



Tout a commencé avec le Soleil

Éruptions à la surface du Soleil

Le Soleil est à la fois une réalité astrophysique fondamentale et à l'origine des ressources énergétiques terrestres. Il fait pour cela l'objet d'un immense travail culturel, scientifique et technologique.

Le développement humain s'organise autour de l'extraction indirecte de l'énergie solaire absorbée et transformée par les différentes espèces vivantes, par le biais de processus biologiques et géologiques complexes.

Les différentes sociétés humaines ont un rapport complexe aux différentes sources et formes d'énergie qui découlent, directement ou indirectement, des interactions entre le Soleil et l'écosystème terrestre.

Grâce à la chimie et à la physique, il est désormais possible de mieux comprendre les interactions entre la Terre et le Soleil.

Le Soleil émet des rayonnements qui sont convertis en lumière et en chaleur par l'atmosphère. Les gaz à effet de serre, en particulier la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et le méthane, conservent une partie du rayonnement solaire. Ce phénomène assure la quantité de chaleur nécessaire à la vie.

L'apparition de la vie sur terre est largement dépendante de son contexte astrophysique et de la chimie propre à son atmosphère. Les études menées sur d'autres planètes du système solaire ont permis de mieux comprendre la complexité des relations entre le rayonnement solaire et le développement de la vie. Ainsi, Mercure et Vénus, étant plus proches du Soleil, la température et l'exposition aux rayonnements bloquent tout processus biologique. La quantité de gaz à effet de serre sur une planète comme Vénus la maintient à une température moyenne de près de 450°.

Les enjeux philosophiques, religieux et scientifiques de la compréhension de la place de la Terre par rapport au Soleil sont fondateurs de la science. L'astre solaire est une composante majeure des religions préhistoriques et antiques. Celles-ci les intègrent à leur cosmogonie et identifient les cycles solaires à l'activité du monde des dieux. Cette symbolisation est particulièrement forte dans la religion égyptienne : le pharaon, le roi ou le "grand chef" est apparenté à l'astre solaire.

Le Soleil a donné lieu aux premières interrogations astronomiques et aux premiers travaux d'explicitation systématique qui évolueront vers la méthode scientifique. Ainsi, les philosophes grecs se voulaient-ils aussi géomètres et astronomes. Ils furent les premiers à calculer la rotondité de la Terre et ses mouvements autour du soleil.

Les rythmes sociaux sont aussi liés aux rythmes biologiques. L'alternance des périodes diurnes et nocturnes a pesé dans la structuration des fonctionnements des sociétés humaines. Les diverses activités sont organisées, parfois de façon inconsciente, autour de ces grands rythmes astrophysiques et biologiques. Ainsi, le développement de l'habitat humain, individuel ou collectif, rural ou urbain, est profondément déterminé par le rapport à l'ensoleillement. Aujourd'hui, les gratte-ciel modernes, en acier et en verre, ont, entre autres fonctions architecturales, de refléter la lumière du Soleil dans l'environnement urbain. Ces bâtiments deviennent ainsi des symboles de puissance, qui renvoient à l'imaginaire très ancien associé au Soleil.

D'autres activités, telles que l'agriculture ou le tourisme, dépendent également du rapport à l'ensoleillement.

L'histoire du développement humain a connu une inflexion majeure avec l'apparition de l'agriculture, secteur dont l'importance et le volume n'ont cessé de croître, au point d'aboutir à l'actuel secteur agro-alimentaire globalisé. L'agriculture est profondément dépendante des rythmes astrophysiques qui déterminent l'ensoleillement nécessaire aux cultures. Enfin, la récente apparition du tourisme de masse est, elle aussi, déterminée par l'attraction exercée par les régions bénéficiant d'un ensoleillement important.

Le Soleil joue donc un rôle énergétique de première importance. C'est la raison pour laquelle, de nombreuses études sont menées pour développer l'énergie solaire photovoltaïque. C'est aujourd'hui le type d'énergie qui connaît la plus forte croissance dans le monde. Sa production a été multipliée par neuf depuis l'an 2000.



Les êtres vivants et l'énergie

Baleine à bosse bondissant hors de l'eau près des côtes d'Alaska, États-Unis.

Les êtres vivants sont producteurs et consommateurs d'énergie. L'énergie est nécessaire à l'ensemble des êtres vivants pour croître et se développer. Les échanges d'énergie entre les êtres vivants sont assurés par les différentes formes de prédation, mais aussi de transferts organiques de nourriture entre ascendants et descendants.

Animaux, végétaux, bactéries... reçoivent de l'énergie qu'ils extraient de leur propre environnement. Les échanges énergétiques entre êtres vivants, mais aussi la compétition pour y accéder, comme celle des végétaux en milieu forestier, sont l'occasion d'étudier les différentes sources d'énergie du vivant tout en mettant en évidence les différents niveaux d'interdépendance.

L'énergie fait l'objet de nombreuses formes de représentations en raison de son importance vitale. Certaines allégories permettent d'identifier la puissance propre à certains animaux au concept même d'énergie. Les animaux sont alors associés aux quatre éléments (l'eau, l'air, la terre, le feu) qui s'inspirent de la réalité des milieux naturels.



L'énergie au service de l'Homme

Charrue tractée par un âne dans un champ en Crète, Grèce.

L'agriculture est un des fondements de l'organisation sociale depuis plus de dix mille ans. À l'origine, son développement s'est accompagné de la domestication d'un certain nombre d'espèces animales, dont l'énergie musculaire complétait utilement celle des paysans.

L'alimentation est la principale forme d'absorption d'énergie par l'Homme. Durant toute la période du paléolithique, distinguée par un mode de vie essentiellement nomade, l'alimentation était essentiellement assurée par la chasse, la pêche et la cueillette. L'invention de l'agriculture s'accompagne d'un lent processus de sédentarisation. Le rapport à la terre, comme source régulière de nourriture, s'est imposé au fil des temps. L'agriculture a donc changé le rapport de l'Homme à son environnement.

La relation entre l'Homme et l'animal est aussi un facteur essentiel dans l'histoire du développement humain. Cette relation a connu une mutation à partir de la fin du 19^e siècle, dans la mesure où l'énergie de traction de l'animal (cheval, bœuf, ou autre) a été remplacée en Europe, en Amérique du Nord et dans les exploitations agricoles riches des pays en développement, par la force mécanique. Cette mécanisation a entraîné aussi de nombreux problèmes. Aujourd'hui les oscillations rapides, violentes et très amples des prix du pétrole amènent de nombreux groupements d'agriculteurs à repenser la place de l'animal dans les pratiques agricoles.

L'agriculture doit aujourd'hui relever le défi d'alimenter près de 6,5 milliards d'êtres humains, tout en préservant les ressources. Il faut ajouter à cela que de nombreux démographes estiment qu'en 2050, l'humanité comptera 9 milliards d'individus. Agriculture et développement durable sont donc intimement liés, ce qui constitue un des défis majeurs du 21^e siècle.



Du charbon à la machine

Centrale thermique à Hvidovre sur la mer Baltique, au Danemark.

Le charbon est intrinsèquement lié aux usages énergétiques des sociétés contemporaines. Pilier du développement économique, il a permis l'essor des échanges entre les hommes et les marchandises. Au niveau social, l'utilisation du charbon est aussi à l'origine de l'accélération de l'exode rural par l'absorption d'une partie des populations rurales par les activités minières. Culturellement, l'extraction du charbon a eu un effet puissant sur les paysages des régions concernées, par le creusement des sols et par l'accumulation des terrils, autour desquels s'élaborent de nombreuses cultures et identités régionales.

Aujourd'hui encore, le rapport au charbon diffère selon le niveau de développement des pays. Le charbon est un des piliers de la croissance indienne et chinoise contemporaine. Ces deux pays, connaissant une croissance rapide de leurs besoins en énergie, construisent de nombreuses centrales thermiques à charbon. Une à deux centrales au charbon sont ainsi construites chaque semaine en Chine. Dans le même temps, les États-Unis travaillent à l'élaboration d'usines à charbon "propres" afin d'être moins dépendants d'approvisionnements pétroliers.

Des facteurs environnementaux poussent les nations à développer de nouvelles politiques énergétiques.

Le recours au charbon a entraîné un accroissement du rejet de particules, en particulier de suies, dans l'atmosphère, ainsi qu'une augmentation des rejets de dioxyde de carbone, qui contribue nettement au réchauffement global. La consommation croissante de charbon par des puissances économiques émergentes est un des facteurs déclenchants du nuage de pollution connu sous le nom de "nuage brun". Les particules du "nuage brun" se retrouvent jusque dans les précipitations qui s'abattent sur la côte pacifique du Canada et des États-Unis. La pollution de l'air par ces particules de charbon a des effets désormais connus sur la santé.

Les enjeux liés à la diversification des énergies et au renforcement de l'efficacité énergétique sont tels que de nombreux gouvernements financent actuellement des travaux de recherche - développement autour du charbon afin d'en accroître le retour énergétique sur investissement, tout en en réduisant l'impact sur la santé des populations.



L'essor des énergies renouvelables

Biche traversant un champ de colza dans la vallée de Chevreuse, Yvelines, France.

On appelle **“biocarburants”** une catégorie de carburants issus de processus d'extraction chimique de certaines plantes cultivées à grande échelle, comme les palmiers à huile, le tournesol ou le colza.

L'augmentation rapide des besoins des pays a eu pour effet d'intégrer ces “agrocarburants” dans l'éventail des réponses à la crise énergétique globale.

Conçus comme des ressources de complément des hydrocarbures (et non pas de remplacement), leur efficacité est portant contrastée, tant au niveau de leur efficacité qu'en termes de préservation de l'environnement. Produits par les paysanneries industrialisées, aussi bien d'Europe que d'Amérique du Nord, du Brésil ou d'Asie, ils entrent en concurrence avec les productions agricoles destinées à l'alimentation.

Certes, la croissance du secteur des énergies renouvelables peut entraîner la création de nouvelles filières professionnelles et de nouveaux gisements d'emplois. Parallèlement, l'émergence des agrocarburants s'accompagne de la création de nouveaux enjeux pour les agriculteurs et pour les populations rurales.

Toutefois, ils ont provoqué récemment une hausse des prix des aliments qui a amené la communauté internationale à reconsidérer cette forme d'énergie alternative. “L'objectif de l'Union européenne d'obtenir d'ici 2020 que 10 % des carburants soient issus de plantes ne doit pas être la priorité absolue si le prix à payer pour cela est que la nature et les hommes en pâtissent”, avait indiqué, en avril 2008, le commissaire européen à l'environnement.

Par conséquent, si les agrocarburants peuvent aider à traverser la crise énergétique, ils induisent donc de nouvelles problématiques qui vont nécessiter des solutions innovantes.



Pétrole, la pénurie annoncée

Puits de pétrole en Californie, États-Unis.

Le pétrole est une ressource naturelle géologique, dont l'efficacité énergétique, découverte à la fin du 19^e siècle, a été couplée au développement du moteur à explosion.

L'utilisation du pétrole est déterminante dans l'essor des échanges terrestres, maritimes, aériens et spatiaux. La facilité d'extraction de cette ressource et le développement rapide des infrastructures techniques de raffinage, de transport, de transformation et de diffusion en ont mis les dérivés, essentiellement l'essence et le diesel, à disposition des populations urbaines et rurales. L'exploitation massive du pétrole est à l'origine des mutations urbaines du 20^e siècle et du développement d'immenses réseaux routiers à l'échelle de continents.

Aucune activité économique ou sociale n'est aujourd'hui possible sans intégrer, directement ou indirectement, les usages du pétrole. Toutefois, le recours massif à cette forme d'énergie a rendu nos sociétés profondément dépendantes de cette ressource qui est à l'origine de nombreuses pollutions.

La combustion du pétrole induit, en effet, des rejets importants de dioxyde de carbone. Ils contribuent à retenir une part croissante de la chaleur émise par le Soleil dans l'atmosphère. Ce phénomène provoque une augmentation de la température de l'atmosphère, qualifié de "réchauffement global".

En outre, la vitesse à laquelle le pétrole est consommé entraîne un épuisement des puits les plus anciens et la nécessité d'exploiter régulièrement de nouveaux gisements dans des conditions souvent extrêmes. Les grandes compagnies pétrolières commencent à explorer de nouveaux territoires, comme les fonds sous-marins arctiques. Cette situation nécessite des techniques nouvelles et de lourds investissements, ce qui a un effet important sur les cours du pétrole.

L'accès aux hydrocarbures raffinés et la possibilité de les employer pose aussi le problème des inégalités devant l'accès à ces ressources. Les populations et les pays les plus pauvres souffrent directement des augmentations des prix du pétrole. Enfin, le rythme actuel de consommation du pétrole pose le problème du moment où l'augmentation de la demande et le ralentissement de la croissance de l'offre, voire sa stagnation, vont se rencontrer. Cela risque



fort d'engendrer de nouvelles formes de problèmes économiques, sociaux et politiques et stratégiques, si le rapport au pétrole n'évolue pas dans les cinquante ans à venir.

En conséquence, l'utilisation du pétrole est source de questionnements à l'heure actuelle. Il convient de s'interroger sur les limites (géologiques, climatiques) de cette ressource et des conséquences induites sur le développement des sociétés humaines. Crise énergétique globale, protection de l'environnement, conséquences sociales et sanitaires, le pétrole est ainsi au centre des débats pour assurer un développement durable.



Le bois et ses limites

Collines déboisées près de la frontière avec la République dominicaine, Haïti.

Le bois est vraisemblablement la première source d'énergie employée par l'Homme pour produire de la chaleur. Matériau d'origine végétale, renouvelable, avec lequel il est possible d'aménager et d'isoler les habitations, de fabriquer des meubles ou des objets divers, de produire de la chaleur pour se nourrir ou se protéger. Par ailleurs, les forêts et le bois sont constitutifs des imaginaires. Elles sont présentes dans de nombreuses traditions culturelles, dans les contes et les légendes, dont l'apprentissage est fondamental pour le développement et l'éducation des enfants.

La question des forêts et du bois permet d'aborder des problématiques particulièrement sensibles du développement durable.

Les usages du bois sont variables en fonction du niveau de développement des sociétés. Ils ont un effet important sur la qualité de vie des populations. Si le bois fait l'objet d'une exploitation industrielle à l'échelle mondiale, cette exploitation s'opère selon des modalités très contrastées.

Dans les pays pauvres, les populations sont forcées d'employer du bois pour répondre à leurs besoins énergétiques fondamentaux. Ainsi, les grandes forêts tropicales font-elles souvent l'objet d'une surexploitation non régulée. Cette situation met en danger non seulement leur renouvellement, qui dépend du rythme propre aux espèces végétales, mais l'ensemble de la biodiversité, c'est-à-dire tous les animaux, toutes les plantes et les espèces microbiennes qui dépendent de ces forêts.

La déforestation menace l'équilibre vital de la planète. Elle met en danger non seulement l'environnement et les économies, locales ou internationales, qui ne peuvent plus se permettre d'épuiser la ressource dont elles vivent. C'est la raison pour laquelle, une prise de conscience généralisée commence à émerger, au niveau des États, des organisations internationales, des entreprises et des sociétés civiles. En Europe, de nombreuses forêts font désormais l'objet de formes réglementées d'exploitation, de manière à être gérées de façon durable.

Partout dans le monde, cette problématique de la gestion durable de la forêt et le renouvellement des modalités de la filière bois font l'objet de débats. Afin de résoudre ces problèmes, il est nécessaire de comprendre la complexité propre aux interdépendances entre les situations sociales, économiques et environnementales.



Le pouvoir de l'atome

Centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux,
Loir-et-Cher, France.

Les relations entre l'énergie nucléaire et le développement durable sont nombreuses et complexes.

L'énergie nucléaire civile, produite par les centrales nucléaires, sert à produire de l'électricité pour les réseaux électriques nationaux. Les centrales nucléaires sont des usines à l'intérieur desquelles des masses d'uranium ou de plutonium sont l'objet de processus de fission contrôlés. La fission produit une importante quantité de chaleur, qui transforme de l'eau en vapeur. Cette vapeur actionne des turbines couplées à des alternateurs.

Les premières centrales nucléaires ont été construites dès la fin des années 1940 en Amérique du Nord, en Union Soviétique et en Europe. Elles ont largement contribué au développement des pays où elles étaient implantées. Ressource importante d'énergie, extrêmement rentable, son essor s'inscrit dans un contexte de croissance économique et social.

Cependant, la spécificité de l'énergie nucléaire est telle qu'elle doit être inscrite dans un contexte technologique et administratif hautement sécurisé. La conjonction des défaillances dans ces deux domaines est à l'origine de l'accident de la centrale de Tchernobyl en 1986.

Aux risques liés à certaines formes d'incurie s'ajoute le problème du traitement des déchets nucléaires des centrales. Toutes ces questions sont d'une grande complexité. Il est cependant indéniable que l'énergie nucléaire civile joue un rôle essentiel pour le développement humain, social et économique du monde contemporain.

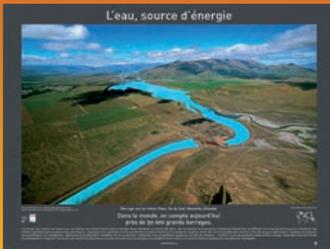
En outre, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, le recours à l'énergie nucléaire est un enjeu de premier ordre, car elle permet de produire des quantités massives d'électricité, en n'émettant quasiment pas de gaz à effet de serre. Il ne s'agit néanmoins pas d'une énergie renouvelable, car les stocks miniers d'uranium sont limités.

Aussi, la diffusion des technologies nucléaires représente-t-elle un enjeu majeur, non seulement en termes géopolitiques et stratégiques, mais aussi en termes de développement durable, pour les cinquante prochaines années.



C'est pour ces raisons qu'a lieu en ce moment une mobilisation internationale afin de mettre au point les prochaines générations de réacteurs nucléaires, encore plus efficaces, nécessaires au renouvellement du parc nucléaire, tout en ayant une efficacité renforcée en termes de production énergétique et de sécurité.

L'avenir du nucléaire est au cœur des questionnements environnementaux, sociaux et économiques du 21^e siècle.



L'eau, source d'énergie

Barrage sur la rivière Ohau, île du Sud, Nouvelle-Zélande.

Les sociétés contemporaines ont besoin d'un approvisionnement permanent en électricité. Les barrages installés sur les cours d'eau rendent possible une production électrique ininterrompue.

Ils permettent de produire de l'énergie par l'aménagement du cycle aquatique. En provoquant d'importantes retenues d'eau le long des rivières ou des fleuves, les barrages créent des courants artificiels dans les turbines et actionnent des alternateurs. Ce système ne s'interrompt jamais et cette forme d'énergie est en outre peu polluante.

Cependant, l'installation de barrages correspond à des choix d'aménagement du territoire, dont les effets sur les populations, voire sur les cultures locales, ne sont pas sans incidences. Ainsi, la construction du barrage d'Assouan assure une source d'électricité importante pour ce pays. Au niveau local, il a profondément changé la situation des populations rurales qui vivent le long du Nil. En altérant le rythme des crues du fleuve, l'exode rural de ces populations a été accéléré. En outre, les écosystèmes aquatiques en amont et en aval du fleuve ont été modifiés par l'apparition de cet obstacle artificiel.

Le recours à l'hydro-électricité repose donc sur des choix politiques à long terme. Il doit s'appuyer sur la conception d'une gestion durable de la ressource en eau et de l'approvisionnement en énergie. Cette problématique se pose de manière aiguë aujourd'hui, notamment dans les pays en développement qui s'interrogent sur les moyens de conjuguer leur croissance avec les impératifs du développement durable.

Certes, l'hydro-électricité ne peut répondre à l'intégralité des besoins énergétiques d'une société. Mais elle joue un rôle important pour la pérennisation ou l'amélioration du niveau de vie.



L'océan, une puissance inexploitée

Phare de Kéréon sur la côte du Finistère, France.

Les océans

recouvrent plus de 70 % de la surface du globe. Toujours en mouvement, ils sont traversés par de nombreux courants d'intensités variables, de surface ou de profondeur. Les marées rendent sensible cette "énergie" appelée énergie cinétique des masses océaniques.

Si, depuis la haute antiquité, les sociétés humaines ont appris à utiliser l'énergie des fleuves et des rivières, il n'en a pas été de même avec les océans. Les évolutions météorologiques rapides, la force des courants, l'effet corrosif de l'eau salée, la multiplication de phénomènes climatiques extrêmes, sont autant de facteurs d'usure, auxquels les matériels et les infrastructures doivent faire face, tant dans leur conception que dans leur entretien. Cette convergence de difficultés explique pourquoi ces pistes sont longtemps restées inexplorées.

Le milieu marin étant particulièrement difficile d'accès, la difficulté d'installer des infrastructures qui soient reliées aux dispositifs terrestres de distribution d'électricité ne va pas sans soulever de nombreux problèmes.

Les efforts concernant la conception et la mise en œuvre d'hydroliennes nécessitent que soient menés de concert des travaux scientifiques, techniques, financiers et politiques particuliers. C'est un formidable défi pour le développement durable.

L'exploitation de l'énergie cinétique des océans émerge donc dans un contexte où il devient indispensable aux sociétés contemporaines de diversifier leurs approvisionnements en énergie, tout en se dotant de nouveaux moyens d'approvisionnement pérennes.

Il existe sans doute aussi une dimension culturelle importante à la mobilisation d'un effort de recherche - développement qui tend à extraire de l'énergie des courants océaniques. Cela correspond à l'émergence de conceptions énergétiques plus "douces" conjuguées à des modalités économiques et techniques innovantes.

Ainsi, "l'hydrolienne" renvoie à l'idée de permettre aux populations littorales d'obtenir une part de leur énergie en se couplant aux rythmes de l'écosystème marin, sans l'affecter. En cela, c'est un concept indissociable des principes

du développement durable qui se traduit par une évolution des mentalités dans le rapport à la production et à la consommation d'énergie.

La question de l'approvisionnement énergétique des littoraux est au cœur du développement de cette nouvelle conception environnementale d'extraction de l'énergie. Investir dans "l'hydrolien", c'est permettre à terme pour les pays qui disposent d'un fort potentiel littoral, comme la France, d'utiliser l'environnement naturel comme ressource inépuisable et non pas uniquement comme espace, sur lequel transite de l'énergie, sous forme d'hydrocarbures. Cette nouvelle exploitation pourra contribuer aussi à la réduction de la pollution, comme les marées noires.



Les promesses du vent

La centrale éolienne d'Avignonet-Lauragais en Haute-Garonne, France.

Dans **L'Odyssée**, Éole, dieu du vent, donne à Ulysse un sac contenant les vents, afin qu'il les fasse souffler sur les voiles de son navire.

Cette légende illustre la façon dont les hommes ont su utiliser le vent comme source d'énergie motrice depuis la plus haute antiquité. Avec l'apparition du moteur électrique, les ingénieurs ont eu l'idée de coupler les mécanismes des moulins avec des alternateurs, donnant ainsi naissance aux éoliennes.

Le développement du parc éolien est aujourd'hui un phénomène mondial qui se décline à l'échelle des territoires, locaux comme nationaux. La France soutient de nombreuses collectivités territoriales qui se dotent de parcs éoliens. En Californie, l'installation d'éoliennes par les municipalités est encouragée également par l'État, tandis qu'au Canada, les éoliennes font l'objet d'une politique de niveau fédéral.

L'augmentation globale du parc éolien est au cœur du débat international sur la diversification des sources d'énergie. La nécessité d'accéder à des formes d'énergie qui puissent être produites et employées sans contribuer à augmenter la production de gaz à effet de serre, est un des outils pour lutter contre le réchauffement global.

Pour les pouvoirs publics, enrichir le "bouquet" énergétique, grâce à la multiplication des éoliennes, procède d'une volonté d'accroître l'efficacité énergétique, tout en veillant au respect de l'environnement. Ressource de complément, l'éolienne est devenue le symbole de l'investissement dans la recherche-développement et dans l'implantation de dispositifs d'énergies renouvelables.

Cette volonté commence à se généraliser à l'échelle des continents. Elle a des implications politiques importantes et devrait avoir, dans le futur, un impact sur les rapports de force internationaux en matière de dépendance énergétique.

Les éoliennes illustrent ainsi la volonté inhérente au développement durable de parvenir à des relations plus équilibrées entre les besoins, tant sociaux qu'économiques, et le renforcement de l'efficacité des techniques énergétiques, dans un souci de meilleur équilibre avec les écosystèmes.



L'énergie du cœur de la Terre

Source chaude du Grand Prismatic dans le parc national de Yellowstone, États-Unis.

La structure géophysique

de la Terre est telle que notre planète est une source de chaleur, en raison de phénomènes nucléaires qui se produisent dans le noyau, le manteau et la croûte terrestre. La température augmente avec la profondeur de 3° jusqu'à 10° pour 100 mètres dans certaines zones particulièrement actives.

Cette énergie est un moteur de la tectonique des plaques. Elle se libère de façon visible lors d'éruptions volcaniques ou de tremblements de terre.

De l'antiquité à nos jours, l'énergie géothermique a été avant tout perçue comme un phénomène naturel subi. Sous la forme d'explosions volcaniques, de tsunamis, de tremblements de terre, l'Homme a dû s'adapter aux mouvements des plaques tectoniques. L'énergie géophysique s'est ainsi traduite dans les grandes mythologies par les figures des titans, comme Typhon que Zeus aurait enfermé sous l'Étna, dont il cause depuis, les éruptions. En outre, les grandes explosions volcaniques, comme celle qui est à l'origine de la destruction de la civilisation minoenne, ont donné lieu à l'imagination de grands mythes, comme celui de l'Atlantide.

L'énergie géothermique joue cependant un rôle essentiel pour la biodiversité. Elle a largement contribué au développement de la vie marine. En permettant la "création" d'îles volcaniques et des sources sous-marines de chaleur, elle a contribué à l'épanouissement de la faune et de la flore au bénéfice des populations locales.

La géothermie est encore fort peu développée à l'heure actuelle. Les recherches les plus avancées concernent quelques régions volcaniques où la société a fait le choix des investissements techniques nécessaires. C'est le cas en Islande, par exemple.

L'Union européenne a toutefois engagé récemment un certain nombre d'études qui vont permettre d'étudier les effets locaux de l'installation de dispositifs géothermiques. Cette recherche s'inscrit dans une politique propice au développement des énergies renouvelables. La géothermie peut être ainsi pensée comme potentiel énergétique d'avenir, virtuellement inépuisable et respectueux de l'environnement.



Une pollution sans frontières

Aéroport de Roissy Charles-de-Gaulle, près de Paris, France.

Les usages contemporains de l'énergie sont centrés

autour de l'extraction et de l'utilisation des hydrocarbures ou du charbon par les appareils et par les moteurs. Cette utilisation induit des rejets dans l'atmosphère, l'eau, les sols, de résidus de ces combustions. Ils prennent la forme de différents types de gaz, dont les gaz à effet de serre, de substances chimiques ou de particules comme les suies.

Ces substances peuvent s'avérer toxiques pour les hommes, les animaux et les végétaux. Pollutions sans frontières, l'accumulation de ces substances toxiques dans les écosystèmes peut avoir des impacts environnementaux pendant plusieurs années ou dizaines d'années.

Il a fallu plusieurs décennies pour que les scientifiques déterminent les effets des différentes formes de pollution sur la santé.

Aujourd'hui, des responsables politiques et économiques jusqu'aux citoyens, chacun connaît l'importance de faire évoluer les modes de développement adoptés depuis deux siècles.

Comprendre scientifiquement les effets de cette pollution a été déterminant dans cette prise de conscience globale, tournée vers le développement durable.

Répondre "aux besoins des générations du présent, sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs" se traduit inévitablement par des mesures visant à réduire la pollution. Cet objectif dépend de l'urgence et de la multiplication de technologies dites "propres".

Depuis le début des années 1980, des progrès très importants ont eu lieu contre les effets globaux de certaines pollutions, notamment en termes de coopération internationale. Ainsi, la réduction du "trou" de la couche d'ozone résulte-t-il d'une mobilisation transnationale politique, industrielle, commerciale pour supprimer les chlorofluorocarbones, présents dans certains vaporisateurs et responsables de cette altération de la haute atmosphère qui menaçait la santé.

Ce mouvement planétaire implique toutefois une nouvelle compréhension des interdépendances entre l'organisation des sociétés, les impératifs économiques et le rapport à l'environnement. Réduire la pollution tout en préservant la capacité des pays à se développer est un sujet complexe qui place l'énergie au cœur de nombreuses négociations internationales.



Économisons nos ressources

Casse d'automobiles à Saint-Brieuc, dans les côtes d'Armor, France.

Durant le **21^e siècle**, le nombre de véhicules automobiles n'a cessé d'augmenter. Dans dix ans, les projections montrent qu'il est vraisemblable que sur Terre "cohabiteront" un milliard de voitures pour six à sept milliards d'individus.

Ces chiffres sont significatifs de la place réservée à la machine aujourd'hui, notamment dans les pays riches. D'autres exemples attestent de cette évolution, comme le nombre d'ordinateurs utilisés dans le monde, estimé à près d'un milliard.

Toutes ces machines sont composées d'éléments métalliques et chimiques. La pression de la demande a eu des incidences sur le prix des matières premières. Les industries ont donc appris à les fabriquer plus rapidement qu'elles n'ont appris à les recycler. Pour des raisons économiques, l'abandon des vieilles machines dans des dépotoirs a été préféré à la recherche de techniques propres à offrir une seconde vie aux appareils. Ce gaspillage a eu des effets sur la contamination de l'environnement.

Depuis une quinzaine d'années, le rapport à la fonctionnalité de la machine se renverse. L'idée selon laquelle il est nécessaire, mais aussi rentable, de recycler chaque produit s'affirme de plus en plus.

Certes, l'apparition des techniques qui permettent de mettre en place ce recyclage est encore insuffisamment généralisée à l'échelle de la planète. Les techniques demandent en outre que soient également menées des politiques de sensibilisation. Cependant, on observe des progrès notables à ce sujet. Partout dans le monde, la transformation des déchets est progressivement perçue comme une réelle nécessité.

Le 21^e siècle verra certainement le recyclage s'imposer à tous comme une des réponses à la crise des ressources naturelles. Sobriété énergétique et transformation des matériaux peuvent concrètement renforcer les politiques en matière de développement durable.



Quand le climat se réchauffe

Iceberg érodé dérivant dans la mer du Labrador au large du Groenland, Danemark.

À la fin des années 1980 la communauté **internationale** a décidé de créer le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'étude du climat (GIEC) afin d'étudier les modifications climatiques. Dans son rapport de 2007, le GIEC établit clairement le lien entre le réchauffement global et les activités humaines.

Scientifiquement, ce phénomène s'explique par une accumulation, de plus en plus importante de la chaleur du soleil par l'atmosphère. Ce processus est déclenché par l'augmentation de la proportion de gaz capables de retenir la chaleur dans l'atmosphère. On les appelle "gaz à effet de serre". Les principaux sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et les nitrates (mais il y en a beaucoup d'autres). Présents dans l'atmosphère depuis des centaines de millions d'années, ces gaz sont nécessaires à la vie. Leur présence a en effet permis de chauffer l'atmosphère et de transformer les conditions géophysiques et chimiques sur Terre.

Le climat a toujours été instable. Cycles de réchauffement et de refroidissement se sont succédé au long des siècles. Cependant, le cycle actuel de réchauffement est très singulier en raison de sa rapidité et de ses causes. Au lieu de s'étendre sur des milliers d'années, il a eu lieu en un siècle. En outre, ce phénomène ne s'est pas déclenché en raison de phénomènes géophysiques ou astronomiques mais par l'augmentation de la proportion de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, causés par les activités humaines. Depuis la révolution industrielle au milieu du XVIII^e siècle, la demande énergétique a été si importante, que la combustion du charbon et des dérivés du pétrole dans les moteurs et les machines a provoqué une augmentation de la part des gaz à effet de serre.

Le réchauffement climatique s'observe par la fonte des glaciers et de la banquise arctique, mettant gravement en danger tant la vie sur cette partie de la Terre que l'humanité tout entière. L'augmentation de la température du globe entraînera, si elle n'est pas arrêtée, des conséquences sur l'équilibre planétaire tant au point de vue environnementale, qu'économique ou social.



Aujourd'hui, un nombre croissant d'acteurs travaille pour lutter contre le réchauffement global. Gouvernements, collectivités territoriales, entreprises, associations, citoyens, se mobilisent partout dans le monde. Des solutions commencent à être expérimentées au niveau international, national, régional et local. De nouvelles formes de coopération et de solidarité apparaissent. Ces questions ont été largement abordées lors du Grenelle de l'Environnement.

La réussite de la lutte contre le réchauffement climatique est l'un des grands enjeux du développement durable de ce siècle. C'est pour cette raison que le prix Nobel de la Paix a été attribué en même temps au GIEC et à Al Gore.



Des énergies sources de conflits

Puits de pétrole en feu pendant la guerre du Golfe en 1991 au Koweït.

Depuis un siècle, le développement économique et social des différents pays repose sur l'exploitation des dérivés du pétrole.

Or les gisements de cette ressource sont inégalement répartis dans le monde. Les grands consommateurs d'énergie comme l'Europe, les États-Unis, la Chine, sont éloignés des grands centres d'extraction du pétrole qui sont largement concentrés au Moyen-Orient.

La vie quotidienne des populations des pays développés dépend donc largement de la régularité de l'approvisionnement en pétrole. Il est devenu un enjeu géopolitique, stratégique et militaire majeur et une source de nombreux conflits.

Aujourd'hui, cette ressource soulève cependant de nombreuses questions tant sur le plan de la dépendance énergétique des nations que sur la mise en place de techniques plus "propres" au bénéfice des populations.

Tout d'abord, la quantité de pétrole globale est géologiquement limitée. Son exploitation ne se justifie que tant qu'elle permet aux sociétés de fonctionner. À partir du moment où la quantité de pétrole produite sera devenue trop chère pour être rentable en termes économiques et sociaux, elle posera d'autres problèmes. Ensuite, le pétrole a des incidences sur le climat et sur la santé. Ces effets environnementaux engagent la communauté internationale à rechercher de nouveaux moyens pour assurer un développement plus harmonieux.

Ces nouveaux facteurs poussent donc les pays, notamment ceux qui possèdent des vastes infrastructures énergétiques, à travailler aujourd'hui pour diversifier les sources d'énergie et renouveler les usages.

Il est par conséquent possible d'espérer que, dans un avenir proche, les conflits pour une ressource toujours moins abondante et plus chère céderont la place à une révolution énergétique tournée vers le développement humain durable.



L'énergie, des ressources mal réparties

Vue de la planète Terre la nuit.

À la fin du 19^e siècle, **les pays** d'Europe occidentale et l'Amérique du Nord ont conjugué leur développement industriel avec celui de la diffusion d'électricité à grande échelle. L'un des effets les plus visibles de la production d'électricité a été l'éclairage des villes et des grandes voies de communication terrestres.

L'accès à l'électricité et à la lumière électrique a été un facteur majeur du développement humain des pays anciennement industrialisés. Cela a profondément transformé les modes de vie humains tant au niveau économique, social que culturel. Ainsi, à titre d'exemple, "l'ampoule" a de facto encouragé la lecture. Mais ces avancées n'ont pas été profitables à tous.

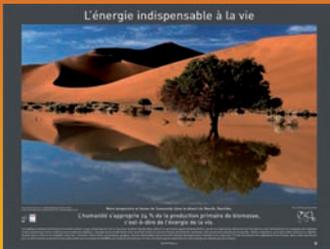
L'ensemble des êtres humains devrait pouvoir bénéficier sans distinction des avantages de l'électricité. Malheureusement, c'est loin d'être le cas encore aujourd'hui.

Les inégalités de développement s'expriment aussi par l'accès inégal à l'électricité et à la lumière, aussi bien dans les campagnes pauvres d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie, que dans les grandes villes surpeuplées du tiers-monde. Ces inégalités touchent aussi les pays riches.

Des progrès restent donc à faire pour que le plus grand nombre puisse bénéficier des améliorations de la vie quotidienne et de l'éducation induites par la diffusion de l'électricité.

Le manque d'infrastructures de production et de diffusion de l'électricité s'inscrit bien entendu dans un contexte plus large : celui du rapport de l'humanité à l'énergie. Cette dimension spécifique du développement va devoir être conjuguée avec l'effort général de réduction des rejets de gaz à effet de serre.

Le 21^e siècle va donc être marqué par l'introduction des problématiques du développement durable dans celles de la production, de la diffusion et des usages de l'électricité.



L'énergie indispensable à la vie

Mare temporaire et dunes de Sossusvlei, dans le désert du Namib, Namibie.

les hommes

Depuis plusieurs dizaines de milliers d'années, ont progressivement mis au point des méthodes artificielles pour répondre à leurs besoins en énergie. Alors que les animaux, les plantes et les bactéries voient leur développement démographique et métabolique limité par la quantité d'énergie qu'ils parviennent à extraire de leur environnement grâce à des moyens biologiques (feuilles, dents, peau...), les hommes ont eu recours à la technique.

Celle-ci leur a permis d'utiliser le feu, l'eau, les plantes ou le charbon. Au 19^e siècle, la technologie a connu une révolution par la transformation du charbon puis du pétrole placés au service de la mécanisation. Mais depuis quelques années, l'énergie produite artificiellement à partir de l'exploitation de ces ressources atteint, elle aussi, ses limites.

Les effets sur le climat, la santé ou la biodiversité, sans parler de l'augmentation du prix de ces ressources, a entraîné un effort global autour des énergies renouvelables. Ces nouvelles technologies permettent de produire de l'énergie en couplant des systèmes techniques avec des "forces naturelles" comme le Soleil, le vent, l'eau ou à la chaleur.

Des études sont désormais menées pour enrichir un bouquet énergétique plus respectueux de l'environnement. Récemment des chercheurs ont réussi à inventer un système technique qui "imite" la photosynthèse, c'est-à-dire la façon dont les plantes accumulent et utilisent pour leur croissance, la lumière et la chaleur du Soleil.

Le développement durable permet donc d'entrer progressivement dans des recherches qui font converger les besoins des hommes, la technique et le fonctionnement des écosystèmes.



L'énergie à tout prix

Jeune plantation de palmiers à huile autour de Pundu sur l'île de Bornéo, Indonésie.

L'Humanité doit aujourd'hui faire face à un défi complexe, celui de répondre à une demande énergétique croissante d'une population toujours plus importante.

Les études montrent que la population mondiale devrait passer de 6,5 milliards à 9 milliards de personnes en 2050 pour se stabiliser ensuite. Or, cette croissance démographique induit une pression énergétique de plus en plus importante. Le développement des sociétés s'accompagnant nécessairement de besoins d'électricité, de transports, d'activités industrielles de tous types.

Cette demande en énergie engage les pays à rechercher de nouvelles formes de production, en particulier agricoles. C'est le cas par exemple de la multiplication de plantations dont les productions sont destinées à être transformées en agrocarburants. Les pays équatoriaux et tropicaux, comme l'Indonésie, voient dans cette forme d'activité économique un moyen de renforcer leur économie et d'accroître leur indépendance énergétique.

Cependant, cette réorientation industrielle de l'agriculture vers de nouveaux usages ne va pas sans poser de nombreux problèmes, en particulier en privant les populations locales de ressources agricoles qui leur permettaient d'assurer leur subsistance (voir la fiche *L'essor des énergies renouvelables*).

Ce développement doit donc faire l'objet de questionnements touchant aux transformations économiques, sociales, culturelles des pays ainsi qu'aux relations internationales.

Aussi il apparaît primordial d'aborder la question de la production de l'énergie en prenant en compte pleinement la question du développement humain et en y intégrant les principes du développement durable.