

Fondation Prospective et Innovation

Cercle des entrepreneurs du futur

Impertinences2011

Onze contributions
pour penser et agir autrement

Préface de **Jean-Pierre Raffarin**

■■■■ La
documentation
Française ■■■■

Grand Prix de l'impertinence 2011

Préface 7

JEAN-PIERRE RAFFARIN

Avant-propos 11

CHRISTIAN FORESTIER, MICHEL GODET

Grand Prix

**« Espelette » : une histoire qui ne manque pas
de piment** 17

ANDRÉ DARRAIDOU

Grand Prix

**« Il n'y a pas de métiers pourris,
il n'y a que des patrons blets »** 37

ALAIN FRIBOURG

Prix

**Impertinences logistiques : plaidoyer prospectif
pour une nouvelle compétitivité subsaharienne** 43

YANN ALIX

Prix

Énergie : le nucléaire en plein séisme 59

JACQUES FOOS

Prix

**Pour la promulgation d'une charte de l'islam
en Europe** 73

CLAUDE SICARD

Prix
Les verts contre l'environnement (et le reste) 89
RÉMY PRUD'HOMME

Prix
**Innover ou gaspiller : la révolution simple
du lavage des mains** 105
GILLES GAREL, DENIS CROTTET

Prix
La ville durable doit être rentable ! 115
ISABELLE BARAUD-SERFATY

* * *

**Quelques médias en voie de disparition :
de la presse à la bande dessinée** 125
GILLES CIMENT, STÉPHANE NATKIN

**Libérer l'innovation pour un urbanisme durable :
l'expérience du bonus de COS** 131
CYRILLE DUCHEMIN

La retraite autrement 147
JACQUES BICHOT

Préface

Pertinence de l'impertinence...

La nuance entre ce qui est juste, ce qui touche juste, et ce qui est un peu juste est, on le sent, capitale. Le même mot pourtant sert à désigner une situation de justice, de justesse et de manque respectivement, c'est-à-dire des états bien différents.

C'est un peu l'inverse de cet état de polysémie d'un même mot qui s'attache au couple pertinence/impertinence. On les dirait contraires, et pourtant ces deux mots parlent de la même chose. Une chose infiniment délicate à établir, encore plus à maintenir, et qui s'apparente beaucoup à la justesse évoquée ci-dessus.

Car rien n'est plus pertinent que l'impertinence, en ce sens que, par nature, elle procède de la pertinence, à la manière dont l'humour lui aussi consiste à montrer le sens profond d'une situation en cessant de la prendre au sérieux. Aussi éloignée de l'insolence que l'humour l'est de la dérision, l'impertinence a cette force lapidaire de pointer vers le sens de ce qui est pertinent, mais qu'on peine à voir en général parce que trop de déterminants en compliquent l'intelligence, trop d'oripeaux en occultent les formes. La pertinence se dérobe toujours et ne demeure jamais, car tout

change : c'est l'impertinence qui, par sa liberté aux antipodes de l'incorrection, en permet le relevé correct, toujours à reprendre.

Or, dans un temps de complexité rendue exponentielle par le passage de toutes choses à la dimension mondiale, qui déborde les cadres de pensée établis, s'il devient nécessaire d'inventer la grammaire d'une pensée complexe pour accéder à la *compréhension* du réel, il est encore plus urgent de recourir aux fulgurances de visions simples, mais justes pour parvenir à l'*intelligence* du réel, indispensable à l'action.

Tel est le service roboratif que rend à notre temps le Grand Prix de l'impertinence, créé à l'initiative de Michel Godet, orfèvre en la matière, par le Cercle des entrepreneurs du futur qu'il anime. Soutenu depuis 2009 par la Fondation Prospective et Innovation, créée en 1989 par René Monory et François Dalle, et que j'ai l'honneur de présider, ce prix récompense des textes acérés et insolites qui, tel le petit caillou dont se servit David pour abattre au moyen d'une fronde le géant cuirassé Goliath, frappent où il faut : à la tête, et par surprise.

L'innovation, matrice du renouveau, n'a jamais fonctionné autrement. Elle est la pierre angulaire, et anguleuse, de toute prospective, puisqu'elle enfante des futurs que la prolongation des tendances ne comportait pas. Dans sa mission de veilleur d'avenir, la Fondation Prospective et Innovation trouve auprès des impertinents auteurs primés par

ce Grand Prix des repères révélateurs, tantôt d'écueils jusque-là indiscernés, tantôt de courants encore imperceptibles ou de vents naissants à mettre à profit. La publication de ces textes aidera tous les citoyens soucieux des responsabilités de l'homme libre à y voir, eux aussi, plus clair.

Jean-Pierre Raffarin
ancien Premier ministre
sénateur de la Vienne
président de la fondation
Prospective et Innovation

Avant-propos

En hommage à Jacques Marseille, membre du jury jusqu'à sa disparition en février 2010. La pertinence de son impertinence manque à tous ses amis et au débat d'idées.

Le Cercle des entrepreneurs du futur, créé en 2003, comprend plus d'une cinquantaine de membres organismes et entreprises partenaires rassemblés dans le même esprit d'évergétisme : réaliser « le bienfait public à partir des libéralités privées ». Le Cercle a pour principal objectif de penser et d'agir autrement en contribuant à la société de la connaissance et en soutenant l'entrepreneuriat ainsi que les initiatives locales de développement.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le Grand Prix de l'impertinence, lancé en 2007 par le Cercle des entrepreneurs du futur. Ce dernier est, depuis 2009, un projet commun du Centre national de l'entrepreneuriat (CNE-Cnam) et de la Fondation Prospective & Innovation, organisé comme les précédents avec l'appui de l'Académie des technologies, de l'Agence nationale de la recherche (ANR), de la Datar.

Ce 4^e Grand Prix était centré sur les réflexions impertinentes (dont la veine apparaît limitée à quelques grandes plumes généralement connues), mais aussi élargi aux initiatives et actions de terrain dont la réussite constitue autant de bonnes nouvelles. C'est la raison pour laquelle la cuvée 2011 est plus riche en contributions reçues. Leur nombre a augmenté d'un tiers. Ce succès a conduit le jury à reporter la communication des résultats au 21 septembre 2011. Ce report a permis de sortir, en même temps, le livre *Impertinences 2011* rassemblant les onze textes sélectionnés par le jury. Le même jour a été lancée la 5^e édition du Grand Prix de l'impertinence et des bonnes nouvelles pour 2012 et 2013.

(*) Créé en 2003, le Cercle des entrepreneurs du futur est piloté par le CNE (Centre national de l'entrepreneuriat), un institut du Cnam, appuyé plus particulièrement par cinq membres bienfaiteurs : Epita, la FNTP, Syntec Numérique, CapGemini, Sopra Group . Il comprend plus d'une cinquantaine de membres, dont certains bienfaiteurs : Adecco, Bel, la CGPME, Colas, la DGAC, Devoteam, ERDF, France Télécom, Monceau Assurances, Quick, la SNCF, Schneider Electric, Soparind Bongrain. <http://www.lapro prospective.fr/cercle>

Les réponses pouvaient être individuelles ou collectives. Elles devaient privilégier le côté inductif et à contre-courant des idées dominantes ou témoigner d'initiatives et d'innovations réussies dans des contextes difficiles.

Elles ont été évaluées par un jury présidé par le recteur Christian Forestier, administrateur général du Cnam.

Les membres de ce jury sont désignés de manière *intuitu personae* et ne pouvaient donc se faire représenter, ni répondre personnellement à l'appel. Une large publicité a été assurée par les partenaires pour la diffusion de cet appel et des réponses primées.

Pour l'année 2011, le jury a décerné deux Grands Prix d'un montant de 5 000 €, six prix d'un montant de 2 500 € et a remarqué trois autres textes pour publication :

Grand Prix :

- « Espelette » : une histoire qui ne manque pas de piment, *André Darraidou*
- « Il n'y a pas de métiers pourris, il n'y a que des patrons bleus »,
Alain Fribourg

Prix :

- Impertinences logistiques : plaidoyer prospectif pour une nouvelle compétitivité subsaharienne, *Yann Alix*
- Énergie : le nucléaire en plein séisme, *Jacques Foos*
- Pour la promulgation d'une charte de l'islam en Europe, *Claude Sicard*
- Les verts contre l'environnement (et le reste), *Rémy Prud'homme*
- Innover ou gaspiller : la révolution simple du lavage des mains,
Gilles Garel & Denis Crottet
- La ville durable doit être rentable !, *Isabelle Baraud-Serfaty*

Outre ces huit récompenses, le jury a distingué pour publication les trois communications suivantes :

- Quelques médias en voie de disparition : de la presse à la bande dessinée, *Gilles Ciment & Stéphane Natkin*

- Libérer l'innovation pour un urbanisme durable : l'expérience du bonus de COS, *Cyrille Duchemin*
- La retraite autrement, *Jacques Bichot*

Christian Forestier, Michel Godet

LES MEMBRES DU JURY DU GRAND PRIX 2010

- Jean-Pierre Alix** (conseiller à la Présidence, CNRS)
Marie-Hélène Aubry (consultante)
Gilbert Azoulay (directeur délégué, AEF)
Jean-Claude Bouly (professeur du Cnam)
Anne Brunet-Mbappe (enseignant chercheur à Advancia)
Stéphane Cordobes (conseiller à la Datar, professeur au Cnam)
Pierre Chapuy (professeur au Cnam)
Michèle Debonneuil (inspection générale des finances)
Gérard-François Dumont (professeur à la Sorbonne)
Philippe Durance (professeur au Cnam)
Yves Farge (Académie des technologies)
Christian Forestier (administrateur général du Cnam)
Michel Godet (professeur au Cnam, animateur du Cercle)
Michel Griffon (directeur général adjoint de l'Agence nationale de la recherche)
Marjorie Jouen (conseillère à *Notre Europe*)
Alain Lebaube (journaliste)
André Letowsky (consultant)
Marc Mousli (consultant)
Maria Nowak (présidente de l'ADIE)
Malika Sorel (membre du Haut Conseil à l'intégration)
Jacques Theys (ancien directeur du Centre de prospective, ministère de l'Équipement)
Jean-Marc Vittori (*Les Échos*)

Énergie : le nucléaire en plein séisme

JACQUES FOOS

Résumé

Avec les événements dramatiques de Fukushima, le nucléaire a connu un séisme, tendant à remettre en question le bien-fondé de cette énergie. Cependant, au-delà des réactions immédiates, bien compréhensibles, d'effroi et de doute, il convient de se projeter à long terme, d'ici quarante ans par exemple, pour savoir si la planète peut se passer du nucléaire.

Passant en revue le potentiel de développement des énergies nouvelles, secteur par secteur, l'auteur conclue à l'impossibilité, face aux enjeux énergétiques de l'avenir, de renoncer à l'atome civil, qui demeure l'alternative la plus viable à l'épuisement des combustibles fossiles, tout en permettant de lutter contre l'effet de serre.

Pour cette industrie, le choix d'un coup d'arrêt s'apparenterait dès lors à un tsunami, et s'avérerait périlleux pour les générations futures. Mais l'avenir du nucléaire passe par des efforts accentués dans le domaine de la sûreté, où l'expérience et le savoir-faire français sont mondialement reconnus.

Jacques Foos est professeur honoraire du CNAM.

Depuis une décennie, le nucléaire a réussi à s'imposer comme une des énergies alternatives aux combustibles fossiles, considérés comme polluants, devenus peu économiques du fait de la « taxe carbone » et surtout en raison de leur épuisement. Les tragiques accidents récents survenus dans l'industrie japonaise viennent de mettre un fort coup de frein à cette dynamique.

Il convient de ne pas se jeter dans le passionnel comme le font certains politiciens européens qui stoppent du jour au lendemain une partie de leur industrie énergétique ou arrêtent tous leurs projets sans savoir par quoi les remplacer. Il est plus raisonnable de se projeter à long terme, d'ici quarante ans par exemple, et de voir si la planète a les moyens de se passer de cette importante source d'énergie. Si c'est oui, le débat est clos. Sinon, avec quelles contraintes, sous quelles conditions peut-on envisager les applications électrogènes de l'énergie nucléaire ? Comment utiliser de façon rigoureuse et positive le retour d'expérience de ces tragiques événements ?

Un état des lieux

L'énergie est indispensable à la vie et au développement économique. Les divers scénarios de besoins énergétiques dans l'avenir conduisent à des demandes extrêmement fortes d'ici 2050.

On constate une énorme disparité dans les consommations énergétiques sur la planète : si le Français utilise 3 tep/an, l'Américain en consomme pratiquement 8, l'Asiatique 0,6 et l'Africain 0,3 ! Or, on sait bien que l'énergie est avant tout facteur de santé (car source de progrès technologique), et l'accroissement de la durée de vie dans le monde occidental va de pair avec cette croissance énergétique (n'oublions pas qu'à chaque heure vécue, nous Français, gagnons un quart d'heure d'espérance de vie supplémentaire).

Les pays en voie de développement vont vouloir rejoindre ce monde technologique dans lequel nous évoluons, ce qui explique cette explosion de la demande d'énergie. Or, 57 % des sources d'énergie utilisées aujourd'hui (gaz et pétrole) vont disparaître d'ici à cinquante ans (du moins leur production économique comme on la connaît présentement), et 23 % proviennent du charbon dont il faut diminuer la consommation pour des raisons de pollution de la planète (c'est vrai

aussi pour le gaz et le pétrole) – ce qui fait que 80 % de l'énergie utilisée ont pour origine les combustibles fossiles, émetteurs, entre autres, de dioxyde de carbone (ou gaz carbonique) : une tonne de charbon rejette 1 900 m³ de CO₂ !

Il convient bien évidemment de considérer l'avenir au niveau planétaire et d'envisager les challenges de ce siècle qui sont l'énergie et l'eau douce. Mais les deux sont liés, en fait : les besoins en eau douce de la planète augmentent de 64 milliards de mètres cubes chaque année. La seule source d'approvisionnement possible provient du dessalement de l'eau de mer. Or, ce procédé est très énergivore : 5 kWh/m³. Puisque le recours aux énergies fossiles devient limité, cela correspond à l'installation, chaque année, de 45 réacteurs thermiques de 1 000 MW, ou encore de 45 000 éoliennes de 5 MW. On retombe donc sur le même dilemme : trouver l'énergie !

Nous avons multiplié par dix notre consommation mondiale entre les années 1900 et 2000, passant de 1 à 10 Gtep par an (un Gtep : un milliard de tonnes équivalent pétrole). Selon les scénarios, elle sera comprise entre 20 et 50 Gtep/an en 2050.

Cette croissance exceptionnelle dans les besoins énergétiques est liée à la démographie galopante que l'on constate depuis un demi-siècle : chaque jour, la population de la Terre augmente de 225 000 humains (365 000 naissances – plus de quatre par seconde, se produisant à 91 % en Asie, Afrique et Amérique latine –, desquelles il faut retrancher 140 000 décès). Il y fort à parier que nous allons franchir la barre des 7 milliards dans les tout derniers jours de 2011 ou les premiers de 2012. Parmi ceux-ci, près de la moitié peuplent les pays en voie de fort développement.

Quelles solutions pour l'avenir ?

Que faire ? Quel avenir laisserons-nous à nos enfants, nous qui aurons épuisé les ressources carbonées, du moins celles « économiques » à exploiter ? En dehors des combustibles fossiles, les autres ressources représentent aujourd'hui 20 % de l'énergie, soit 2 Gtep/an alors qu'il en faudra au minimum 30 Gtep/an dans 40 ans. Disons-le tout de suite : on ne pourra pas multiplier d'ici là leur production par 15. Ce qui veut dire que l'on continuera à exploiter les combustibles fossiles et

notamment le charbon, au détriment du respect environnemental promis, mais il convient bien sûr de développer les autres sources d'énergie non émettrices de CO₂. Toutefois, le nucléaire a-t'il encore sa place après les accidents du Japon ?

Pour mesurer l'étendue du problème, on peut se livrer au raisonnement simpliste suivant. Foin d'écologie et impasse sur l'économie : on installe des éoliennes et du solaire partout sur la planète où on peut le faire (ce qui revient à multiplier leurs capacités par 300 !); même chose avec la biomasse, la géothermie, l'hydraulique, l'énergie des mers. Nous serons réduits à conserver la même consommation de pétrole et gaz (donc moins économiques et plus polluants à extraire) et peut-être même à doubler celle de charbon. Il faut espérer que nous aurons fait le maximum pour économiser l'énergie. Économie possible, tous efforts confondus : 1,5 Gtep/an (15% de notre consommation actuelle : c'est considérable, et nous reviendrons là-dessus). Nous en tirerons alors les conclusions qui s'imposent.

France : « ça gaze » pour l'éolien

Envisageons donc ces énergies l'une après l'autre. Commençons par l'éolien. Compte tenu de la pénurie d'énergie qui nous guette sur la planète, à l'échelle d'une génération, cette source d'énergie mérite d'être développée au maximum, mais pas n'importe comment, ni n'importe où ! Compte tenu de son rendement, de l'immobilisation maximale des sols qu'il est possible d'envisager et, enfin, d'une implantation off-shore dans les profondeurs d'eau limitées à 40 mètres, pour des raisons technologiques, sa production potentielle électrique est au maximum de 3 Gtep/an. Une telle énergie produite correspond à 6 millions d'éoliennes de 5 MW (une pour 1 500 habitants de la planète en 2050 !) pour un coût de 90 000 milliards d'euros environ (plus de 2 fois le PIB mondial annuel et une surface occupée égale à 10 fois la superficie de la France).

Trois Gtep/an, cela peut sembler aujourd'hui considérable : c'est à peu près la production électrique mondiale et 30% de la consommation d'énergie totale de l'année 2000, mais cela ne concernera que 15% à 20% des besoins électriques de 2050.

C'est loin d'être négligeable mais cette source d'énergie renouvelable a un énorme défaut, irrémédiable et définitif : elle est intermittente. C'est la raison pour laquelle on parle toujours, pour la valoriser, de puissance installée et non

de puissance fournie : le rendement moyen est de 18 %. Son développement passe donc, obligatoirement, par le stockage de l'énergie. Or, ce problème n'est pas résolu à l'heure actuelle.

Par ailleurs, l'énergie éolienne souffre de sa pollution visuelle, sonore, de son impact sur le prix des propriétés aux alentours des installations (dévaluation moyenne de 50 % du prix des habitations situées dans un rayon d'un kilomètre), de sa dangerosité pour les promeneurs comme pour les oiseaux. Le coût d'installation est très élevé, surtout dans les pays fortement urbanisés où il convient de privilégier l'éolien *off-shore*, au moins deux fois plus onéreux que l'*on-shore* (3 500 euros par kW installé ; 5 000 tonnes de béton par éolienne). Autre possibilité *off shore* : l'ancrage sur bouée ancrée. Les Norvégiens étudient un projet de 2,3 MW installés sur 200 mètres de fond pour 50 millions d'euros (soit 21 700 euros par kW installé !)

La France occupe aujourd'hui la 3^e place en Europe pour l'énergie éolienne, derrière l'Allemagne et l'Espagne. Toutefois, l'intermittence de la production électrique par éolienne nécessite la mise en place de centrales au fuel ou au gaz qui démarrent quand le vent ne souffle pas ! On peut donc considérer qu'un kWh éolien, assisté de son « alter ego » fonctionnant au combustible fossile, rejette autant de CO₂ qu'un kWh produit par un cycle combiné à gaz. C'est ainsi que la France est en train d'installer sur son territoire 11 700 MW de gaz, certes pour tenter de supplanter quelques vieilles centrales à charbon très polluantes mais surtout pour pallier les déficiences de l'éolien. A cause de ce développement de l'éolien dans notre pays, la France va se mettre à rejeter plus de CO₂ dans l'atmosphère qu'auparavant ! Voilà le paradoxe auquel on est confronté.

La France, face au protocole de Kyoto et au développement durable, est l'une des meilleures élèves au monde !

Avant d'aller plus loin, il est intéressant de montrer que, par rapport à ses voisins et contrairement à ce qu'on entend très souvent, notre pays se comporte en très bon élève de l'environnement. Depuis 1970, il a réduit de façon drastique ses rejets en CO₂ et sa consommation de pétrole. En effet, si on regarde les rejets de CO₂ par kWh électrique, la France est à 63 g/kWh, 10 fois moins que les États-Unis, 7 fois moins que l'Europe (qui, soit dit en passant, bénéficie dans sa moyenne de la contribution exemplaire de la France).

La France a accompli des efforts très importants depuis 40 ans pour limiter au maximum ses rejets de gaz à effet de serre. D'autres pays ne l'ont pas fait. Il est

évident qu'il sera plus difficile à la France de diminuer ses rejets que d'autres pays : il est toujours plus difficile à des bons élèves d'améliorer leurs performances. Les mauvais élèves, en l'occurrence les pays les plus pollués, ont moins de difficulté pour un résultat meilleur. Il est en effet plus efficace de demander au Luxembourg, par exemple, de diviser ses rejets d'un facteur 4 (soit un gain de 5,7 tonnes de CO₂/hab) plutôt qu'à un Français où le gain serait quatre fois plus faible ! Voilà enfin pourquoi, si certains pays, très pollués comme l'Allemagne ou l'Espagne, peuvent justifier un programme éolien ou solaire important, ce n'est pas notre cas. Vouloir les imiter nous conduira à polluer plus que nous le faisons aujourd'hui.

L'énergie solaire : ni économique, ni écologique pour la fourniture d'électricité

Le Soleil, on le sait, est un gigantesque réacteur nucléaire qui a une durée de vie de 10 milliards d'années et fournit, pour chaque m² de la planète, une puissance moyennée sur l'année de 382 watts. C'est donc une énergie gratuite qui nous est ainsi fournie, par rayonnement.

L'utilisation la plus simple est sous forme de chaleur produite ; c'est aussi la plus écologique. Le chauffe-eau solaire (utilisation ancestrale de cette source d'énergie) peut répondre à ces soucis écologiques : sa fabrication ne nécessite pas une technologie compliquée (elle est donc non polluante). Cette application de l'énergie solaire est à développer au maximum, à condition d'être dans un pays suffisamment ensoleillé !

L'autre utilisation de cette énergie est la production d'électricité mais, compte tenu de la technologie complexe d'élaboration des cellules photovoltaïques, les conséquences écologiques sont loin d'être positives : le bilan en CO₂ est de l'ordre de 100 grammes par kWh produit, soit 15 fois plus que le nucléaire ou l'hydraulique, 10 fois plus que l'éolien. De plus, il faut considérer, comme l'éolien, l'obligation d'ajouter des centrales au gaz qui démarrent lorsqu'il n'y a pas de soleil : un kWh « solaire » rejette un peu plus de CO₂ que celui produit par un cycle combiné à gaz !

L'utilisation intensive de métaux lourds dans cette industrie conduira inévitablement à une pollution plus importante par ces métaux dans l'environnement.

Enfin, compte tenu de l'énergie qu'il aura fallu investir pour la production des cellules, on estime à 5 ans environ le retour sur « investissement énergétique », ce qui est loin d'être négligeable, au regard de leur durée de vie.

Notre raisonnement nous conduit cependant à développer au maximum cette source d'énergie mais au bénéfice des pays où le rendement photovoltaïque est favorable. La base est la même que pour l'éolien : 3 Gtep/an, soit 28 m² par habitant de la Terre.

Ne pas faire barrage à l'énergie hydraulique

Nous sommes toujours dans le domaine de l'énergie renouvelable mais celle-ci a l'avantage d'être beaucoup moins intermittente que les deux sources précédentes. Là aussi, le coût du kWh est élevé, entre 1 et 8 c€/kWh. L'emprise au sol est également très importante (10 ha par MW) et l'implantation de tels barrages provoquent des déplacements importants de population. Ainsi, le barrage des Trois-Gorges en Chine a eu pour conséquence le déplacement de plus d'un million de personnes et la destruction de 20 villes et 1 000 villages. De plus, des ruptures dramatiques peuvent toujours se produire (on en compte une par décennie). En France, celle du barrage de Malpasset le 2 décembre 1959, faisant 423 morts, est encore présente dans toutes les mémoires de ceux qui ont pu être témoins, par radio ou télévision interposées, de cette tragédie. Plus récemment, il y a eu 2 600 morts en Italie en 1963 et plus de 15 000 morts en Inde en 1979. En mars 2011, un barrage a été emporté au Japon en raison du tsunami (sans que cela ait ému les « écologistes » européens).

De plus, certaines découvertes récentes montrent que l'impact des barrages sur le réchauffement planétaire pourrait ne pas être négligeable, en raison de la biomasse contenue dans les lacs artificiels. Lorsque les terrains sont inondés, de grandes quantités de matière organique restent accumulées sous les flots. En zone tropicale, dans l'eau tiède des bassins de retenue, cette matière se décompose en émettant du dioxyde de carbone et du méthane (17 fois plus nocif que le CO₂). Ainsi, selon une étude récente, les seules émissions en aval du barrage de Balbina ont le même potentiel d'effet de serre que 6% de tous les combustibles fossiles consommés par São Paulo, une ville qui compte plus de 20 millions d'habitants.

En 2000, la production hydraulique était de 0,23 Gtep au niveau mondial. La prospective est aisée à faire. Si on veut installer des barrages partout où c'est possible sur la planète, il y a un facteur 6 par rapport à la situation de 2000. Cela signifie que la production maximale en 2050 (ou avant) ne peut être que de 1,5 Gtep.

La géothermie : une idée à creuser

La température de la Terre augmente d'un degré pour 30 mètres de profondeur. Il est certain qu'il convient de tirer parti au maximum de cette richesse thermique inépuisable, toutefois difficile à exploiter à grande échelle.

Il y a bien sûr les pompes à chaleur : 15 GW thermiques installés en 2000 (soit 30 Mtep/an). Leur développement ne peut être qu'encouragé. Il y a aussi la production d'électricité : 10 GW installés en 2000 (20 Mtep/an) et la récupération par pompes à chaleur de l'énergie thermique dissipée par l'industrie (serres, pisciculture, chauffage urbain). Des efforts importants doivent être accomplis pour développer la géothermie. On peut prévoir, en 2050, une production annuelle de 1 Gtep au niveau mondial.

La biomasse : « Manger ou rouler, il faut trancher »

La biomasse, c'est environ 1 Gtep en 2000, ce qui représente tout de même 10% du total de l'énergie primaire. Il faut tout d'abord évoquer la biomasse-chaleur. C'est la combustion du bois, de la paille, des ordures ménagères, etc. Elle est très utilisée malgré un rendement énergétique faible. Il faut toutefois savoir qu'elle est responsable de 1 500 morts par jour selon l'Organisation mondiale de la santé, surtout dans les pays en voie de développement.

Mais c'est surtout dans les transports, comme biocarburant, que l'on constate aujourd'hui son développement important, pour pallier la déficience attendue des hydrocarbures. Développement durable et protocole de Kyoto obligent, il convient de trouver d'autres carburants, respectueux de ces contraintes. Ainsi, le pétrole de synthèse et le GPL ne peuvent pas être les carburants de demain,

de même pour le véhicule hybride qui ne peut être qu'une solution transitoire. Restent trois sources d'énergie possibles pour les véhicules automobiles : l'hydrogène, l'électricité et les biocarburants.

L'hydrogène et l'électricité nécessitent d'être produits à partir de réacteurs thermiques ou d'éoliennes et d'être stockés. Ce qui veut dire, pour l'hydrogène, qu'il faut élaborer des matériaux nouveaux qui ne se fragilisent pas à son contact et, pour l'électricité, d'augmenter la capacité des batteries. Il n'en reste pas moins qu'une politique volontariste de développement des voitures électriques serait possible dès aujourd'hui, où près des 3/4 des déplacements automobiles ne dépassent pas 10 km. La capacité des batteries atteignant 200 km d'autonomie possible, il serait tout à fait envisageable que la « seconde voiture », dont beaucoup de foyers sont équipés, soit un véhicule électrique.

Pour ce qui concerne les biocarburants, leur utilisation n'est pas une nouveauté, puisqu'en 1903, le record mondial de vitesse : 137 km/h (record français) est obtenu avec une Gobron-Brillié à éthanol agricole ! Il y a 2 filières possibles : l'huile végétale (colza, tournesol) ou l'éthanol (blé, betterave). On entend souvent dire que l'on tient là le carburant idéal : certes sa combustion envoie du gaz carbonique dans l'atmosphère, mais cette émission est compensée par l'absorption de la même quantité de gaz pendant sa croissance. Le bilan « carbone » semble donc nul. Ce n'est évidemment pas vrai, car la plante n'est pas isolée : pour produire des végétaux, il faut mettre du carburant dans le tracteur, fabriquer des engrais (ce qui est très énergivore), broyer et purifier le produit de la culture et, pour la filière alcool, distiller le produit obtenu. On est loin d'un bilan équilibré, ou alors on reprend les traditions agricoles en vigueur avant la révolution industrielle !

Par ailleurs, il faut immobiliser une surface importante pour cette production végétale. Si on voulait remplacer en France la moitié du pétrole utilisé pour les transports (soit l'équivalent de 25 millions de tonnes de pétrole) par des biocarburants, il faudrait immobiliser plusieurs fois la surface totale utilisée pour la culture du blé, du colza, du tournesol ou de la betterave. On connaissait le slogan : « Boire ou conduire, il faut choisir », il va falloir s'habituer à « Manger ou rouler, il faut trancher ! »

Alors que la production d'énergie était de 0,1 Gtep en 2000, on peut supposer que cette production pourrait atteindre 4 Gtep/an en 2050 (ce qui représente tout de même 25 fois la surface de la France en terres cultivables, mais ce challenge ne doit pas être insurmontable).

L'énergie des mers

C'est une énergie peu exploitée jusqu'ici. On peut citer les usines marémotrices (qui jouent sur l'amplitude des marées), dont on trouve peu d'exemples dans le monde. La plus importante est l'usine de la Rance en Bretagne (240 MW). L'impact sur l'environnement est toutefois extrêmement important comme on peut le constater autour de cette usine.

Mondialement, l'énergie produite en 2000 était de 25 Mtep. Les autres possibilités offertes par la mer sont l'énergie hydrolienne (énergie des courants) l'énergie des vagues, l'énergie thermique des mers. Elles ne sont pas exploitées pour l'instant en raison des problèmes de maintenance et de non-stabilité du milieu (par exemple, les tempêtes). Sera-ce technologiquement possible demain ? Peut-on imaginer que la mer fournira à l'humanité 1 Gtep en 2050 ? Ce n'est pas déraisonnable.

Les centrales thermiques électrogènes : gigawatt et mégahabitant

Une ville d'un million d'habitants (mégahabitant) consomme une puissance électrique d'un gigawatt (ce qui correspond à une consommation horaire d'électricité d'un kWh par habitant). Seule une centrale thermique peut fournir une telle puissance électrique, aussi bien sur le plan économique qu'écologique. En effet, les autres sources d'énergie (solaire, éolien, hydraulique) nécessitent une surface plus grande que la cité elle-même, pour faire face à une telle demande d'électricité. Or, 450 villes dans le monde dépassent le million d'habitants, regroupant 1,5 milliard d'individus ; cela correspond à 1 500 centrales thermiques d'un gigawatt.

Le thermique peut être classique (c'est alors du combustible fossile : charbon, fuel, gaz) ou nucléaire (fission : soit l'uranium extrait de notre planète, soit le plutonium issu des centrales nucléaires, ou encore fusion, dans un avenir éloigné).

Si on considère pour l'instant uniquement les centrales thermiques classiques électrogènes, elles ont produit en 2000 2,5 Gtep, soit 25 % de l'énergie totale. Ce faisant, il ne faut pas oublier qu'elles ont donc rejeté dans l'atmosphère (sans parler des cendres) des dizaines de millions de tonnes de poussières, de dioxyde de soufre, de dioxyde d'azote et 10 milliards de tonnes de gaz carbonique (soit 5 300 milliards de m³).

Pour toutes ces raisons, il faudrait essayer de diminuer l'utilisation des combustibles fossiles pour produire la vapeur. Malheureusement, compte tenu des contraintes que nous venons de développer, ce ne sera pas possible ; il faudra même l'augmenter et passer au minimum à 4 Gtep/an en 2050 !

Les combustibles fossiles restent l'essence même du transport

Il est possible d'équiper un certain nombre de voitures de batteries électriques puissantes, de trouver d'autres sources d'énergie pour les très gros navires (on pensait jusque-là à l'énergie nucléaire qui équipe déjà nombre de bâtiments militaires dans le monde, mais qu'en sera-t-il demain ?). On a envisagé plus haut les biocarburants. Néanmoins, on ne s'affranchira pas des combustibles fossiles, que ce soit pour du transport terrestre, maritime ou aérien.

Il y a aussi la chaleur, usage domestique ou autre qui, à l'échelle de la planète, représente une part importante de la consommation d'énergie. Ces deux rubriques représentent 55 % de l'énergie totale aujourd'hui. Cette part devrait diminuer, mais en valeur, il faut là aussi songer à l'augmenter un peu, 8 Gtep/an semble un minimum. Ce qui implique toutefois que le transport et la fourniture de chaleur vont devenir beaucoup plus chers. Il faut s'y préparer.

Les économies d'énergie : pas si simples, mais indispensables

Il est vital de faire des économies d'énergie là où c'est le plus facile, en particulier dans nos pays industrialisés où il suffit de considérer notre attitude quotidienne pour se rendre compte tout de suite du nombre de gestes simples qui seraient à même de permettre des économies importantes.

Dans le domaine de l'habitat, il conviendrait de mettre en place un programme de recherche important (et coordonné) pour améliorer l'isolation des habitations. Aujourd'hui, si des actions ponctuelles sont entreprises, elles restent disparates et peu efficaces.

Toutefois, le seul exemple suivant montre que ce combat est difficile : l'utilisation de l'ordinateur aujourd'hui consomme autant d'énergie que tout le transport aérien mondial ! Si on peut supposer que ce dernier va voir son accroissement diminuer, l'utilisation de l'informatique va exploser dans les pays émergents et on voit bien par-là que ces efforts d'économie ne résoudreont pas le problème. Moyennant quoi, on peut supposer une économie de 1,5 Gtep (ce qui est considérable).

Sortir du nucléaire : un combat qui semble perdu d'avance !

Arrivé à ce stade, on peut faire le bilan suivant :

- On utilise toutes les sources d'énergie, et on peut supposer que le maximum a été fait pour économiser l'énergie.
- On n'a tenu ni les promesses de développement durable ni celles du protocole de Kyoto, bien malheureusement.
- On n'a même pas lésiné sur le coût du Mtep.

Malgré tout, il manque encore 5,5 Gtep/an pour respecter le scénario le moins énergivore (qui n'est pas, encore une fois, celui que l'on suit depuis 10 ans !).

Autrement dit, le discours que l'on entend ici et là, qui tend à montrer « qu'il n'y aura pas de problème d'énergie dans l'avenir, qu'il suffit de faire des économies d'énergies et développer au maximum les énergies renouvelables », a sans conteste ses limites. En effet, en suivant scrupuleusement ce raisonnement, nous avons aboutis à un déficit énorme. De surcroît, il faudrait y ajouter le désalement de l'eau de mer : l'équivalent en énergie de 1 800 réacteurs thermiques de 1 000 MW de plus d'ici 2050 (on a déjà saturé la planète d'éoliennes : on ne peut plus en rajouter).

La planète va donc manquer d'énergie en 2050. Malgré les évènements tragiques récents au Japon, elle ne se passera pas du nucléaire. L'Europe de l'Ouest peut vouloir en sortir, le reste de la planète ne pourra l'éviter : le nucléaire vient de vivre un séisme, le monde est contraint de lui éviter un tsunami.

Il est raisonnable de penser que l'on installera d'ici 2030 un millier de réacteurs de type EPR, qui sont considérés aujourd'hui par la communauté internationale

comme les plus sûrs (ce nombre de 1 000 réacteurs est celui estimé par de nombreux pays comme les États-Unis, les pays arabes, l'Amérique latine, la Russie, l'Inde ou la Chine), et au moins un millier de plus d'ici 2050. Il semble que même le Japon qui aura perdu au moins 4 réacteurs d'un coup (en dehors de toutes les autres pertes !), n'aura guère d'alternatives et devra en reconstruire.

Il faudra bien évidemment tirer les enseignements des derniers accidents en termes de sûreté pour tous les réacteurs de la planète, même si le coût en est très élevé (bien que son impact sur le coût du kWh doive rester faible). Que ces accidents aient eu lieu dans des conditions naturelles terribles ne peut être une excuse, même si c'est une raison compréhensible.

Ainsi, quand on apprend qu'une vague de 9 mètres submergerait, comme au Japon, les diesels de secours qui sont chargés de maintenir le courant dans une centrale comme l'EPR à Flamanville et donc d'en assurer le refroidissement, on ne peut que s'insurger contre le discours politique français ambiant qui dit que rien ne peut nous arriver. Il faut arrêter ce discours ! On ne peut plus dire aujourd'hui que nous sommes à l'abri de telles conditions naturelles exceptionnelles (je pense qu'on a été assez échaudé comme cela depuis l'accident de Three Miles Island). Quand on a la chance d'avoir une falaise à proximité de la centrale, le plus simple est, bien sûr, d'installer les diesels en haut, à l'abri d'une vague, quelle que soit sa hauteur au lieu de les laisser en bas.

Il y a un an, les écologistes voulaient exiger que l'on installe 450 réservoirs de 750 m³ chacun à Flamanville pour y stocker les surplus de rejets d'eau tritiée (donc très légèrement radioactive) liés à l'arrivée du futur EPR pour un coût de plus d'un milliard d'euros et un gain radiologique de... 0,00003 mSv/an, alors que le bruit de fond naturel, de tout temps est de 3 mSv/an. Heureusement, la chose ne s'est pas faite : les experts sont encore écoutés. Toutefois, installer là aussi sur la falaise surplombant les réacteurs, quelques-uns de ces réservoirs pour éviter des ennuis semblables à ceux qu'ont vécu les pompiers japonais qui ont travaillé dans des ambiances de plusieurs centaines de mSv/heure, ne devrait pas être la mer à boire ! Ce n'est qu'un exemple, mais cela montre que les audits décidés par le Premier ministre en France sont les bienvenus.

Après un recul qui semble inéluctable, on peut espérer que ces événements vont, au contraire, *booster* le développement et la commercialisation de l'EPR (ce sigle signifiait à sa conception *European Pressurised Reactor*, mais il est devenu *Evolutionary Power Reactor* pour faire plaisir aux Américains, qui ont ainsi pu

l'appeler US EPR, ce qui permet de ménager toutes les sensibilités). Tous ceux qui jusque-là le trouvaient « trop cher car trop sûr » vont changer d'avis. On ne peut plus dire aujourd'hui qu'un réacteur est « trop sûr » !

L'industrie française est particulièrement bien placée pour relever ce défi ; c'est en effet la seule à avoir continué, ces dernières décennies à construire des centrales. C'est donc celle qui a le meilleur retour d'expérience, ce qui est primordial dans ce domaine où, plus que jamais, la sûreté doit être privilégiée. C'est un marché de près de 10 000 milliards de dollars sur lequel les entreprises françaises se doivent d'être présentes. On a vu que la France était reconnue au niveau mondial pour ces compétences en matière de sûreté.

Les autres challenges du nucléaire sont la formation d'ingénieurs par milliers, la gestion des déchets radioactifs dans des délais raisonnables à l'échelle humaine soit un maximum de 4 siècles (des travaux de recherche menés dans le laboratoire des sciences nucléaires du CNAM pendant plus de vingt ans ont montré que c'était possible), et enfin contraindre tous les pays constructeurs de centrales à respecter les mêmes normes en matière de sûreté que celles exigées aujourd'hui des réacteurs du monde occidental.

Sur ces derniers toutefois, l'accent doit être porté sur leur conduite en milieu hostile ; il convient également de s'assurer, dans ces conditions, de leur intégrité complète. Les déclarations d'« audit » des centrales annoncées dernièrement en France puis en Europe procèdent évidemment de cette culture de sûreté.

La France, sous la poussée des antinucléaires (une action qui n'est pas neutre et qui arrange bien nos concurrents à l'échelle internationale !), pourrait sortir du nucléaire ; c'est un petit pays qui se retrouverait alors vers le 300^e rang mondial, si on considère l'impact économique d'un tel abandon (au bas mot 60 milliards d'euros par an – le budget annuel de l'Éducation nationale).

Mais, à l'échelle planétaire, l'énergie nucléaire garde une place stratégique pour l'avenir. Autant rester dans ce train en marche et faire bénéficier les autres pays de notre expérience de pionnier dans cette technologie et de notre culture de sûreté. Ce ne peut être qu'extrêmement profitable pour notre pays... et pour la planète.