurs qui seraient significatifs dans la prise en compte sociale et contextuelle de la découverte de l'énergie. Tout d'abord, cette cause universelle s'inscrirait dans la lignée de la philosophie de la nature, un courant de pensée répandu à cette époque dans le monde scientifique qui consiste notamment en la recherche d'un principe unificateur commun à tous les phénomènes naturels, ainsi qu'en l'idée que tous les phénomènes physiques peuvent se ramener à une mécanique conservative. Par ailleurs, il évoque également la disponibilité des processus de conversion, comme la pile de volta, les machines thermodynamiques ainsi que

l'intérêt porté par les ingénieurs à ces machines, et enfin la théorie cinétique de la chaleur.

Sans toutefois aller plus loin dans l'analyse historique de la découverte de l'énergie, ces quelques éléments renforcent l'idée d'une quantité absolue, d'un universel, qui aurait déjà eu sa place dans les théories et les esprits de l'époque, avant même la formulation du principe de conservation de l'énergie. On voit que la théorie qui constitue le cœur du concept d'énergie émerge d'un cadre théorique et philosophique bien déterminé : ce principe de conservation de l'énergie, et avec lui l'idée que l'énergie constituerait une grandeur universelle, découle d'une certaine vision du monde qui le précède et qu'il concrétise, et non l'inverse. Autrement dit, les lois de la physique, qui sont utilisées pour étayer l'idée de l'énergie comme un absolu universel, sont écrites à partir de ce principe de conservation, principe dont la formulation est imprégnée du contexte théorique et philosophique dans lequel il s'inscrit.

#### 4. L'énergie combustible

De l'énergie comme objet physique caractérisé par sa conservation à la notion d'énergie telle qu'elle est régulièrement employée aujourd'hui – notamment dans « énergie fossile » – il reste encore une étape à franchir. En effet, l'énergie fossile désigne une forme d'énergie qui est associée à une certaine utilité ; dans ce sens elle correspond à l'idée, largement répandue, que l'énergie serait une substance mise à disposition par la nature, qui nous permet d'accomplir différentes choses. Or, cette idée ne correspond pas à la définition de l'énergie au sens physique présentée plus haut, où l'énergie n'est associée ni à une utilité potentielle ni à une matière spécifique. L'élément charnière pour définir l'énergie d'un combustible est la propriété de certains matériaux à pouvoir dégager une quantité d'énergie donnée sous forme de chaleur dans un processus de combustion (lorsque l'environnement de la transformation est considéré comme équivalent à un environnement de référence). C'est pourquoi une certaine quantité d'essence peut être

considérée comme équivalente à une certaine quantité d'énergie, avec l'hypothèse sous-jacente d'une conversion à travers un processus de combustion qui permet de rendre des services tels que le chauffage, le déplacement, etc. Cette conception particulière et *thermo-centriste* de l'énergie, aujourd'hui prédominante, s'est imposée grâce à l'abondance des hydrocarbures et l'excellente maîtrise des techniques de combustion. Pour Luc Semal (2007) qui résume la thèse d'Alain Gras (2007) :

Notre société est une société « thermo-industrielle », dans laquelle le feu est partout : dans nos communications (prétendument dématérialisées mais dont les infrastructures sont très polluantes), dans notre agriculture (machines, engrais et pesticides), dans notre alimentation (carnée et industrialisée), dans nos transports [...] (Semal, 2007 : 1).

Dans ce contexte dominé par une énergie combustible polyvalente, il paraît naturel que n'importe quelle situation puisse être interprétée et quantifiée en termes énergétiques, bien que le but en lui-même (confort, déplacement, utilités, etc.) ne soit pas énergétique par nature. Ainsi, pour Harold Wilhite :

People do not consume energy per se, but rather the things energy makes possible, such as light, clean clothes, travel, refrigeration and so on, and these feed into broader considerations of comfort, convenience and cleanliness [...], as well as entertainment and many other constituents of the « good life » (Wilhite, 2005 : 2).

Or, dans la pratique, l'énergie fossile – stockable et transportable – est facilement convertible en chaleur, en mouvement, en électricité, etc. Elle s'ajuste tout-à-fait au le cadre conceptuel qui a vu émerger la notion de conservation de l'énergie, avec l'idée d'un objet unique (matériel cette fois) qui permet de décrire des phénomènes de natures différentes (cette fois des services).

Mais les énergies fossiles font plus que s'adapter à la notion de conservation de l'énergie : elles répondent à une attente implicite déjà, selon Berkson, dans la théorie de la conservation de l'énergie, qui suggère que la définition de l'énergie par sa propriété de conservation, comme objet unique et universel, reste difficile à conceptualiser et qu'une définition en termes d'une

substance est attendue<sup>3</sup>. L'énergie fossile vient donc matérialiser cet universel. En d'autres mots, l'idée sous-jacente de l'énergie comme grandeur physique unificatrice entre des phénomènes naturels s'incarne sous la forme de combustibles omnipotents dans une représentation matérielle. Par exemple, une quantité de charbon  $A$  définie par des propriétés  $B$  (qualité, pouvoir calorifique, etc.) permet d'obtenir une quantité de chaleur  $C$  comme fonction de  $A$  et  $B$ . Ce charbon est alors souvent considéré *en soi* comme une quantité d'énergie  $C$ , qui elle-même correspond à un service spécifique (déplacement, éclairage, chauffage, etc.) quantifié également en termes d'énergie.

Or, une telle conception fait appel à des critères de faisabilité technique et d'utilité pour notre société : cette « énergie » ne prend de sens que si nous la considérons comme utile, et que nous disposons des connaissances et techniques pour l'exploiter. Selon Harold Whilhite :

Energy exists in many physical forms, and the ways of converting it into something useful have rightly been seen as the domain of engineering, physics and the other natural sciences. However, energy is of little use in and of itself. It must pass through a socio-technological system in order to reach the site of its intended use. There it must be converted, using another technology, such as a television or car, before it becomes transformed into something useful (Whilhite, 2005 : 1).

En ce sens, par opposition au morceau de charbon imaginé plus haut, une simple pierre ne représenterait pas de l'énergie du point de vue thermo-centriste, car contrairement au charbon, nous ne disposons pas de la technique pour la convertir en énergie et ne pouvons pas en tirer une utilité (confort, déplacement, etc). Cette définition de l'énergie dépend donc non seulement de la conception que nous nous faisons de l'environnement, mais aussi de l'état de la technique : si cette pierre s'avérait être un morceau d'uranium, elle serait aujourd'hui

<sup>3</sup> « The "invariance" character of the theory of the conservation of energy is responsible for the frequent feeling that the theory is incomprehensible, even after it has been explained. We naturally expect an explanation in terms of a substance and its modifications. If we have instead an invariance law and don't realize it, then we keep looking for the substance and do not find it » (Berkson, 1974 : 136).

considérée comme de l'énergie, alors qu'elle ne l'aurait pas été avant la découverte de la radioactivité.

Par ailleurs, alors que l'énergie au sens physique est toujours conservée, nous avons vu plus haut dans l'exemple de la bouilloire et du café que ce n'est pas le cas de l'énergie « utilisable » dans une conception thermo-centriste : une fois le combustible brûlé et le but recherché atteint (par exemple un déplacement, le chauffage d'un bâtiment pendant l'hiver, ou le visionnage d'un film sur un écran à la maison), l'énergie consommée est considérée comme détruite. Bien entendu, d'un point de vue purement physique, cette énergie est toujours conservée et se retrouve dans l'environnement. Toutefois, comme elle n'est plus directement utilisable, elle n'est plus considérée comme de l'énergie au sens commun, car elle a perdu sa propriété d'utilité potentielle.

Pour distinguer ces différents types d'énergie qui ne sont pas équivalents du point de vue de leur utilité, les ingénieurs utilisent la notion de valeur de l'énergie (ou d'exergie) : selon le contexte certaines formes d'énergie « valent » plus que d'autres. Par exemple, un joule d'énergie électrique « vaut » plus qu'un joule d'énergie thermique dans une tasse de café. Comme analogie, on pourrait imaginer des kilogrammes de « valeurs » différentes en fonction de la hauteur à laquelle ils se situent et donc de l'intensité de l'impact potentiel qu'ils auraient sur le sol. Pourtant, du point de vue physique, un joule reste toujours un joule et un kilogramme reste toujours un kilogramme. Cette valeur de l'énergie peut être quantifiée en termes d'exergie, qui représente en quelque sorte la part « utilisable » de l'énergie dans un contexte particulier : par exemple, l'exergie d'une même tasse de café est plus grande si la température de l'environnement est plus froide, bien que son énergie soit indépendante du contexte. Les deux principaux avantages de la notion d'exergie sont, premièrement, que contrairement à l'énergie, elle dépend explicitement du contexte, et ne renvoie donc pas à l'idée d'un absolu. Deuxièmement, l'exergie permet de quantifier la « dégradation » de l'énergie : par exemple, après avoir fait une tasse de café avec la bouilloire, l'exergie transmise à l'eau chaude représente environ 5% de l'exergie utilisée, de sorte que

la dégradation de la qualité de l'énergie est de 95%<sup>4</sup>. En ce sens, la définition d'exergie des ingénieurs est proche de celle de l'énergie, associée à une certaine utilité, telle qu'elle est largement répandue dans notre société. Toutefois, la technicité de ce concept d'exergie – qui gagnerait probablement à être vulgarisé – l'empêche à ce jour de dépasser les frontières du monde de l'ingénierie. Dans le cas de combustibles « bons à tout faire » comme les hydrocarbures, qui permettent de ne pas se soucier du contexte et du type de besoin, énergie et exergie sont (presque) équivalents d'un point de vue thermodynamique. En revanche, dans le cas où l'influence du contexte devient non négligeable – ce qui est souvent le cas avec les énergies renouvelables – chaque type de besoin doit être mis en rapport avec le type d'énergie disponible, et la notion de valeur de l'énergie, ou d'exergie, devient dans ce cas essentielle.

En règle générale, la confusion entre les différentes définitions et conceptions de l'énergie est fréquente, comme lorsqu'on cherche à estimer l'énergie qui serait disponible dans la nature avant sa transformation. En effet, l'idée d'énergie à l'état naturel renvoie à toute forme d'énergie qui serait présente dans l'environnement, indépendamment de notre société et de nos techniques. En revanche, la tentative même de définir et « mesurer » l'énergie disponible dans l'environnement repose sur une conception thermo-centriste de l'énergie, ou plus largement d'énergie sous forme matérielle (soleil, chaleur, vent, courant d'une rivière, matière, etc.) à laquelle on peut attribuer une utilité. Cette confusion génère des débats sur les méthodes de calculs pour établir une équivalence en énergie dite primaire. Par exemple, pour quantifier l'énergie prise dans l'environnement lors de l'utilisation d'une certaine quantité de carburant, est-il plus juste de considérer (comme cela est effectué habituellement) un calcul

<sup>4</sup> La qualité de l'énergie désigne la part de l'énergie qui serait théoriquement utilisable sous forme de travail mécanique (action mécanique d'une force) en imaginant des techniques idéales qui pourraient fonctionner sans la moindre perte. Au cours d'une transformation comme celle de l'exemple ci-dessus, la qualité de l'énergie se dégrade (et cette dégradation est associée à une augmentation d'entropie) : la part théoriquement utilisable de cette énergie a diminué même si la quantité totale d'énergie est restée constante.

basé sur une équivalence thermo-centriste, c'est-à-dire sur le pouvoir calorifique et les différentes pertes liées à la transformation du pétrole brut, ou alors sur une équivalence avec l'énergie de phénomènes naturels comme le soleil, le vent, la gravité, etc., qui ont permis la formation du gisement ? De deux choses l'une : si le pétrole brut est une ressource construite – c'est-à-dire qu'elle dépend de considérations sociales et techniques – la comparer à l'énergie de l'environnement dans sa définition physique n'a pas de sens car il ne s'agit pas d'objets de même nature. Nous avons mis en évidence ci-dessus la différence de l'ordre de grandeur entre la quantité de 2000 watts et l'énergie au sens physique qui compose la matière d'un être humain. À l'inverse, appliquer une équivalence basée sur le pouvoir calorifique à des phénomènes naturels représente une vision partielle et déformée de l'environnement à travers une lunette thermo-centriste.

## 5. L'énergie renouvelable

Considérons un bateau chargé de marchandises qui traverse l'océan Atlantique : selon notre discussion plus haut, sa consommation en énergie fossile serait définie quantitativement par la quantité de fioul brûlé. Toutefois, si ce bateau est un voilier, comment quantifier ce qui constituerait sa consommation d'énergie renouvelable ? Il serait possible, par exemple, d'évaluer combien de mazout a été économisé par rapport au cas précédent, ou encore de calculer les forces de frottement combattues par la force du vent dans les voiles, pour obtenir le travail total du vent sur la traversée. Cependant, un tel calcul n'a de sens que dans un contexte où les énergies combustibles sont majoritaires. En effet, personne n'aurait vu l'intérêt de calculer la consommation d'énergie d'un bateau avant le développement de propulsions à énergie fossile, où la quantité de combustible nécessaire doit être mesurée et embarquée à bord pour s'assurer de ne pas rester en panne au milieu de l'océan. De plus, du point de vue de la physique, l'énergie nette que ce voilier a prise dans son environnement entre le départ du point *A* et l'arrivée au point *B* est nulle (pour autant que l'alti-



tude de  $A$  et  $B$  soit identique). Idem pour un moulin à vent, un cheval de trait, etc. En ce sens, l'idée d'énergie renouvelable désignerait plutôt un objet de substitution à l'énergie fossile, et non un concept défini pour lui-même : il ne prendrait de sens que d'un point de vue thermo-centriste, dans des situations où l'énergie fossile est utilisée d'habitude.

Ainsi, l'énergie captée par un panneau solaire sur le toit d'un bâtiment, puis injectée dans un système technique (chauffage, réseau électrique, etc.) est considérée comme de l'énergie renouvelable, produite puis utilisée, comptabilisée en unités d'énergie. En revanche, le même rayon de soleil qui atteindrait non pas un capteur solaire, mais par exemple une vitre de ce bâtiment (augmentant au passage la température de la pièce et diminuant le besoin de chauffage) n'est pas considéré comme de l'énergie au sens thermo-centriste : aucun compteur ni statistique ne comptabilisent la production d'énergie renouvelable à travers les vitres d'un bâtiment, et cette énergie ne rentre par exemple pas dans la définition des « 2000 watts » (bien qu'elle soit évidemment prise en compte dans le calcul du dimensionnement technique d'un bâtiment). En effet, dans le premier cas, le panneau solaire est directement en concurrence avec une chaudière, ou une autre solution technique dans laquelle de l'énergie au sens thermo-centriste aurait été consommée sinon. Dans le deuxième cas, bien qu'il s'agisse également d'énergie au sens physique (et qui pourrait être considérée renouvelable vu son faible impact environnemental), elle ne rentre pas dans la notion d'énergie telle qu'imaginée dans un contexte imprégné par la domination des combustibles fossiles. La réflexion peut être poussée plus loin : si le confort thermique à l'intérieur d'un bâtiment est quantifié en termes d'énergie - fossiles ou renouvelables -, qui aurait l'idée de dire qu'une température agréable à l'extérieur aurait été produite par de l'énergie renouvelable, comme le soleil ou le vent ? Il s'agit pourtant des mêmes rayons solaires que ceux qui arrivent sur des capteurs et de la même force du vent que celle qui actionne potentiellement une éolienne – l'environnement ne voit aucune différence à ce que le soleil ou le vent passent à travers

un artefact technique pour procurer un sentiment de confort ou qu'ils le fassent de manière directe. Non seulement le résultat final (le confort thermique) est semblable, mais de plus la quantité d'énergie au sens physique qui a été prise dans l'environnement est identique (et nulle) dans les deux cas de figure.

La notion d'énergie renouvelable est donc liée à une vision thermo-centriste du monde, car elle s'est construite dans un contexte où l'énergie fossile est majoritaire. En ce sens, l'énergie renouvelable représente une infime partie de l'énergie de l'environnement au sens de la physique, perçue à travers un prisme thermo-centriste. Un panneau solaire ou une éolienne constituent ainsi des artefacts à travers lesquels l'énergie au sens physique peut se matérialiser, se quantifier, et se mettre en concurrence avec des combustibles. Or, la tendance générale à décrire à peu près n'importe quels services en termes d'énergie (déplacement, confort, communication, etc.), ne doit pas éliminer la question de la pertinence de cette mesure. En effet, bien que le concept d'énergie renvoie à l'idée d'un objet universel issu de la physique, son utilisation et sa signification dans la pratique dépendent fortement du contexte.

La dépendance de la notion d'énergie renouvelable à cette conception de l'environnement construite sur l'énergie fossile peut d'abord sembler de peu d'importance. Si le but recherché est de diminuer la consommation des énergies fossiles, il peut paraître a priori pertinent d'amener de l'énergie renouvelable là où se trouve l'énergie fossile – peu importe au final si ces concepts ne sont pas bien définis d'un point de vue purement physique. C'est pourtant derrière cette substitution que pourrait se situer une question essentielle : est-ce qu'une conception de l'environnement et de notre société qui est construite sur l'abondance temporaire de combustibles fossiles peut être durable ? Dans ce cas, la véritable crise actuelle ne serait pas une crise énergétique ; celle-ci serait plutôt le symptôme d'une modification des rapports entre certaines sociétés humaines et leur environnement. Grâce au miracle de l'énergie fossile, ces sociétés se seraient « déconnectées » de l'environnement, et auraient intériorisé cette déconnexion

non seulement dans les pratiques techniques, mais aussi dans la conscience collective. En pratique, les exemples de pollution sévère à l'environnement comme l'extraction du gaz de schiste sont malheureusement trop nombreux : le paramètre central dans toute décision reste le prix de l'unité d'énergie extraite de l'environnement, au sens thermo-centriste, alors même que cette mesure en unités d'énergie demande de mettre sur le même plan des éléments qui ne sont comparables que par leur conversion finale en services à travers un système technique et social. Ces éléments ne sont pourtant pas forcément comparables sur le plan environnemental. Ils ne sont pas non plus directement mesurables en énergie au sens thermo-centriste, mais sont pourtant essentiels à la vie sur terre. En ce sens, la logique thermo-centriste réduit l'environnement à une source d'énergie (fossile ou renouvelable), qui permet à l'être humain de s'affranchir de sa dépendance au contexte, comme les saisons, les distances, et autres contingences. Pour revenir à l'exemple du bateau mentionné ci-dessus, le voilier ne consomme peut-être pas d'énergie fossile, mais son trajet dépend fortement de paramètres non maîtrisables comme la direction et la force du vent, les courants, les marées, et cette dépendance ne paraît plus compatible avec le modèle actuel de société, où les effets de l'environnement sur nos habitudes et le fonctionnement de la société sont souvent perçus comme un échec de la technique à nous préserver de l'influence facteurs naturels (que ce soit par exemple le fait de devoir prendre une douche plus courte et un peu moins chaude en fonction de la météo, ou encore de devoir quitter son costume-cravate en plein été par manque de climatisation).

## 6. Conclusion

La notion d'énergie revêt des acceptations différentes selon les contextes, bien qu'une certaine confusion règne dans la distinction de ces différentes conceptions. Cette confusion tient notamment à l'idée couramment répandue que l'énergie constituerait une mesure universelle bien définie. D'une part, d'un point de vue physique, l'énergie permet de comparer des phé-

nomènes de natures très différentes, et cette notion est imprégnée de l'idée qu'il s'agit d'un absolu, d'un principe unificateur et commun à tous les phénomènes naturels. En outre, dans la pratique, l'utilisation massive d'énergies fossiles, polyvalentes, a permis un renforcement de cette conception de l'énergie comme étant une grandeur adaptée à toutes les situations : l'énergie permet de se déplacer, de se chauffer, de faire fonctionner différents appareils, etc.

Or, partant de cette idée que l'énergie serait universelle, les outils et concepts propres aux énergies fossiles sont à présent étendus aux énergies renouvelables, et des situations qui n'étaient pas décrites comme énergétiques avant le développement massif des machines thermiques sont redécouvertes du point de vue d'une société basée sur l'énergie fossile. Nous avons ainsi évoqué l'exemple d'un voilier qui traverse l'océan : la comptabilisation en énergie ne prend de sens que dans un contexte où les énergies fossiles sont majoritaires et par le biais d'une comparaison avec celles-ci (par exemple si on calcule l'économie de fioul réalisée). De ce fait, l'application en pratique de l'idée que l'énergie est une grandeur universelle permet de rassembler des objets très différents dans un système commun de comptabilisation, largement accepté du fait que la notion d'énergie véhicule l'idée d'un objet universel, d'un absolu.

Toutefois, la définition de l'énergie hors du champ purement physique dépend de considérations techniques et sociales, c'est-à-dire que l'énergie ne renvoie pas à un objet absolu, mais qu'il s'agit d'un concept construit, relatif à des contingences sociales et techniques. Par exemple, cette conception de l'énergie – qualifiée de thermo-centriste – s'est construite sur la base du pouvoir calorifique de ressources combustibles, d'où la notion de consommation (et donc de destruction) d'énergie. En effet, si cette expression a du sens pour parler d'une certaine quantité de combustible consommé, elle n'en a pas lorsqu'on considère l'énergie dans son sens physique, puisque dans ce contexte l'énergie est conservée et ne peut pas disparaître. Cette question de définition, qui peut paraître secondaire, pourrait en réalité constituer le symptôme d'une crise bien

plus large que la simple question énergétique : celle de la déconnexion de la société et de son environnement à travers une quantification de cette relation établie sur une vision partielle et quantitative, qui a été développée dans un contexte intellectuel et social imprégné de la notion d'énergie fossile. En effet, nous avons vu que la matérialisation de la relation entre la société et son environnement sous forme d'énergie fossile ou renouvelable ignore la complexité des rapports multiples et imbriqués entre la vie et son environnement en mettant sur le même plan conceptuel des éléments de nature différente. C'est pourquoi, si l'on prétend résoudre les défis énergétiques actuels, il est essentiel que ces questions ne restent pas confinées au domaine de la technique.

## Références

- CASSIDY, David (2009), *Beyond Uncertainty: Heisenberg, Quantum Physics, and the Bomb*, New York : Bellevue Literary Press.
- GRAS, Alain (2007), *Le choix du feu, aux origines de la crise climatique*, Paris : Fayard.
- JOCHM, Eberhard (éd) (2004), *A White Book for R&D of Energy-efficient Technologies. A Novatlantis Project*, Dübendorf.
- KUHN, Thomas (éd) (1959), « Energy conservation as an example of simultaneous discovery », Marsahl Clagett, (dir. publ.), *Critical Problems in the History of Science*, Madison : University of Wisconsin Press, pp. 321-356.
- LINDSAY, R. Bruce (1975), *Energy / Historical Development of the Concept*, Dowden : Hutchinson et Ross.
- MAYER, J.R. (1842), « Bemerkung über die Kräfte der unbelebten Natur », *Annalen der Chemie und Pharmacie*, 42, pp. 233-40. (Reproduction facsimile dans Sarton, 1929)
- MIROWSKI, Philipp (1989), *More Heat than Light / Economics as Social Physics: Physics as Nature's Economics*, Cambridge : Cambridge University Press.
- SARTON, George *et al.* (1929), « The Discovery of the Law of conservation of Energy », *Isis*, 13 (1), pp. 18-44.
- SEMAL, Luc, (2007), Alain Gras, (2007), *Le Choix du feu. Aux origines de la crise climatique*, Fayard, 281 p., Développement durable et territoires [en ligne], Lectures, Publications de 2007, en ligne depuis le 5 février 2008, consulté le 27 mars 2016. <http://developpementdurable.revues.org/4803>.
- WILHITE, Harold (2005), « Why Energy Needs Anthropology », *Anthropology Today*, 21 (3), pp. 1-2.